

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UM BATALHÃO DE ÁREA

SIZING A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR AN AREA BATTALION

Ayron Souza Lima*
Alan Carlos Pires de Moraes**

RESUMO

O presente artigo relata sobre a urgência da sustentabilidade nos dias atuais, enfatizando a importância de abordar questões sociais, energéticas, econômicas e ambientais. Destaca-se a necessidade de implementar um sistema energético alternativo para instituições públicas, no caso, à Polícia Militar. O artigo propõe a implementação de um sistema fotovoltaico no 30º Batalhão da Polícia Militar, analisando suas perspectivas e impactos positivos na redução de custos operacionais, preservação ambiental e resiliência energética. O estudo aborda considerações técnicas e econômicas, ressaltando os benefícios alcançáveis dessa tecnologia para as forças de segurança e a sociedade. Os cálculos e comparações detalhados confirmam a eficácia do sistema, reduzindo custos operacionais e promovendo a independência energética. Apesar dos obstáculos, como a falta de incentivos públicos, a conclusão destaca a importância da transição para uma gestão de energia mais sustentável, resultando em economias a longo prazo e fortalecendo a capacidade das instituições de cumprir sua missão de forma eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Energia solar. Sistema fotovoltaico. Dimensionamento. 30º Batalhão da Polícia Militar.

ABSTRACT

This article reports on the urgency of sustainability today, emphasizing the importance of addressing social, energy, economic and environmental issues. The need to implement an alternative energy system for public institutions, in this case, the Military Police, stands out. The article proposes the implementation of a photovoltaic system in the 30th Military Police Battalion, analyzing its perspectives and positive impacts in reducing operational costs, environmental preservation and energy resilience. The study addresses technical and economic considerations, highlighting the achievable benefits of this technology for security forces and society. Detailed calculations and comparisons confirm the effectiveness of the system, reducing operating costs and promoting energy independence. Despite obstacles, such as the lack of public incentives, the conclusion highlights the importance of transitioning to more sustainable energy management, resulting in long-term savings and strengthening the ability of institutions to fulfill their mission efficiently and sustainably.

Keywords: Sustainability. Solar energy. Photovoltaic system. Sizing. 30th Military Police Battalion.

* CFP2023, 4ª CIA – Turma D, Comando da Academia da Polícia Militar de Goiás (CAPM), Goiânia – GO. E-mail: ayroon_projetos2@hotmail.com

** Professor orientador, Bacharel em Direito, Especialista em Gestão de Ciências Policiais, Polícia Militar (PM), Goiânia – GO.

1 INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade nunca se fez tão necessário para ser aplicado como nos dias atuais. A necessidade de usar recursos naturais para satisfazer as necessidades presentes sem comprometer as futuras passou a ser vista com mais importância pelo mundo. Esse conceito deve ser capaz de englobar questões sociais, energéticas, econômicas e, sobretudo, ambientais. Uma das formas que pode ajudar na mitigação dos problemas enfrentados na área ambiental é o uso de fontes de energia renovável, as quais podem ter pouco ou nenhum impacto direto e significativo no meio ambiente.

É possível observar que a necessidade de usos alternativos na geração de energia está se tornando cada vez mais evidente. Isso não é apenas resultado de avanços tecnológicos, mas também da necessidade de preservação ambiental. O esgotamento do uso de energias não-renováveis está gerando uma escassez de seus insumos, os quais, embora não deixem de existir definitivamente, levam milhares de anos para que haja uma nova produção e possam se recompor.

Com isso, um certo espaço está sendo cedido para a implantação de energias renováveis como opções mais viáveis a serem utilizadas. Embora o mercado para algumas das tecnologias renováveis ainda não seja tão competitivo, essas vêm ganhando visibilidade e importância em diversas áreas de estudos. A energia solar, possuidora de um grande recurso que contribui para que a sua geração seja infinita, a energia provinda do Sol, é uma das principais tecnologias que merece atenção na análise de energias renováveis.

Na última década, ocorreu um aumento na implementação de sistemas de captação de energia solar para a geração de energia elétrica em residências. Tais implantações consolidam a concepção dos benefícios gerados por essa tecnologia. No entanto, o uso em instalações de órgãos públicos ainda tem uma baixa escala de adeptos, seja por motivos econômicos, seja por falta de políticas auxiliaadoras na adoção da tecnologia.

Este artigo tem como objetivo explorar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico específico para atender às demandas do 30º Batalhão da Polícia Militar e analisar sua viabilidade de implantação, a fim de chegar à conclusão se isso influencia de forma positiva ou negativa na decisão de implantar o sistema. A energia solar não apenas reduzirá os custos operacionais da unidade, mas também contribuirá para a preservação do meio ambiente e para a melhoria da resiliência energética. Ao longo deste estudo, serão examinadas as considerações técnicas e econômicas envolvidas no projeto de um sistema fotovoltaico personalizado para

atender às necessidades específicas do 30º BPM, demonstrando os benefícios tangíveis que essa tecnologia pode oferecer às forças de segurança e à sociedade como um todo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Painéis Solares Fotovoltaicos

É a diferença de potencial entre as extremidades de uma estrutura semicondutora quando está se encontra sob a incidência de irradiação solar, e transformando assim, em energia elétrica, por meio do efeito solar gerador, que permite a ocorrência de uma diferença de potencial elétrico quando o material é exposto à luminosidade.

“Um sistema fotovoltaico é uma fonte de potência elétrica, na qual as *células fotovoltaicas* transformam a Radiação Solar diretamente em energia elétrica (RONILSON, 2018, p.14).”

“...é a energia elétrica produzida a partir de luz solar, e pode ser produzida mesmo em dias nublados ou chuvosos. Quanto maior for a radiação solar maior será a quantidade de eletricidade produzida (PORTAL SOLAR, 2018).”

2.2 Classificação e Elementos dos Sistemas Fotovoltaicos

Para se entender como funciona o sistema solar fotovoltaico primeiro deve-se fazer sua divisão quanto aos tipos células fotovoltaicas utilizadas, quanto ao tipo de sistema e seus elementos. Sendo assim, fica mais fácil o seu entendimento, devido à especificação de cada um.

2.2.1 Células Fotovoltaicas

É um equipamento semicondutor que tem a capacidade de transformar a energia contida nos fótons da radiação luminosa gerados pelo Sol em energia utilizável, por meio do sistema solar fotovoltaico. Essa célula representa a estrutura fundamental desse sistema de energia, e seu agrupamento em módulos fotovoltaicos encapsulados constitui os conhecidos painéis solares ou placas fotovoltaicas.

Entre tantas opções de células solares, que se valem de inovações tecnológicas, a mais utilizada no mercado é a que utiliza o silício cristalizado. Que tem a capacidade de absorver a radiação do sol por meio de um estreito espectro da radiação.

Assim, há duas subclassificações de células fotovoltaicas de silício cristalizado que são frequentemente utilizadas no dimensionamento da estrutura fotovoltaica: as células fotovoltaicas monocristalinas e células fotovoltaicas policristalinas.

2.2.1.1 Células Fotovoltaicas de Silício Cristalizado

É uma célula composta de uma lâmina de silício purificado dopado, com boro e fósforo. A parte dopada com fósforo é chamada de tipo-N e está fica exposta ao sol gerando excesso de elétrons. E a parte dopada com boro, do tipo-P, que fica na parte inferior da célula e gera excesso de lacunas (falta de elétrons, denominada vacância). A área da junção-PN gera então, um gradiente elétrico.

Assim que ocorre a transmissão de energia dos fótons da luz solar para os elétrons na camada de valência dos materiais semicondutores, a área do gradiente elétrico é capaz de quebrar as ligações com um átomo. Isso resulta em vacância, ou seja, a falta de um elétron em uma ligação rompida, desencadeando um movimento de elétrons nos espaços anteriormente ocupados, os quais ficam livres para serem ocupados por outros elétrons. Esse processo constitui uma circulação de corrente elétrica em um único sentido.

Pela sua afinidade para que o sistema solar seja possível e por ser o segundo material mais abundante na natureza, as células de silício cristalizado são utilizadas. Produzindo efeitos positivos na captação de energia luminosa e transformação em energia elétrica.

- a) Células fotovoltaicas monocristalinas (mono-Si): é obtido através do método *Czochralski*. São feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro que são transformados em lingotes de silício de forma cilíndrica, o qual é fatiado em lâminas que são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas.

Os seus painéis possuem uma alta eficiência, cerca de 15 – 22%. Ocupando um menor espaço físico, uma vez que estes painéis solares possuem uma eficiência maior eles necessitam de menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica. São encontrados em tamanhos padrões de 10x10cm, 12,5x12,5cm e 15x15cm.

- b) Células fotovoltaicas policristalinas (poli-Si): é obtido em processo semelhante aos do monocristalinas. A diferença é o método utilizado na fundição dos cristais e na forma como as placas são cortadas, em formas quadradas. Os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos cristais.

Possuem uma eficiência menor, cerca de 14 – 20%, devido a menor pureza do poli-silício. E, para produzir uma quantidade semelhante de W/m^2 que as células monocristalinas, precisam de uma área maior de painéis.

Este atende melhor consumidores que estejam mais interessados com o custo.

2.2.2. Sistema Fotovoltaico

Sistemas fotovoltaicos podem ser instalados em qualquer região que receba radiação do sol de forma adequada. Esses sistemas dispensam o uso de combustíveis fósseis, não têm componentes removíveis e, por serem dispositivos de estado sólido, demandam menos manutenção. Durante sua operação, não geram ruídos, e também não emitem gases tóxicos ou qualquer forma de poluição ambiental. Os sistemas que captam energia solar são classificados de acordo à forma como é feita a geração ou entrega da energia elétrica através de sistemas isolados (*Off-Grid*) ou por sistemas conectados à rede (*On-Grid*).

A diferença básica entre esses dois tipos está em que o sistema conectado à rede ou *On-Grid* é ligado à rede elétrica da concessionária fornecedora de energia, e o sistema isolado ou *Off-Grid* não é ligado à rede da fornecedora de energia. E que a implementação do sistema isolado pode envolver a utilização de um banco de baterias, cuja função é armazenar a energia gerada durante o período de exposição solar. Para os propósitos desta pesquisa institucional, abordaremos exclusivamente o dimensionamento de um sistema conectado à rede (*On-Grid*).

2.2.2.2. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (*On-Grid*):

a) Características:

A energia gerada apresenta uma fonte de energia complementar a energia fornecida pela concessionária de energia. Ou seja, a energia elétrica gerada é distribuída à rede a ela ligada. Essa redistribuição pode ser de forma direta - a energia é direcionada para a rede da concessionária e a unidade consumidora passa a possuir um crédito, segundo normativa ANEEL 482/12 -, mas, também, a eletricidade produzida pode ser consumida internamente na construção ou residência, sendo fornecida pela rede apenas quando há um excedente de consumo.

Nesse sistema não há o armazenamento de energia elétrica, o que diferencia do sistema *Off-Grid*. Consequentemente seu custo de implantação é menor. E para a sua implantação deve ser primeiramente apresentado e aprovado projeto de implantação a concessionária que fornece a energia, segundo normativa ANEEL 482/12.

Outra característica do sistema *On-Grid* é que ele opera apenas quando há a inserção de eletricidade na rede. Quando ocorre queda de energia elétrica, o sistema automaticamente se desconecta da rede, afim de evitar possíveis acidentes. Isso ocorre por meio dos inversores interativos (inversor *grid-tie*) instalado no sistema.

b) Componentes:

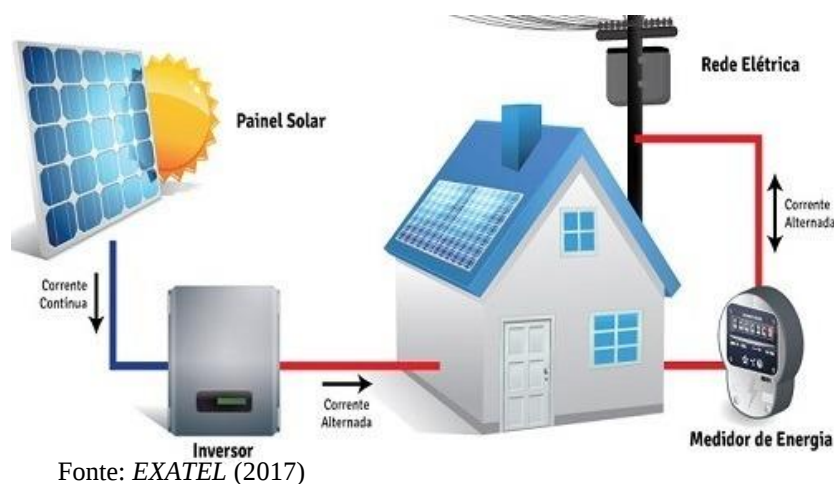
O sistema possui quatro componentes principais:

- O arranjo fotovoltaico: é o conjunto das placas solares fotovoltaicas, sendo do tipo monocristalinas ou policristalinas;
- Caixa de junção do painel fotovoltaico: são os que fornecem proteção as fileiras e módulos do arranjo fotovoltaico;
- Inversor *Grid-Tie*: é instalado entre o sistema gerador fotovoltaico e o ponto de fornecimento à rede, ele recebe a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente contínua e converte em energia alternada, sincronizando e injetando na rede elétrica (SOLAR BRASIL).

Sua função é adaptar-se ao ponto de máxima potência (MPP), alcançando assim sua eficiência máxima; manter um registro operacional, armazenando e/ou transmitindo dados durante o funcionamento; e incluir dispositivos de proteção em corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA);

- Medidor de energia.

Figura 1 – Sistema solar conectado à rede ou On-Grid



2.2.3. Radiação Solar

Apesar da energia produzida pelo o sol ser em grande escala, nem toda essa energia consegue chegar à Terra. Essa energia é produzida através de interações de elementos químicos

no núcleo do Sol, interações entre átomos de hidrogênio que formam ligações de átomos de hélio liberam energia por toda a superfície do Sol – fotosfera. E essa energia se irradia por todas as direções e que uma delas consegue viajar pelo o espaço e chegar até a superfície da Terra. As partículas que viajam pelo o espaço – cerca de 150 milhões de quilômetros do Sol – chegam à superfície terrestre em forma de partículas de fótons de energia luminosa.

A magnitude desta energia ao atingir a superfície terrestre é aproximadamente de 1,3 kW/m², enquanto a que efetivamente alcança a superfície é de cerca de 1 kW/m². Essa diminuição de radiação solar é devida a alguns fatores que influenciam diretamente na sua intensidade. Fatores como:

- a) Localização geográfica: sendo os locais com maiores intensidades de radiação solar, os quais que irão ter melhores eficiências – em condições adequadas de instalação – na captação da energia solar. Países na zona intertropical são os que possuem as maiores taxas de intensidade;
- b) Período (estação) anual: A Terra gira de forma elíptica em volta do Sol, isso causa uma inclinação em seu eixo de rotação, que ocasiona uma angulação de cerca de 23,5° com a *normal* ao plano de elipse da órbita da Terra.

Devido a esta inclinação, a orientação da Terra em relação ao Sol muda de forma contínua ao mesmo tempo que a Terra gira ao redor Sol. Segundo ALICE MARLENE GRIMM, METEOROLIGA BÁSICA, cáp. 2, pág. 1

O Hemisfério Sul se inclina para longe do Sol durante o nosso inverno e em direção ao Sol durante o nosso verão. Isto significa que a altura do Sol, o ângulo de elevação do Sol acima do horizonte, ... para uma dada hora do dia... varia no decorrer do ano. No hemisfério de verão as alturas do Sol são maiores, os dias mais longos e há mais radiação solar. No hemisfério de inverno as alturas do Sol são menores, os dias mais curtos e há menos radiação solar.

- c) Camada atmosférica: “A atmosfera terrestre age como um filtro, que bloqueia uma parte dessa energia. Quanto mais espessa for a camada atmosférica a ser vencida, menor será a Irradiância solar ao nível do solo (OS SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, 2018, p. 22).” Devido a isso, a absorção ou dispersão dos raios solares tem relação direta com a espessura da camada atmosférica em determinadas horas do dia. E, a poluição dessa camada fomenta os fenômenos de absorção e dispersão. Aquela espessura é avaliada por meio de um fator denominado Massa de Ar (AM). Ele é quem vai influenciar na absorção e dispersão devido à elevação do Sol no céu;

- d) Radiação de *Albedo*: Que é energia solar refletida da Terra, seja por vegetação, por construções, por casas, por carros, etc. Devido a esses fatores, sua Irradiância é muito pequena.

2.3. Sistema fotovoltaico solar e a Polícia Militar

O mundo conheceu um enorme crescimento econômico e demográfico nas últimas décadas, o que levou a avanços tecnológicos significativos e ao aumento da dependência de vários tipos de dispositivos elétricos. Como sublinhado por Pereira et al. (2017): O aprimoramento nas condições de vida das pessoas, juntamente com o aumento do acesso à habitação, transporte e saneamento, tanto em áreas urbanas quanto rurais, resulta em um maior consumo de energia elétrica.

A implementação de sistemas fotovoltaicos solares na administração pública oferece uma série de benefícios significativos, seja no aspecto financeiro, seja no ambiental ou operacional. A administração pública lida com orçamentos limitados, e os sistemas fotovoltaicos podem reduzir drasticamente os gastos com eletricidade. Os recursos financeiros economizados podem ser realocados para outras áreas prioritárias.

Em relação a implantação em um batalhão de área da Polícia Militar de Goiás, a manutenção de sistemas fotovoltaicos é geralmente mais econômica em comparação com outras fontes de energia, o que ajuda a economizar dinheiro. A geração de energia solar pode reduzir significativamente as despesas com eletricidade a longo prazo, liberando recursos financeiros para outras necessidades críticas, como treinamento, equipamentos e operações.

De acordo com dados obtidos pela Polícia Militar de Goiás, o Batalhão em análise tem um gasto anual de cerca de R\$ 10.200,00 e quando analisado em uma janela de escala a longo prazo, em 10 anos, pode-se perceber a quantia de R\$ 101.907,70, que é uma quantia consideravelmente grande e que poderia estar sendo reinvestida na reestruturação de estabelecimentos policiais e melhorias de equipamentos.

Figura 2 – Relação das leituras de consumo de energia ao longo de 12 meses

Nº	Data Leitura	Leitura	Referência	Consumo(kW/h)	Vencimento	Tipo	Valor
1	21/10/23	22432	10/2023	1717.0000	30/11/23	FATURA	1192.93
2	20/09/23	20715	9/2023	1205.0000	30/10/23	FATURA	840.99
3	23/08/23	19510	8/2023	1093.0000	30/09/23	FATURA	765.90
4	24/07/23	18417	7/2023	958.0000	30/08/23	FATURA	672.21
5	22/06/23	17459	6/2023	965.0000	30/07/23	FATURA	950.53
6	22/05/23	16494	5/2023	1096.0000	30/06/23	FATURA	981.03
7	20/04/23	15398	4/2023	1163.0000	30/05/23	FATURA	855.46
8	21/03/23	14235	3/2023	1060.0000	30/04/23	FATURA	781.79
9	20/02/23	13175	2/2023	1209.0000	30/03/23	FATURA	859.72
10	23/01/23	11966	1/2023	862.0000	28/02/23	FATURA	625.55
11	23/12/22	11104	12/2022	1017.0000	30/01/23	FATURA	756.59
12	22/11/22	10087	11/2022	1239.0000	30/12/22	FATURA	908.07

Fonte: Polícia Militar de Goiás (2023)

Projetar um sistema fotovoltaico para uma edificação da Polícia Militar é fundamental para atender às necessidades energéticas da instalação e garantir o funcionamento contínuo em situações críticas. É também um processo estratégico para garantir a autossuficiência energética, a resiliência operacional e a eficiência econômica das instalações da Polícia. Este processo detalhado inclui uma série de etapas principais para projetar um sistema fotovoltaico adaptado para atender às necessidades específicas de uma unidade policial.

O dimensionamento cuidadoso dos painéis solares não só proporciona poupanças de custos a longo prazo, mas também aumenta a resiliência operacional e ajuda a reduzir as emissões de carbono. Isto garante que a unidade policial esteja equipada com uma fonte de energia confiável, durável e eficiente para apoiar operações críticas, mesmo em situações de emergência. Além disso, demonstra o compromisso das forças de segurança com práticas ambientalmente saudáveis, bem como com a segurança e a eficiência operacional.

A estruturação de um sistema fotovoltaico para uma edificação da polícia é crucial por diversos motivos. Em primeiro lugar, a força policial funciona 24 horas por dia, 7 dias por semana, e um fornecimento de energia ininterrupto é essencial para o bom funcionamento das operações de segurança pública e de comunicações. Além disso, os edifícios policiais requerem frequentemente um elevado consumo de energia devido à utilização constante de equipamentos de segurança, sistemas de vigilância, sistemas de iluminação exterior e instalações de comunicações. A análise de viabilidade econômica é essencial para visualizar se há a necessidade de investir em um sistema fotovoltaico. Avalia o retorno do investimento ao longo do tempo, analisando os custos iniciais de compra e instalação em comparação com as poupanças resultantes da produção de energia solar. Com uma análise de viabilidade bem estruturada, é possível tomar decisões informadas sobre a implementação de um sistema fotovoltaico que beneficie o órgão policial, a comunidade e o orçamento público.

3 METODOLOGIA

Neste presente capítulo será mostrado como se pretende proceder ao dimensionar o sistema solar fotovoltaico. Neste, consta como se procede o dimensionamento energético e técnico. Primeiro será realizado uma análise das equações, quais são e o passo a passo para se chegar às informações necessárias para dimensionar os equipamentos. Posteriormente, será realizado uma visita em campo ao local para entender o dimensionamento do local e analisar a possível implementação do sistema na cobertura (telhado) ou em local aberto no solo. Ademais,

será obtido os resultados das equações e, com isso, poder quantificar os materiais necessários juntamente com os seus valores. Além disso, será elaborada uma tabela orçamentária do custo geral de implementação do sistema. Por fim, será feita uma análise do custo benefício do projeto e a relação de diminuição de consumo de energia pela concessionária.

3.1 Dimensionamento Energético

Está relacionado ao modo de quantificar a quantidade de energia (em kWh) em que deverá produzir (para sistemas *On-Grid*) no sistema em causa.

Para que se consiga chegar a um valor de estudo é preciso conhecer a carga diária que é consumida pela edificação em análise. Com o conhecimento da carga diária consumida é possível elencar pontos ao qual se consegue fazer uma análise de dados:

- a) Qual a quantidade de energia que o sistema solar deve gerar diariamente para atender ao consumo;
- b) Potência Máxima utilizada para o dimensionamento do sistema a ser instalado.

Para o dimensionamento energético deverá se fazer um estudo de cargas gerados através do seguinte modelo:

- Dimensionamento por meio da utilização da conta de fatura mensal gerada pela concessionária fornecedora de energia. Por meio dela é possível se fazer uma média aritmética dos valores referentes aos últimos 12 meses de utilização de energia e pegar o valor médio para se fazer o dimensionamento. Assim:

$$\text{Consumo médio de Carga [kWh]} = \frac{\sum \frac{\text{valor mensal da fatura}}{12}}{2}$$

3.2 Dimensionamento Técnico

Para dimensionar o sistema a ser instalado com o intuito de haver uma eficiência máxima, se faz uso de equações numéricas e tabelas de equipamentos para auxiliar nos dados considerados.

3.2.1 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Cálculo da potência a instalar

O sistema em foco deve atender às necessidades de consumo consideradas. Esta dependerá da Irradiação Solar Diária Média Mensal [kWh/m².dia], que é a quantidade de

horas/sol em um dia, calculado em dados ao longo de um ano. Os dados foram obtidos na plataforma online do Cresesb (2017) (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica), em um período de 12 meses. Cujos dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Irradiação Solar no Plano Inclinado – Goiânia, GO.

Ângulo	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]														
	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	5,45	5,52	5,12	5,02	4,75	4,56	4,78	5,68	5,57	5,61	5,39	5,51	5,25	1,12
Ângulo igual a latitude	17° N	5,02	5,28	5,17	5,45	5,53	5,51	5,7	6,42	5,8	5,46	5,01	5,01	5,45	1,4
Maior média anual	18° N	4,99	5,26	5,17	5,47	5,56	5,55	5,74	6,45	5,8	5,44	4,98	4,98	5,45	1,47
Maior mínimo mensal	11° N	5,2	5,4	5,19	5,34	5,3	5,21	5,42	6,21	5,76	5,55	5,18	5,22	5,42	1,03

Fonte: CRESESB (2017)

Com a tabela é possível observar os pontos de máximos e mínimos para os picos de horas de irradiação solar. Os valores com a cor vermelha representam os valores mínimos de pico aferidos ao longo de 12 meses e os valores na cor azul representam os valores máximos de pico. E através do valor do Consumo diário e de pico mínimo é possível se obter o valor da potência dos módulos solares.

$$P_{pv}[Wh] = \frac{\text{Consumo de Carga}}{\text{pico mínimo de irradiação solar}} * 1000,$$

Esta potência deverá ser corrigida por conta das perdas que pode sofrer por causa de algum equipamento no sistema. Para isso, deverá adotar o coeficiente de perdas igual:

$$\eta_{perdas} = 0,8037$$

Portanto, a potência corrigida dos painéis solares:

$$P_{cr}[Wh] = \frac{P_{pv}}{\eta_{perdas}}$$

Módulos fotovoltaicos a utilizar

Além do cálculo da quantidade de módulos fotovoltaicos a utilizar, é importante a escolha do tipo de módulo de acordo com suas especificações. O INMETRO (Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia) disponibiliza uma lista com classificações indicativas sobre a qualidade da eficiência dos módulos, assim como especificações de marca, modelo, material, características físicas, tensões, correntes, potência, entre outros.

$$n^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{P_{cr}}{P_m}$$

- Pm: corresponde à potência nominal do painel/módulo escolhido.

Ademais, é essencial determinar a tensão em corrente contínua (Vcc) para constatar a funcionalidade do sistema. Logo, é aconselhável que a tensão de funcionamento do sistema aumente com o aumento da carga diária consumida. De acordo com RUI MIGUEL ROCHA VAL DE OVELHA, PROJETO, DIMENSIONAMENTO E INSTALAÇÃO DE SOLUÇÃO FOTOVOLTAICA NUMA MORADIA *OFFGRID*, pág. 30

Para cargas pequenas (até 1kWh diários) pode utilizar-se 12V como valor de VDC. Já para cargas intermédias (3 a 4 kWh por dia), recomenda-se os 24V. Para cargas diárias maiores (acima de 4 kWh diários), deverá adotar-se VDC de 48V. Esta escolha leva a uma diminuição de perdas pelo sistema.

Inversores

“O inversor deve apresentar a tensão de entrada igual à tensão Vcc do sistema (tensão do banco de baterias) e tensão Vca de saída conforme a necessidade, normalmente 127 ou 220 V, 60Hz (MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, 2014, p. 315).”

E, a sua potência é qualificada como igual ou superior à potência corrigida. Além disso, é aconselhável selecionar os que demonstrem grande eficiência na sua produção, visando coibir perdas na sua funcionalidade.

Para atendimento da Resolução Normativa da ANEEL 493/2012, é exigida a saída senoidal pura. O INMETRO disponibiliza duas tabelas, uma para sistema *Off-Grid* e outra para *On-Grid*, para auxiliar na escolha de inversores que atendam a demanda de projeto. Portanto:

$$\text{Inversor} \geq P_{cr}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Batalhão escolhido para o presente trabalho é o 30º Batalhão da Polícia Militar, conhecido como Batalhão Cabo França, e que está localizado na Praça da Juventude - Av. Anápolis - Jardim das Aroeiras, Goiânia. O Batalhão possui uma área de construção de, aproximadamente, 266 m² (está área está de acordo com a parte que foi construída recentemente e não consta no *Google Maps*).

Figura 2 – Vista da cobertura do 30º BPM



Fonte: GOOGLE MAPS (2020)

Figura 3 – Vista lateral da nova cobertura do 30º BPM



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Para a viabilidade do projeto, em relação a captação de energia solar suficiente para atender a demanda do Batalhão, foi decidido alocar os painéis no telhado, visto que é onde ocorre a maior incidência da radiação solar. O telhado possui uma área de, aproximadamente, 200 m² e sem obstruções (chaminés, dutos de ar, etc...). E com o auxílio de uma bússola e dados disponíveis em estudos teóricos, foi possível analisar que a água do telhado está orientada para a direção Oeste e possui inclinação de 30°, adotando então para os painéis solares inclinação de 20°. Segundo o MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, 2014, pág. 367:

Para geração máxima de energia ao longo do ano, o ângulo de inclinação do gerador fotovoltaico (Figura 7.8) deve ser igual à latitude do local onde o sistema será instalado. No entanto, pequenas variações na inclinação não resultam em grandes mudanças na energia gerada anualmente e a inclinação do gerador fotovoltaico pode estar dentro de 10° em torno da latitude do local.

4.1 Consumo Energético

Para haver um correto dimensionamento do sistema, foi imprescindível entender como funciona o gasto energético do Batalhão. Por isso, foi analisado o consumo mensal através dos dados obtidos da relação de consumo do Batalhão em um período de 12 meses, entre novembro de 2022 a outubro de 2023. Assim, consiste em pegar os valores de cargas consumidas ao longo desses meses, colocá-los em uma tabela no Excel e estimar a demanda de pico máximo em kWh, para o Batalhão.

Quadro 1 – Estimativa de consumo de carga – Goiânia, 2022 e 2023

Estimativa de consumo de carga		
MÊS/ANO	CONSUMO [kWh]	CONSUMO [kWh/dia]
out/23	1717	57
set/23	1205	40
ago/23	1093	36
jul/23	958	32
jun/23	965	32
mai/23	1096	37
abr/23	1163	39
mar/23	1060	35
fev/23	1209	40
jan/23	862	29
dez/22	1017	34
nov/22	1239	41
TOTAL	13584	453
DEMANDA DE PICO MÁXIMO [kWh/dia]		19

Fonte: Polícia Militar de Goiás (2023)

4.2 Dimensionamento

O dimensionamento técnico foi feito com base, em sua maioria, em equipamentos catalogados em tabelas disponibilizadas pelo INMETRO. E, para estes equipamentos foi feita cotação em mercado para os seus valores e assim se chegar a um valor de orçamento. O Valor tomado como Irradiação Solar diária foi de 4,98 kWh/m².dia.

Conforme as equações elucidadas na Capítulo 3 (Metodologia), foi possível chegar a seguinte tabela de Potência da energia a ser mensurada:

Quadro 2 – Potências de Energia calculadas – Goiânia, 2023

Tabela de Potência da energia	
Potência a instalar (W)	Potência corrigida (W) ($n_{perdas} = 0,08037$)
3788,49	47138,08

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Módulos fotovoltaicos

De forma a se chegar a escolha do painel mais indicado para o perfil do Batalhão e do consumo energético, foi utilizado alguns dados, como painéis disponíveis em mercado que estavam em regiões ou cidades próximas e valores de mercado. Para isso, foi traçado um perfil de potências padrões a serem utilizadas de acordo com o que estava disponível no mercado. E, utilizando a fórmula enunciada no Capítulo 3, para a quantidade de painéis, foi possível fazer a seguinte tabela:

Tabela 2: Relação de módulos analisados

MARCA	POTÊNCIA DO PAINEL (P_m) (W)	POTÊNCIA CORRIGIDA (P_{cr}) [Wh]	Nº_MÓDULOS [ud] (P_{cr}/P_m)
<i>Luxen Solar Series 5</i>	595	47.138,08	79
<i>OSDA ODA580-36V-MH</i>	580	47.138,08	81
<i>Sunova SS-595-78-MDH</i>	595	47.138,08	79

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Portanto, analisando a disponibilidade em mercado, o seu custo-benefício e a área de implantação, foram adotados 79 painéis solares da marca *LUXEN SOLAR SERIES 5*.

Inversores

Para achar o inversor mais adequado aos sistemas, de acordo com os mesmos parâmetros utilizados para definir qual módulo melhor se adequa ao sistema, também foi feito uma tabela comparativa de potências dos inversores, utilizando a fórmula do Capítulo 3. E, tendo como tensão de entrada 48 V, foi possível definir o número de inversores necessários.

Tabela 3: Relação de inversores analisados

MARCA	TENSÃO DE ENTRADA [V]	TENSÃO DE SAÍDA [V]	POTÊNCIA DE PICO (PP) [W]	POTÊNCIA CORRIGIDA (Pcr) [Wh]	NÚMERO DE INVERSORES (Pcr/PP)
<i>Inversor Senoidal Epever IPower Plus IP3000-42</i>	48	220	3000	47.138,08	16
<i>Inversor Híbrido On + Off Grid Deye SUN5K</i>	48	220	5000	47.138,08	9
<i>Inversor Senoidal Epever IPower Plus IP5000-42</i>	48	220	5000	47.138,08	9

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Foi escolhido se trabalhar com inversores de 5000W para o sistema conectado à rede da marca *INVERSOR SENOIDAL EPEVER IPOWER PLUS IP5000-42*.

Em resumo, foi feita uma tabela com o quantitativo de equipamento necessários para o sistema, visto as peculiaridades para este Batalhão.

Quadro 3 – Relação de equipamentos calculados – Goiânia, 2023

Sistema <i>On-Grid</i>	
nº de Módulos	nº de Inversores
79	9

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Com a estimativa de equipamentos foi possível realizar uma planilha orçamentária com o valor total da implantação do sistema solar. E, logo após, foi possível fazer o comparativo de custo-benefício, o cálculo e análise da viabilidade financeira do sistema.

Tabela 4: Orçamento geral calculado para instalação do projeto

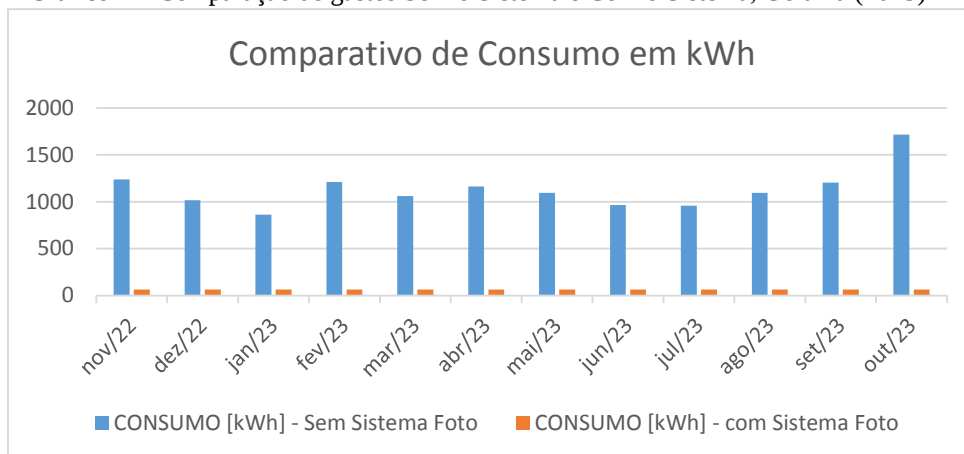
OBRA: FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ON-GRID Local: GOIÂNIA GO						
					Data: nov/23	
	Fonte	Descrição	Un.	Qtde.	Preço - R\$ (Real)	
					Unitário	Total
1		ADMINISTRAÇÃO DA OBRA E DESPESAS GERAIS				12.066,19
1.1	CREA	ART CREA	ud	1	254,59	254,59
1.2	02707/SINAPI	Engenheiro civil de obra pleno	h	30	348	10.440,00

1.3	34761/SINAPI	Montador Eletromecânico (encarregado)	h	120	7,01	841,2
1.4	06111/SINAPI	Servente de obra	h	120	4,42	530,4
2		EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL				228,3
2.1	12893/SINAPI	Bota de segurança com biqueira de aço e colarinho acolchoado	par	2	40,12	80,24
2.2	12895/SINAPI	Capacete de segurança aba frontal com suspensão de polietileno, sem jugular (classe b)	ud	2	10,28	8,36
2.3	00941/ORSE	Fardamento	ud	2	69,85	139,7
3		ESTRUTURA METÁLICA				10.570,08
3.1	Memória de cálculo	Estruturas metálica de suporte para 11 painéis fotovoltaicos	ud	16	660,63	10.570,08
4		EQUIPAMENTOS FOTOVOLTAICOS				124.863,50
4.1	Cotação	Módulo fotovoltaico policristalino Luxen Solar Series 5	ud	79	1099,00	86.821,00
4.2	Cotação	Inversor solar fotovoltaico on-grid Senoidal Epever IPower Plus IP5000-42	ud	9	3.799,00	34.191,00
4.5	Cotação	Conector Solar Plug Macho e Fêmea	ud	79	14,3	1129,7
4.6	Cotação	Cabo solar 10 mm ² TOPSOLAR 50 m	ud	4	680,45	2.721,80
6		INSTALAÇÃO E COMISSIONAMENTO				5.607,62
6.1	Memória de cálculo	Instalação e comissionamento	ud	1	5.607,62	5.607,62
SUB TOTAL						153.335,59
BDI (equipamentos)					11,09%	3.988,74
BDI (serviços)					25,00%	2.137,24
TOTAL						159.461,67

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Utilizando o software disponibilizado pelo site *NEOSOLAR*, foi possível analisar que este sistema tem a capacidade de produzir anualmente cerca de 20 KWh. E, considerando o seu valor de investimento inicial, este projeto apresenta um VAL positivo (valor anual líquido de economia) de R\$ 10.778. A tarifa a ser paga seria a mínima de consumo cobrada pela concessionária, cerca de R\$ 65,00, assim, calculando a porcentagem de economia, observa-se que está é de 76%, o que significa que o projeto é economicamente viável.

Gráfico 1 – Comparação de gastos Sem o Sistema e Com o Sistema, Goiânia (2023)



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Portanto, após os cálculos e comparativos feitos, é possível perceber que a implantação do sistema solar fotovoltaico é viável para o Batalhão em estudo. Além disso, com a economia arrecadada anualmente é possível reinvestir na própria Segurança Pública. De forma micro, em relação ao Batalhão em análise, seria factível o investimento em sua reforma e ampliação, a fim de que melhore a estrutura física e dê continuidade as obras que já foram iniciadas. De forma macro, a aplicação na compra de armamentos ou investimentos em especializações de cursos para os policiais melhoraria a forma de atuação da policial na segurança da sociedade.

5 CONCLUSÃO

Os cálculos e comparativos foram feitos e foi possível fazer algumas conclusões acerca da proposta do artigo e análises para futuros projetos relacionados com este tipo de aspecto.

Após avaliação estrutural do local e as especificações das necessidades e condições para o projeto, foi verificado a precisão de estimar a carga de energia diária e mensal utilizada no Batalhão, de modo que o dimensionamento fosse feito para todo o local. E, escolhida a metodologia, as informações obtidas foram organizadas e fundamentadas por meio de cálculos, tabelas e comparações.

Além disso, foi possível constatar os aspectos positivos da implementação do sistema fotovoltaico, seja ao meio ambiente, monetariamente e aos órgãos de Segurança Pública ou ao respectivo Batalhão.

Em relação ao meio ambiente, além dos benefícios ambientais diretos - não emitir poluentes durante a operação, ajudando a melhorar a qualidade do ar e a saúde pública -, foi

possível perceber que a adoção de painéis solares promove a independência energética e a diversificação da matriz energética. Isso reduz a vulnerabilidade nas flutuações dos preços oferecidos pelas concessionárias de energia elétrica e contribui para a estabilidade do fornecimento de energia. Ademais, a sua implementação é uma medida essencial para enfrentar os desafios ambientais associados à geração de energia.

Outrossim, aplicado de forma geral aos órgãos policiais, pode-se reduzir significativamente os custos operacionais associados à eletricidade, uma vez que os painéis solares proporcionam uma fonte de energia renovável e de baixo custo a longo prazo, permitindo que os recursos financeiros sejam redirecionados para outras áreas essenciais, como treinamento, equipamentos e melhoria da infraestrutura.

Ao se analisar as tabelas e cálculos, é possível perceber a efetividade da implementação do sistema de painéis, visto que seus benefícios implementados de forma generalizada aos órgãos públicos poderão otimizar recursos monetários e a melhoria estrutural de seus órgãos. Além disso, é um sistema direcionado a longo prazo, que os seus benefícios acontecerão de forma gradual e poderá se obter uma visão global de forma anual. E, ao ser implementado no Batalhão em análise, pode-se observar a mudança mensal de utilização energética da concessionária e o utilizado pelos painéis, também, o gasto financeiro da Administração Pública com esse órgão.

Como obstáculo, há a falta de incentivos públicos para a implementação desses sistemas aos órgãos públicos, uma vez que as concessionárias de fornecimento de energia possuem o monopólio da prestação de serviços. Ademais, a falta de projetos direcionados a esse caso e de qualificações para projeções podem causar um retardamento ao avanço de uma política de gestão de energia mais limpa e não dependente de concessionárias de energia.

Em resumo, a redução nos custos operacionais, a previsibilidade financeira, a independência energética e a possibilidade de incentivos fiscais contribuem para uma gestão financeira mais eficiente e fortalecem a capacidade dos órgãos policiais de cumprir sua missão de forma eficaz e sustentável.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, Ricardo Duque. **Metodologia de Aplicação Eficiente de Energia Solar em Residências**. 2016. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Ufrj, Rio de Janeiro, 2016.

OVELHA, Rui Miguel Val de. **Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia offgrid**. 2017. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia e do Ambiente, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Universidade Portuguesa, Lisboa, 2017. Pág. 30.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: Ufsc Labsolar, 2004. 118 p.

SANTOS, Ísis Portolan dos. **Integração De Painéis Solares Fotovoltaicos Em Edificações Residenciais E Sua Contribuição Em Um Alimentador De Energia De Zona Urbana Mista**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil -Ppgec, Universidade Federal de Santa Catarina -Ufsc, Florianópolis, 2009.

ALTENER, Programa Comunitário. **ENERGIA FOTOVOLTAICA: Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação**. PortalEnergia, 2004.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel – Cresesb, 2014. 530 p. Pág. 315, 367.

COLAFERRO JUNIOR, Nelson; COLAFERRO, Luis; COLAFERRO, José. **Os Sistemas De Energia Solar Fotovoltaica**. EDITORA BLUESOL. Disponível em: <https://bluesol.com.br/>. Acesso em: 03 set. 2023.

GRIMM, Alice Marlene. **Meteorologia Básica: notas de aula**. 1999. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/index.html>. Acesso em: 19 set. 2023.