

APLICAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO AO 16º BATALHÃO DA POLÍCIA MILITAR DE GOIÁS (11º CPRM)

APPLICATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM TO THE 16th BATTALION OF THE MILITARY POLICE OF GOIÁS

ALENCAR, Matheus Henrique ¹
DA SILVA, Almir Afonso ²
MENDES, José Fabricio Lira ³

RESUMO

A energia fotovoltaica, uma tecnologia não tão nova assim, mas que está cada vez mais presente no meio urbano, apresenta ser uma nova solução para o problema do gasto com energia elétrica. A instalação de sistemas fotovoltaicos nas coberturas de edificações, principalmente comerciais é uma forma de contribuir de forma limpa e eficiente com o meio ambiente, este trabalho propôs o dimensionamento de um sistema fotovoltaico ao 16º BPM que apresenta uma área de 600m² para instalação dos módulos, a ideia é suprir a necessidade do batalhão e quando houver sobra de energia produzida, será injetada à rede elétrica convencional, podendo ser creditada futuramente nos meses que o consumo for maior que a geração, esta sobra de energia pode ser creditado em outras edificações de mesma titularidade, colocando em prática o sistema de compensação.

Palavras-chave: Sistema de compensação; Sistema fotovoltaico; Energia.

ABSTRACT

Photovoltaic energy, a technology not so new, but that is increasingly present in the urban environment, presents a new solution to the problem of spending on electricity. The installation of photovoltaic systems in the roofs of commercial buildings is a way to contribute in a clean and efficient way with the environment, this work proposed the design of a photovoltaic system to the 16º BPM that presents an area of 600m² to install the modules, the idea is to supply the battalion's need and when there is a surplus of energy produced, it will be injected into the conventional electricity grid, and can be credited in the months that the consumption is greater than the generation, this surplus energy can be credited in other buildings of the same ownership, putting the compensation system into practice.

Keywords: Compensation system; Photovoltaic system; Energy.

¹ Aluno do Curso de Praças do Comando da Academia da Polícia Militar de Goiás – CAPM, alencar0505@gmail.com; Formosa-GO, Março de 2018

² Professor orientador: Mestre professor do Programa de Pós-Graduação e Extensão do Comando da Academia da Polícia Militar de Goiás CAPM, peritoalmir@gmail.com, Goiânia – GO, Março de 2018.

³ Engenheiro Civil: Autor conjunto deste trabalho de conclusão de curso, – facunipbsb@gmail.com - Brasília – DF.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é um assunto que envolve o mundo, em busca de reduzir as emissões de gases, a qual contribui com o aumento do aquecimento global. Países vêm se comprometendo em contribuir para a redução das emissões. O desafio é fazer essas reduções sem que comprometa o desenvolvimento do País e a qualidade de vida das pessoas. Uma das alternativas está na geração de energia através de pequenas centrais geradoras provenientes de fontes renováveis. O Brasil vem superando barreiras, criando incentivos para que novas formas de energia venham contribuir com a matriz energética uma delas, é a micro e a minigeração distribuída que se caracteriza como fonte de energia renovável provenientes de fontes hidráulicas, solar, eólicas, biomassa ou cogeração qualificada, onde essa potência instalada por unidade pode chegar a 5 MW (cinco megawatts).

A micro e a minigeração distribuída proveniente do sistema fotovoltaico, vem ganhando a confiança devido sua tecnologia já está bastante diversificada e amadurecida, com isso seu custo vem decrescendo a cada ano, facilitando que mais usuários venham gerar sua própria energia. Esse novo conceito de geração distribuída, poderá vir a contribuir com a redução da necessidade de utilização das termoeletricas que são alimentadas com a queima de combustíveis fósseis, a qual tem seu funcionamento intensificado em tempos de estiagens, período esse que a radiação solar é mais eficiente. Outra grande vantagem em relação ao sistema de energia fotovoltaica é que a geração fica próxima ao consumo, com isso perdas associadas à transmissão e distribuição de energia são reduzidas.

Será dimensionado um sistema fotovoltaico conectado à rede pública, e a energia será consumida pelo 16º Batalhão e o que for produzido pelo sistema e não consumido pela unidade geradora será injetado à rede de distribuição (CELG Distribuição- Centrais Elétricas de Goiás). O Batalhão que será feito o estudo é o 16º BPM – DÉCIMO SEXTO BATALÃO DE POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS onde o perfil de consumo se adequa a esse tipo de geração de energia, além de possuir grandes áreas de cobertura com pequenas inclinações que favorecem a instalação.

Este artigo tem como objetivo geral uma aplicação de um sistema de geração fotovoltaica interligado à rede de distribuição de energia elétrica aplicado ao 16º BPM – DÉCIMO SEXTO BATALÃO DE POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS, que tem um consumo médio mensal de 2.505 kwh (quilowatt-hora) e uma área de cobertura de 600 m² (metros quadrados) com uma estrutura favorável à instalação de painéis. Esse Batalhão está situado na Rua Valeriano de Castro, 674 – St. Nordeste, Formosa-GO. Dentro dos objetivos

consiste em apresentar uma breve revisão bibliográfica sobre o sistema fotovoltaico, quantificar a energia mensal produzida pelo sistema apresentado e apresentar uma aplicação do sistema de energia solar fotovoltaico conectado à rede elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BREVE HISTÓRICO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica, ou seja, a energia solar ocorre pela conversão da irradiação solar em eletricidade. Essa conversão é chamada de efeito fotovoltaico. Há cerca de 177 anos, foi observado o efeito fotovoltaico em 1839 Edmond Becquerel mergulhou num eletrólito placas metálicas de platina ou prata expostas a luz solar, que produziam uma pequena diferença de potencial. Passaram-se 114 anos para que fosse desenvolvida a primeira célula fotovoltaica, em março de 1953, Calvin Fuller desenvolveu um processo de dopagem, no qual introduzia cristais de silício e isso permitia o controle das propriedades elétricas (VALLÊRA e BRITO, 2006). Em 1954 foi apresentada a primeira célula solar, com 2cm² (centímetros quadrados de área) e 6% de eficiência e geração de 5 mW (mW-microwatts) de potência elétrica (SIEMER, 2004).

2.2 CLASSIFICAÇÃO DE MICRO E MINIGERAÇÃO

Em relação a classificação de potência gerada, a Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015 estabelece as seguintes definições em relação a classificação de potência gerada:

a) **microgeração distribuída** pode gerar até 75 kW (quilowatt) e que utilize fontes renováveis com base em energia eólica, solar, hidráulica, biomassa, ou cogeração qualificada.

b) **minigeração distribuída** gera energia elétrica, com potência superior a 75 kW (quilowatt) ou até a 5 MW (megawatt) sendo 3 MW para a fonte hídrica e o restante para outras fontes renováveis como solar e eólica, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema é composto por gerador fotovoltaico que possui a capacidade de gerar energia elétrica por meio da radiação solar. Esse gerador é constituído pelo suporte, fiação, painéis solares, controladores de carga, inversores e armazenadores de energia elétrica (MAYCOCK,1981).

2.3.1 Classificação dos sistemas FV segundo a NBR 11704:2008

Existem dois tipos de sistemas, os isolados e os conectados à rede elétrica. O sistema isolado há a necessidade de um banco de baterias pois não está conectado à rede elétrica convencional (NBR, 2008). Os sistemas isolados são caracterizados pela necessidade de um controlador de carga, para efetuar a gestão da carga ao banco de baterias e um Inversor para atender às cargas em corrente alternada (RÜTHER, 2004), por isso a necessidade do inversor, o sistema produz energia em corrente contínua e precisamos de corrente alternada, assim, a energia gerada pode ser armazenada e posteriormente distribuída, é mais utilizado em locais onde o custo para conectar à rede elétrica convencional é alto. Nos sistemas conectados à rede elétrica são aqueles efetivamente conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica (NBR 11704:2008).

2.3.2 Inversor

O inversor é um equipamento que converte a tensão contínua, do módulo fotovoltaico ou do banco de baterias, em tensão alternada (NBR 11704:2008). Nos sistemas fotovoltaicos os painéis são ligados a um único inversor central, mas se possuir uma potência alta instalada pode ser necessário vários inversores. (FREITAS, 2008).

2.3.3 Proteção Anti-Ilhamento

A proteção anti-ilhamento é uma função presente no inversor do sistema, que é basicamente o auto desligamento do sistema. Quando a distribuidora de energia elétrica gera uma ilha, que consiste no isolamento de parte da rede por exemplo, para reparos se o sistema fotovoltaico estivesse ligado e injetando energia elétrica ocorreria acidentes e defeitos nos equipamentos, assim que a frequência ou tensão estão fora das condições de trabalho ou a rede elétrica pública está desligada o inversor desliga o sistema prevenindo contra danos e garantindo a segurança na rede (FREITAS, 2008). De acordo com a norma NBR 16149:2013, se a injeção de corrente alternada (CA) for superior a 0,5% da corrente nominal o sistema interrompe o fornecimento de energia em 1 segundo.

2.4 MEDIDOR BIDIRECIONAL

Os medidores são responsáveis pelo conhecimento da quantidade de energia que está sendo produzida pelo sistema fotovoltaico, do quanto o batalhão está demandando e o quanto de energia está sendo injetada na rede (FIGUEIRA, 2014).

2.5 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO

O sistema de compensação se caracteriza da seguinte forma, os medidores bidirecionais medem a quantidade de energia gerada pela unidade consumidora e a quantidade injetada na rede elétrica pública, registra-se o valor líquido, se a geração for maior que o consumo a unidade recebe um crédito em energia na próxima fatura se for contrário paga-se apenas a diferença (REN 687/2015).

2.6 FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A temperatura e a intensidade luminosa são fatores que influenciam nas características do sistema fotovoltaico, com o aumento da temperatura há uma redução da eficiência do módulo fotovoltaico já com o aumento da intensidade luminosa aumenta a corrente gerada (FREITAS, 2008; CRESESB, 2014). Os módulos fotovoltaicos devem ser posicionados para o norte geográfico afim de captar a maior quantidade de radiação sua inclinação depende da latitude do, de acordo com a latitude geográfica o ângulo de inclinação (α) do painel fotovoltaico deve seguir a seguinte forma, para a latitude até 10° a inclinação é de 10° , entre $11^\circ - 20^\circ$ a inclinação é igual a latitude, entre $21^\circ - 30^\circ$ $\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$, de $31^\circ - 40^\circ$ $\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$ acima de 41° $\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$.

2.6.1 Principais Características Da Curva Corrente-Tensão

Os módulos fotovoltaicos produzem potência, tensão e corrente e a condição padrão para obter as curvas características dos módulos é definida para a radiação de referência de $1\text{KW}/\text{m}^2$ (quilowatts por metro quadrado, radiação recebida na superfície da terra ao meio dia) (CRESESB, 2014; GREEN, 2000). O dispositivo fotovoltaico tem em sua saída uma típica representação (Célula, Modulo, Sistema) que é denominada curva corrente-tensão. Dentro da amplitude da tensão a corrente fica praticamente constante e esse dispositivo pode ser considerado uma fonte de corrente constante neste âmbito. A corrente e tensão são determinadas pela radiação incidente, temperatura ambiente e pelas características das cargas conectadas. (SOLARTERRA, 2010).

A figura 1 ilustra o ponto de máxima potência (PMP) em relação a maior corrente (I) e maior tensão (V) do sistema fotovoltaico.

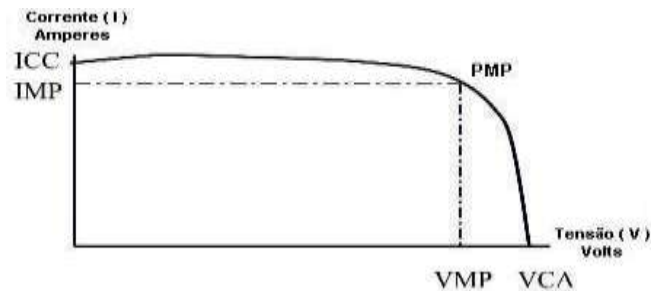


Figura 1 - Curvas Elétricas de um Dispositivo Fotovoltaico.

Fonte: (SOLARTERRA, 2010)

2.6.2 Interpretação Desta Curva (SOLARTERRA, 2010)

- Corrente de curto-circuito (**I_{cc}**): Um dispositivo pode disponibilizar uma máxima corrente em condições determinadas pelo ambiente, como a temperatura e radiação, correspondendo à tensão nula e conseqüentemente à potência nula.
- Tensão de circuito aberto (**V_{ca}**): Um dispositivo pode disponibilizar uma máxima tensão em condições determinadas pelo ambiente, como a radiação e temperatura, correspondendo a circulação de corrente nula e conseqüentemente à potência nula.
- Potência Pico (**P_{mp}**): É o máximo valor que o dispositivo pode entregar o que corresponde ao ponto na curva resultado do produto entre $V \times I$ (tensão vezes corrente).
- Corrente a máxima potência (**I_{mp}**): A corrente nominal é determinada quando um dispositivo entrega a potência máxima sob as condições ambientes, como a radiação e temperatura.
- Tensão máxima potência (**V_{mp}**): A tensão nominal é determinada quando um dispositivo entrega a potência máxima sob as condições ambientes, como a radiação e temperatura. (SOLARTERRA, 2010).

2.6.3 Variação Da Intensidade De Radiação No Módulo Fotovoltaico

Com a variação da radiação, as tensões (V) mantem constante, mas a corrente (I) varia de forma proporcional, independentemente qual seja o valor da tensão. (SOLARTERRA, 2010), ou seja, a corrente diminui à medida que diminui o nível de radiação.

2.6.4 Efeitos Da Temperatura

Com o aumento da temperatura há uma redução diretamente proporcional da tensão (V) fornecida pelo módulo fotovoltaico, é um efeito secundário em relação a corrente (I) onde há

uma pequena variação para baixas tensões, (SOLARTERRA, 2010), altas temperaturas implicam uma diminuição da tensão (V).

2.6.5 Características De Potência Ao Longo Do Dia

A curva de potência máxima, de um módulo em função da hora do dia que tem a forma indicada no diagrama de carga onde o ponto (A) que se encontra aproximadamente as 9:30hs e o ponto (C) as 16:00hs nos produz a metade da capacidade que o módulo tem a oferecer devido a radiação ainda estar baixa e gera pouca corrente já o ponto (B) que se encontra entre 12hs e 14hs nos dar a potência máxima devido a radiação estar no seu ponto máximo. A figura 2 mostra os pontos A, B e C descritos acima.

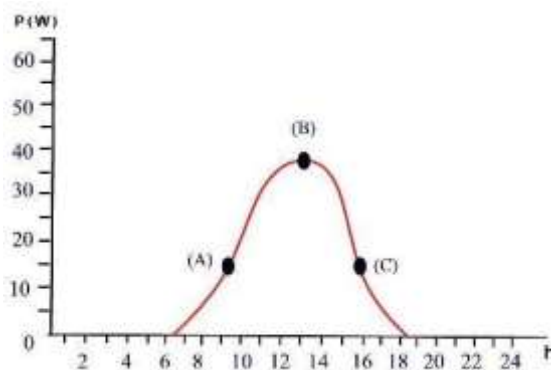


Figura 2 - Curva Característica de Potência ao Longo do Dia.
Fonte: (SOLARTERRA, 2010)

3 METODOLOGIA

Para execução deste trabalho foi preciso ter acesso as contas antigas do 16º BPM para ter a média de gasto anual, como o gasto e relativamente alto, foi sugerida a aplicação de um sistema fotovoltaico para o batalhão. A próxima fase foi verificar o tamanho da cobertura do batalhão para instalação das placas fotovoltaicas, de modo a determinar o espaço disponível para instalação e investigar se ocorre áreas de sombras que possam diminuir a quantidade de energia gerada.

Este trabalho consistiu no levantamento de revisões bibliográficas, a partir de materiais publicados, coletados de livros, artigos periódicos e material disponibilizado pela internet. Em relação a tecnologia fotovoltaica, foi utilizado o *SOFTWARE PVsyst 6.6.8* para validar o dimensionamento, com a ajuda do *software* foi possível verificar a quantidade de energia gerada durante o ano para torne possível torna o batalhão em uma usina fotovoltaica. Este trabalho tem

como finalidade de ser utilizado como auxílio para aplicação do sistema fotovoltaico ao 16º BPM.

4 RESULTADOS E DISCURSÃO

4.1 APLICAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

A aplicação do sistema FV conectado à rede pública pode ser realizada de duas formas:

- i) considerando a área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos. Dessa forma a energia produzida será limitada a quantidade de módulos que cabem neste espaço, ou seja, há a possibilidade de que a limitação de área disponível possa implicar em uma geração de energia insuficiente para suprir a demanda necessária.
- ii) a segunda caso haja área suficiente para instalação dos painéis, pode-se dimensionar o sistema para atender a demanda necessária de energia ou gerar um excedente de energia e fornecê-lo à rede elétrica pública.

Nesta aplicação considerou-se a segunda opção, pois foi constatado que o 16º BPM possui uma área de 600m², sendo portanto favorável à instalação de uma considerável quantidade de módulos fotovoltaicos.

Também foi observado que não havia obstruções provocadas por vegetação e/ou edificações locais e, portanto, as perdas por sombreamento foram consideradas desprezíveis. O tempo de exposição solar e a intensidade de radiação variam ao longo do ano com as diferentes estações. Essa variação de intensidade e de tempo de exposição solar faz com o sistema fotovoltaico tenha um desempenho variável ao longo do ano. O Brasil é um país privilegiado, pois grande parte de sua extensão está localizada em região intertropical, o que favorece o aproveitamento de energia solar durante todo ano. O 16º BATALHÃO DA POLÍCIA MILITAR está localizado na latitude 15° 31' 59,2''S (-15,5331155) e longitude 47° 20' 3,4'' O (- 47.3342769) tendo um potencial médio anual bastante elevado. Utilizou-se a latitude do local (15°) como sendo a inclinação dos painéis, visto que isso favorece o rendimento do sistema (RUTHER,2011).

Para o cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico, deve-se ter a energia consumida (E), a irradiância de referência, a média mensal do total diário da irradiação solar incidente no plano do arranjo fotovoltaico (GPOA), em kWh/m²/dia (quilowatts-hora por metro quadrado dia), (VIEIRA, 2010). Eficiência do inversor, se obtêm com dados do fabricante que varia de acordo com modelo e marca de cada inversor as perdas na transformação de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) mais as perdas nos cabos de energia, (PR), (RÜTHER et al.,2006).

O dimensionamento consiste em determinar:

- O rendimento total do sistema;
- Cálculo da potência de pico do sistema fotovoltaico;
- A potência de cada módulo;
- A quantidade de painéis;

P_{sol} é a radiação média no local da instalação dos sistemas FV. A radiação solar de referência (1000 W/m^2) é a radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia.

4.1.1 O Rendimento Total Do Sistema

O rendimento do sistema pode ser atribuído o nome de Performance Ratio (PR). Para fins de dimensionamento, essa etapa consiste no cálculo de perdas que o sistema pode sofrer em relação a diversos fatores, entre eles acumulo de sujeira nos módulos fotovoltaicos, perdas de carga devido a distância do sistema instalado e o ponto de fornecimento de energia, o inversor não operar com o rendimento de 100%. Senão houvesse estes fatores para influenciar o processo de produção de energia, o rendimento do sistema ou a Performance Ratio seria de 100%, mas não é possível atingir tal perfeição, então é calculada ou adotada de acordo com alguns autores (RUTHER,2006) um rendimento entorno de 75% a 82%. Neste sistema não há controlador de carga, logo o rendimento do sistema FV será baseado no rendimento do inversor (95%), no rendimento dos cabos que ligam os painéis ao inversor (96%) e do cabo que liga o inversor a rede elétrica (96%) todos estes dados são fornecidos pelo fabricante de cada peça necessária, nos restando aplicar a equação abaixo e determinar um rendimento satisfatório. O sistema fotovoltaico consiste em muitas incertezas para seu dimensionamento uma delas a Performance Ratio (PR). Aplicando a Equação 01. (RÜTHER et al.,2006).

Equação 01

$$PR = \eta_{pv} \cdot \eta_{dist} \cdot \eta_{hinv}$$

PR = Rendimento do sistema

η_{pv} = Perdas por quedas de tensão por cabos ou condutores CC

η_{dist} = Perdas por quedas de tensão por cabos ou condutores CA

η_{hinv} = Rendimento do inversor

$$PR = 0,95 \cdot 0,96 \cdot 0,96 = 0,875$$

Determinada a Performance Ratio de 87,5% o próximo passo é a determinação da potência pico P_{peak} , aplicada na **Equação 2**.

4.1.2 Índice De Radiação Solar No Local

O Quadro 1 descreve os índices de radiação média para Formosa-GO, que são utilizados no processo de dimensionamento extraídas do banco de dados do CRESESB (2014) o qual será utilizado na equação 2 para determinação da irradiação diária G_{poa} .

QUADRO 1 - RADIAÇÃO DIÁRIA MÉDIA EM FORMOSA-GO

ÂNGULO	INCLINAÇÃO	RADIAÇÃO DIÁRIA MÉDIA MENSAL [KWH/M_DIA]												
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
PLANO HORIZONTAL	0° N	4,67	5,58	4,83	5,00	4,72	4,75	4,97	5,50	5,25	4,69	4,75	4,72	4,93
ÂNGULO IGUAL A LAT.	16° N	4,35	5,35	4,56	5,39	5,42	5,68	5,86	6,14	5,43	4,57	4,45	3,38	5,13
MAIOR MÉDIA ANUAL	19° N	4,26	5,27	4,54	5,43	5,52	5,81	5,99	6,22	5,43	4,53	4,37	4,26	5,14
MAIOR MÍN. MEN.	6° N	4,57	5,53	4,57	5,18	5,02	5,14	5,34	5,78	5,36	4,68	3,66	4,61	5,04

Fonte: CRESESB, (2018)

4.1.3 Cálculo Da Potência De Pico Do Sistema Fotovoltaico

A energia consumida diariamente pelas cargas E é a energia consumida no Batalhão onde será aplicado este sistema fotovoltaico, obtivemos o valor de 2505 kW/h, (gasto mensal). A irradiância de referência P_{sol} é uma constante que equivale ao valor de 1000 W/m², para compatibilização das unidades utiliza-se 1Kw/m². Para determinação da irradiação diária G_{poa} utiliza-se tabelas que podem ser obtidas no atlas Solari métrico, em sites de internet que estão sendo constantemente atualizados ou na CRESESB, o quadro 1 será utilizado para determinar a irradiância, o valor apresentado está em dia, para compatibilizar as unidades, deve ser transformado para mês. Utiliza-se o valor de 5,13 que representa a média em relação ao ângulo igual a latitude apresentado na terceira linha do quadro 1. Por fim, a Performance Ratio PR que foi determinada na equação 1. Aplicando estes valores na equação 2 encontra-se o valor de 18,602 KWp (quilowatts pico) que será a potência pico que os painéis fotovoltaicos devem ser dimensionados a atender.

Equação 0 2

$$P_{peak} = \frac{E \cdot P_{sol}}{G_{poa} \cdot PR} = \frac{2505 \cdot 1}{153,9 \cdot 0,875} = 18,602 \text{ KWp}$$

P_{peak} =Potência pico do painel fotovoltaico (Kwp)

E=Energia consumida diariamente pelas cargas (KWh/dia)

P_{sol} =Irradiância de referência (KW/m²)

G_{poa} =Irradiação diária do plano dos módulos (KWh/m².dia)

PR=Performance Ratio – Coeficiente de desempenho (Adimensional)

4.1.4 A Potência De Cada Módulo

Nesta etapa do dimensionamento caracteriza-se a escolha do painel fotovoltaico. Há vários modelos no mercado com diversas variações de potências, a escolha é bem relativa, pode haver a escolha de um painel com menor potência que foi escolhida para este dimensionamento, porém, diminuindo a potência do módulo, acarreta no aumento da quantidade de módulos fotovoltaicos. Como padrão foi escolhido o modelo YL290P-35B que atende a uma potência de 290 Watts. Para determinar a quantidade de módulos, utilizou-se a **Equação 3**.

Tabela 1 - Especificações do Módulo

Modelo:	YL290P-35B
Potência máxima STC (P _{max})	290 w
Voltagem MPP (V _{mpp}):	35,80 V
Voltagem Circuito Aberto	45,30 V
Corrente MPP (V _{mpp})	8,10 A
Corrente de Circuito (%)	8,82 A
Eficiência do Módulo (%)	14,9
Comprimento (mm)	1970
Largura (mm)	990
Área (m ²)	1,95
Peso (Kg)	26,8
Temp. coeficiente of Voc βVoc %/°C	-0,33

Fonte: IMETRO, (2016)

4.1.5 Quantidade De Painéis

Equação 0 3

$$Q_p = \frac{P_{peak}}{P_m} = \frac{18602 \text{ Wp}}{290 \text{ Wp}} = 64, 15$$

Q_p = Quantidade de painéis FV

P_{peak} =Potência pico do painel fotovoltaico (Wp)

P_m =Potência de cada módulo (Wp)

A potência pico, P_{peak} foi determinada na equação 2 com o valor de 18,602KWp, para utilização da equação 3 as unidades foram compatibilizadas de modo que KWp fora convertido em wp (watts pico) por isso, o valor de 18.602 wp. A potência do módulo P_m , reitera-se que este dado é fornecido pelo o fabricante e varia de acordo com cada módulo, é de 290 wp. Portanto, a equação 3 consiste na divisão entre a potência necessária e a potência de cada módulo, o resultado consiste na quantidade de módulos para atingir a potência pico necessária calculada na equação 1. Em seguida, determinou-se a verificação do inversor.

4.1.6 O Inversor

O sistema fotovoltaico necessita de inversores de corrente, uma vez que a corrente elétrica gerada nos painéis é contínua (CC) e a corrente fornecida pela concessionária de energia elétrica é em corrente alternada (CA).

Na escolha do inversor, verifica-se a potência nominal, tensões de entrada e saída e a temperatura de operação do painel fotovoltaico (inverno e verão) e coeficiente de temperatura do módulo fotovoltaico. Para a escolha do inversor deve ser levado em conta o mesmo princípio de determinação do painel fotovoltaico, ou seja, de forma aleatória mas devemos atentar que, o inversor tem uma margem de trabalho, definida pelo ponto onde ele inicia a conversão de energia e o ponto no qual há a possibilidade de queima, caso ultrapasse. Basicamente, essa é a única forma de danificar um material deste. O elevado valor de tensão a ponto de danificar o aparelho é obtido devido à associação entre os primeiros raios solares do dia onde com a baixa temperatura. Após a escolha do inversor, com os dados fornecidos pelo fabricante, necessita-se saber a tensão de trabalho, já tensão em circuito aberto e a tensão em circuito fechado utilizaremos a do módulo que está na Tabela 1, aplicando-as nas verificações das tensões.

O inversor escolhido para o estudo foi o ABB 7.6W 120 – 530 UND-7.6-OUTD-US-S-A (227V) para o qual foram feitos os cálculos para se verificar se a escolha poderia ser utilizada para esse sistema. Esse inversor possui uma faixa de tensão 120 – 530 V e uma máxima tensão de entrada de 600 V.

Antes de verificar se o inversor é adequado para o sistema que esta sendo dimensionando esclarece-se que aplicando a Equação 3, determinou-se a necessidade de 64 unidades dos módulos. Afim de uma melhor distribuição, associamos os módulos em fileiras com 8 unidade em série cada fileira é chamada de *strings*, então teremos 8 *strings*.

Como há a possibilidade de defeitos, não é aconselhado a utilização de apenas um inversor, visto que isso pode implicar em falta de energia para o batalhão, no período em que o defeito esteja sendo sanado. Portanto, serão utilizados 4 inversores para atendimento das 8 *strings*.

4.1.7 Verificação Das Tensões

1. Tensão (V_{mpp}) é a tensão em circuito fechado, para ser determinada basta multiplicar a quantidade de módulos em série pela a tensão do módulo em tensão de V_{mpp} que é de 35,8, conforme valor encontrado na Tabela fornecida pelo fabricante resulta no valor de 286,4 V a uma temperatura de 25°C que é a média obtida para a localização do batalhão determinada conforme maps.nrel.gov/swera.

$$V_{mpp} = 8 \text{ un} \times 35,8 \text{ V} = 286,4 \text{ V}$$

2. A queda de tensão V_{mpp} , está relacionada ao aumento da temperatura que o módulo pode alcançar, adotou-se um valor de 80° C, pois é suficiente para o local de instalação dos módulos. Para calcular a queda de tensão utilizou-se o coeficiente de temperatura fornecido pelo fabricante do módulo, neste caso de -0,33%, multiplicando-se com o valor da tensão em circuito fechado e pela diferença de temperatura que é de 80° - 25°.

$$-V_{mpp} = \frac{-0,33}{100} \times 286,4 \times (80 - 25) = 234,42 \text{ V}$$

3. A tensão em circuito aberto (V_{oc}), segue o mesmo princípio da tensão em circuito fechado, porém o valor da tensão em circuito aberto, conforme valor encontrado na tabela fornecida pelo fabricante é de 45,30V. Dessa forma, multiplica-se esse valor por 8 (módulos em série).

$$V_{oc} = 8 \text{ un} \times 45,30 \text{ V} = 362,4 \text{ V}$$

4. O aumento da tensão V_{co} , é alcançado na menor temperatura possível do local de instalação do sistema, dimensionamos para uma temperatura de 5°, valor considerado

satisfatório para a realidade do local do estudo. Para esse cálculo, utilizou-se o coeficiente de temperatura de -0,33% multiplicado pela tensão em circuito aberto e pela diferença de temperatura entre 25°C (média local) e 5°C (menor valor possível para o local).

$$V_{oc} = \frac{-0,3}{100} \times 362,4 \times (25 - 5) = 338,5 \text{ V}$$

Os valores calculados para as tensões revelaram a menor e maior tensão possíveis, 234,42V e 338,5V respectivamente. Como a faixa de trabalho do inversor está compreendida entre 120 e 530V, tem-se o modelo de inversor adotado atende a necessidade para o local de instalação.

4.1.7.1 Resultado do dimensionamento

Foram escolhidos 64 módulos YL290P-35b e 4 inversores JNO-7-6-OUTD-US-S-A (277V) que nos produz 35 MWh/ano de 01/01 a 31/12 isso corresponde a 96% da energia consumida pelo 16º Batalhão da PM por ano.

4.2 DISCUSSÃO

O sistema FV proposto deverá atender uma carga de 18,6kWp, mas devido ao rendimento do inversor e as perdas inerente dos cabos CC e CA, deve-se trabalhar com uma potência de 20KWp. O sistema deve ser composto por:

- 64 módulos fotovoltaicos YL290P – 35B de 290 W;
- 4 inversores ABB 7.6W 120 – 60H.

O resultado da geração dos painéis FV foi uma produção de **95,97** KWp/dia, quantidade que supera o consumo do batalhão e produz um crédito de energia, fazendo que o 16 ° BPM opere como uma Usina Fotovoltaica, pois além de produzir energia para o próprio consumo, gera um excedente de energia para a concessionária CELG.

Aplicando os dados obtidos no Soft PVsyst obteve-se que o sistema irá gerar 35 MWh por ano (figura 3). Nos meses de janeiro a outubro o sistema é capaz de gerar energia suficiente para o 16º BPM e ainda oferecer energia para a concessionária CELG, apenas nos meses novembro e dezembro é que será necessário utilizar os créditos não utilizados nos outros meses, portanto, trata-se de um sistema vantajoso, pois quando o sistema não for capaz de gerar toda a

energia necessária é possível utilizar a energia convencional da distribuidora. O programa calcula um valor de investimento de 63.736 EUR o que equivale aproximadamente R\$ 250.000,00 para instalação do projeto.

Figura 03 – Resultado de geração de energia

Input Data		Parameters		Results	
Brasilia Plane: tilt 15°, azimuth 0°		Annual Yield	35.0 MWh/yr	Area	125 m ²
		Module Cost	0.85 EUR/Wp	Nominal power	20.0 kW
		Technology	Monocrystalline	Investment	63736 EUR
				Energy cost	0.18 EUR/kWh

	Gl. horiz. kWh/m ² .day	Coll. Plane kWh/m ² .day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	5.35	5.01	85.10	2638
Feb.	5.83	5.70	96.85	2712
Mar.	5.50	5.66	96.22	2983
Apr.	5.16	5.68	96.45	2893
May	4.84	5.65	95.97	2975
June	5.01	6.08	103.2	3096
July	5.29	6.36	108.1	3350
Aug.	5.91	6.75	114.6	3553
Sep.	6.09	6.49	110.2	3307
Oct.	5.28	5.27	89.54	2776
Nov.	4.78	4.55	77.28	2319
Dec.	4.96	4.61	78.37	2429
Year	5.33	5.65	95.97	35031

FONTE: SOFTWARE PV_{system}

4.3 REDUÇÃO NA CONTA DE LUZ

O 16° BPM consome aproximadamente 2505 kWh/mês de acordo com dados colhidos no ano de 2018. O valor médio do kWh é de R\$ 0,47 então o valor mensal a ser pago é de:

$$2505 \times 0,47 = \text{R\$ } \mathbf{1.177,35}$$

Com a implantação do sistema fotovoltaico, a produção de energia é de aproximadamente 95,97 kWh/dia, o que resulta em **2880 kWh/mês**, que irá suprir a energia necessária para 16° BPM e corresponde a uma parcela não paga à concessionária de:

$$\text{Parcela} = 2880\text{kwh/mês} \times 0,47 = \text{R\$ } \mathbf{1.353,17}$$

Portanto haverá um crédito de R\$ 175,82 mensais com a concessionária, esse valor é variável pois o sistema foi projetado somente para suprir a energia gasta, havendo interesse em produzir mais energia, faz-se necessária a instalação de módulos adicionais, a instalação, bem como o devido estudo para definição dos locais para instalação desses.

4.4 ESTUDO DE CUSTO E DE TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

A análise técnica-econômica do investimento é de suma importância para tomada de decisão. Através do custo de aquisição dos materiais que serão utilizados para o sistema fotovoltaico pode-se avaliar o tempo de retorno do investimento. Após instalação do sistema, gera-se uma economia mensal relacionada a não necessidade (ou redução) de pagamentos mensais à concessionária.

Materiais que serão utilizados para a aplicação do sistema são os módulos, inversores, estruturas, essenciais para a fixação dos módulos, tais como trilhos, cliques de fixação, parafusos. Também há a necessidade de cabos, conetores, canaletas, quadros elétricos e disjuntores.

O investimento foi estimado em R\$ 250.000,00 e envolve todos os gastos necessários para a instalação: materiais, mão de obra e a conexão do sistema à rede da concessionária CELG distribuidora.

Foi utilizado o Software Excel para elaborar um gráfico que permite um estudo prático do investimento a ser realizado (gráfico 1).



Fonte: Elaborada Pelo autor, (2018)

Os valores iniciais negativos correspondem ao período em que os investimentos são maiores que os retornos. Observa-se que, a partir do 8º ano ocorre a recuperação do

investimento e que do 9º ano em seguida, obtém-se lucro. Consta-se ainda que 25 anos corresponde ao período necessário para todo valor inicial investido.

Portanto, constata-se que o projeto é viável e há um retorno do investimento em 96 meses.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho demonstrou que os telhados dos batalhões podem se transformar em micro ou mini usinas geradoras de energia elétrica proveniente de fonte renovável, onde os 64 módulos serão suficientes para suprir a energia do 16º BPM. De acordo com os cálculos, o sistema só não atenderá a necessidade nos meses de novembro e dezembro, mas nos outros meses todos haverá sobra de energia que será injetada na rede da concessionária, ou seja, sempre terá crédito com a empresa responsável pela distribuição de energia.

Uma maneira que o Estado pode fazer a diferença é transformar a cobertura dos batalhões de polícia em pequenas usinas fotovoltaicas. é uma instituição centenária e todo investimento não será perdido, e como foi apresentado no gráfico Payback, esse retorno do investimento poderá ocorrer em até 10 anos, além disso pode-se criar usinas em locais onde há um grande gasto de energia, instala um projeto para além de suprir a energia necessária gerar além do necessário já que é possível creditar em outros locais da mesma titularidade, o desconto poderia ser distribuído em outros batalhões de menor gasto.

Sugere-se para estudos futuros a amplie a pesquisa apresentado, instalando um projeto que, além de suprir a demanda de energia, gera-se um excedente que poderá ser creditado diferentes localidades de mesma titularidade. Nessa perspectiva, o crédito obtido poderia ser distribuído entre diferentes batalhões e/ou outros órgãos estatais, no intuito de, além de gerar energia para o local de interesse, ocorra um efetivo fornecimento para a rede elétrica convencional do Estado.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 16149:2013. Sistemas fotovoltaicos (SF) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. 12 f. 2013.

AFONSO, G. S. (2012). *Análise dos Instrumentos Normativos de Suporte à Geração Solar Fotovoltaica Distribuída Conectada à Rede de Distribuição*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM - 489/2012, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 146p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), Matriz de Energia elétrica.

Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/output_noticias.cfm? Identidade =8899&id_area=> Acesso em 11/02/2018.

CRESPI, M. H. (2015). *Análise Energética e de Custo do Potencial Fotovoltaico Conectado à Rede de Energia Elétrica do Complexo Aeroportuário de Joinville*. Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Centro de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina (Ufsc), Campus de Joinville, como Requisito Parcial Para a Obtenção do Grau de Engenheiro De Infraestrutura. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 71p.

CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) / CEPEL (Centro de Pesquisa de energia elétrica). *Energia Solar- Princípios e aplicações*. RJ-Brasil. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 01/12/2017.

FREITAS, S. S. A. *Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos*. 104 f. Mestrado em Engenharia Industrial-Eletrotécnica. Instituto Politécnico de Bragança – Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Portugal. 2008.

INMETRO (TABELA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS 2016). Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Disponível em < <http://www.inmetro.gov.br> > Acesso em: 09 de dezembro de 2017.

NOTA TÉCNICA N° 0043/2010-SRD/ANEEL, Processo: 48500.004924/2010-51, Esta Nota Técnica tem como objetivo apresentar os principais instrumentos regulatórios utilizados no Brasil e em outros países para incentivar a geração distribuída de pequeno porte, 09/210. Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/> > Acesso em: 09 de dezembro de 2017.

PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030. *Geração de energia elétrica a partir de outras fontes*. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasil. v.9. 226 f. 2008.

RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. Altera a Resolução Normativa n° 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br> >. Acesso em: 05/12/2017.

SOFTWARE PVSYST, *PVsyst presents results in the form of a full report, specific graphs and tables, and data can be exported for use in other software*. Disponível em <<http://www.pvsyst.com/en/>> Acesso em: 05/05/2018.