SISPRED 2023
XV SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS
BOAS PRÁTICAS, INOVAÇÃO, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE
19 E 20 DE OUTUBRO DE 2023 - JOINVILLE - SC

APLICAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS FLEXÍVEIS PARA O ATENDIMENTO DE HOSPITAIS DE CAMPANHA DO EXÉRCITO BRASILEIRO

Application of flexible photovoltaic modules to attend field hospitals of the Brazilian Army

Hugo Oliveira da Silva[1]; Daniel Setrak Sowmy[2]

Recebido em 05 de junho de 2023, aprovado em 24 de julho de 2023, publicado em 19 de outubro de 2023

Palavras-chave:

Hospital

Fotovoltaico

Flexível

Keywords:

Hospital

Photovoltaic

Flexible

RESUMO: O presente artigo tem por objetivo avaliar a possibilidade de atender a demanda de energia de um hospital de campanha do Exército Brasileiro a partir de um sistema fotovoltaico com módulos flexíveis posicionados na sua cobertura e de estruturas adjacentes. Pacaraima, cidade que abriga uma operação institucional com emprego desses hospitais, foi a área escolhida para realizar as simulações. A edificação foi caracterizada a partir da demanda de energia de três diferentes grupos existentes nesse hospital: equipamentos hospitalares, não-hospitalares e o sistema de climatização. A partir disso, as simulações avaliaram três cenários: a capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos flexíveis na cobertura de uma unidade hospitalar, a área necessária para o atendimento de toda a sua demanda e os requisitos necessários para o atendimento parcial dos equipamentos. Foi observado que a cobertura de um hospital de campanha não é capaz de atender integralmente nenhum dos grupos de cargas avaliados. No entanto, ao utilizar a cobertura de edificações adjacentes, verificou-se que qualquer operação da instituição é capaz de atender os equipamentos hospitalares e não-hospitalares. O atendimento completo é condicionado à existência de uma operação que possua, no mínimo, nove edificações similares às do hospital de campanha.

ABSTRACT: This article aims to assess the possibility of meeting the energy demand of a Brazilian Army field hospital using a photovoltaic system with flexible modules positioned on its roof and adjacent structures. Pacaraima, a city hosting an institutional operation with the deployment of these hospitals, was chosen as the area for conducting simulations. The building was characterized based on the energy demand of three different groups within the hospital: hospital equipment, non-hospital equipment, and the air conditioning system. Based on this, the simulations evaluated three scenarios: the generation capacity of the flexible photovoltaic modules on the roof of a hospital unit, the area required to meet its entire demand, and the requirements for partial equipment coverage. It was observed that the roof of a field hospital is unable to fully meet any of the evaluated load groups. However, when utilizing the roofs of adjacent buildings, it was found that any institutional operation is capable of meeting the energy demands of both hospital and non-hospital equipment. Complete coverage is conditional upon the existence of an operation that has, at least, nine buildings similar to the field hospital.

CONTATO DOS AUTORES:

[1] **SILVA, Hugo Oliveira da**: Engenheiro Eletricista, Estudante de mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, hugoos@usp.br

[2] **SOWMY, Daniel Setrak**: Engenheiro Civil, Doutor, Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo / Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, dss@usp.br

1 INTRODUÇÃO

Conforme pontuado por Ruther (2004), os sistemas fotovoltaicos *off-grid*, aqueles que não estão conectados na rede elétrica, podem ser utilizados para atender localidades remotas e descentralizadas, cuja infraestrutura elétrica presente não esteja preparada para as novas necessidades. Atualmente, a própria pandemia do COVID-19 acirrou a discussão entre ampliar as redes já construídas ou adotar os sistemas off-grid (ALI et al., 2022).

Nesse contexto de atendimentos a localidades remotas, insere-se o Exército Brasileiro, instituição responsável por realizar operações (missões) em todo o território nacional, atuando pontualmente e por tempo limitado (Ministério da Defesa, 2022). Face a transitoriedade de sua atuação, nem sempre será viável construir uma infraestrutura para atender suas demandas no local. Por conta disso, geradores a diesel são utilizados para suprir toda a energia.

Em parte dessas operações são construídos hospitais de campanha, próprios, com unidades padronizadas, responsáveis por fazer o atendimento básico de saúde dos militares e da população no seu entorno.

2 OBJETIVO

O presente artigo tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica e operacional de instalar módulos fotovoltaicos flexíveis ao longo da cobertura dos hospitais de campanha do Exército Brasileiro – unidades de atendimento e emergência - para atender sua demanda de energia, construindo um sistema fotovoltaico *off-grid* capaz de atuar de forma isolada, reduzindo a necessidade dos geradores a diesel e permitindo a instalação em localidades com difícil acesso à rede de energia elétrica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Hospitais de campanha do Exército Brasileiro

Conforme asseverado por Santos (2017), os hospitais de campanha do Exército atendem diversas finalidades, de apoio aos treinamentos até operações complexas e, por conta disso, possuem estrutura flexível, capaz de se adaptar à realidade da atividade. Podem ser compostos por módulos com setores de recepção, enfermarias e emergências, denominados unidades de serviços, como na Figura 1

Figura 1 – Unidade de serviços do hospital de campanha



Fonte: Autor (2023).

Além dessas unidades básicas, caso a complexidade de atividade exija, outros módulos específicos podem ser acoplados às unidades de serviço com intuito de cobrir uma maior gama de procedimentos, como, por exemplo, módulos cirúrgicos, laboratoriais ou unidades de terapia intensiva (DUARTE, 2019). Nesses casos, conforme apresentado na Figura 2**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, são anexados contêineres específicos para cada uma dessas aplicações.

Figura 2 - Estrutura de um hospital de campanha modular institucional



Fonte: Autor (2023).

A unidade de serviços do hospital de campanha possui a estrutura de um semicilindro, cujo raio é de três metros e possui oito metros de comprimento (WEATHERHAVEN, 2021).

Os hospitais de campanha, no entanto, nunca são utilizados de forma isolada: ainda que a atividade fim da operação seja de atendimento à saúde, estruturas de apoio similares também são usualmente construídas, como alojamentos e depósitos de suprimentos. Dessa forma, cada missão, mesmo que reduzida, conta com, no mínimo, três barracas de mesma geometria para atender suas necessidades.

3.2 Equipamentos elétricos do hospital de campanha

Os módulos de serviços são estruturados com base nos equipamentos presentes na Tabela 1**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, possuindo cinco leitos para atendimento.

Tabela 1 - Equipamentos de um módulo de serviços do hospital de campanha

Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)
Monitores multiparamétricos	5	600
Bombas de infusão	2	60
Ventilador mecânico respiratório	2	300
Desfibrilador/cardioversor	1	240
Eletrocardiógrafo	1	264
Luminárias com lâmpadas fluorescentes	12	384
Computadores	2	130
Tomadas de uso geral	5	500
Sistema de Climatização	1	4628

Fonte: Autor (2023).

Subdivide-se esses equipamentos em três grupos: os equipamentos hospitalares, utilizados em procedimentos médicos e de contato direto com o paciente, os equipamentos não hospitalares – aqueles de apoio às atividades internas, que não são aplicados em nenhum tipo de procedimento - e o sistema de climatização. A Figura 3 apresenta os equipamentos previstos em cada um dos grupos.

Figura 3 - Grupos de equipamentos dos hospitais de campanha.



Fonte: Autor (2023).

A partir dos dados apresentados, foi obtida a carga instalada da unidade hospitalar, separada por tipo de equipamento, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Potência agrupada por grupo de equipamentos.

Grupo de equipamentos	Carga Total (kW)
Equipamentos hospitalares	1,46
Equipamentos não-hospitalares	1,01
Sistema de climatização	4,63
Total	7,11

Fonte: Autor (2023).

4 MÉTODO

Primeiramente, foi escolhida a cidade de Pacaraima para realização das simulações. Localizada no norte do país, a região está próxima à linha do equador e, atualmente, abriga uma operação do Exército Brasileiro responsável por acolher venezuelanos migrantes para o território nacional.

Posteriormente, com base nos dados apresentados, foi estimada a quantidade de horas que cada equipamento permanece ligado para obter a energia consumida pela edificação. Esses elementos foram parâmetros incluídos no *software* PVSyst 7.2 – utilizado para desenvolver as simulações.

Dessa forma, foram realizadas duas simulações com os módulos fotovoltaicos flexíveis posicionados na cobertura do hospital de campanha: a primeira com intuito de verificar quanto cada módulo do hospital de campanha é capaz de gerar e a segunda visando avaliar a viabilidade de atender o hospital de campanha a partir da geração fotovoltaica, utilizando como parâmetro a área de implantação necessária, e soluções alternativas para esse atendimento.

4.1 Parâmetros de simulação

4.1.1 Avaliação da energia demandada

A energia que a unidade hospitalar demanda é função das horas de utilização de cada um de seus equipamentos. Optou-se por apresentar um cenário mais crítico, a partir do qual os equipamentos hospitalares ficariam ligados durante todo o tempo, bem como as luminárias e os computadores (equipamentos não-hospitalares) e o sistema de climatização – quaisquer outros equipamentos e sistemas não foram considerados.

A exceção fica restrita às tomadas de uso geral, cuja estimativa considera a utilização por oito horas diárias, durante o período de expediente administrativo regular, entre às oito e dezesseis horas, momento no qual as unidades hospitalares estão com a maior parte de seus militares de prontidão para os atendimentos.

O Tabela 3 expõe a energia consumida pela unidade segregando cada grupo de equipamentos.

Tabela 3 - Energia consumida diariamente pelo hospital de campanha.

Grupo de equipamentos	Energia consumida (kWh)
Equipamentos hospitalares	35,14
Equipamentos não-hospitalares	16,34
Sistema de climatização	111,07
Total	162,54

Fonte: Autor (2023).

4.1.2 Escolha do módulo fotovoltaico no *software*

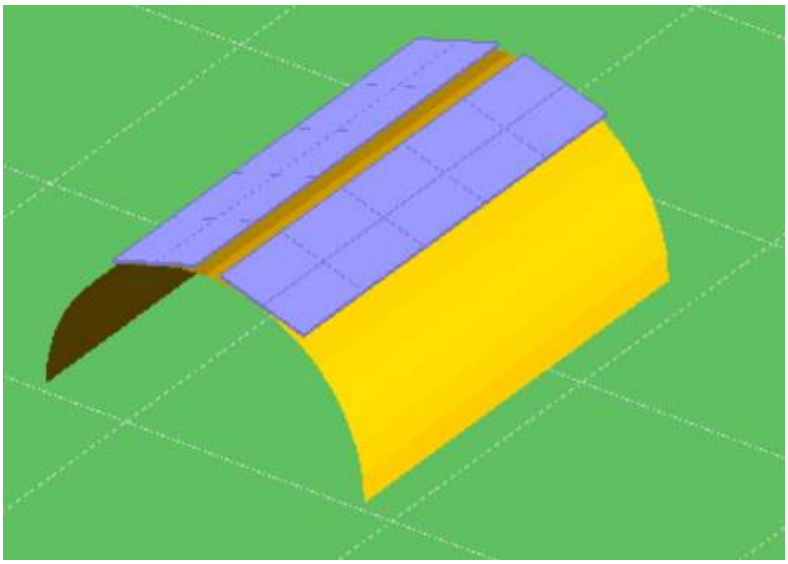
Os módulos fotovoltaicos flexíveis, diferentemente dos convencionais (rígidos), amoldam-se à estrutura da cobertura sobre a qual estão dispostas, ganhando sua conformação. Apesar de existirem comercialmente, o *software* utilizado para simulação não os contempla em sua biblioteca.

Para suprir essa lacuna, buscou-se no banco de dados do PVSyst, um módulo convencional, cuja potência e dimensões fossem compatíveis com as existentes no mercado. Dessa forma, foi escolhido um módulo fotovoltaico com as seguintes características: 175 Wp e a 30V. Suas dimensões são de aproximadamente 1,6m de comprimento e 0,8m de largura, ocupando uma área total de 1,3m². A menor dimensão dos módulos fotovoltaicos flexíveis ajusta-se com maior facilidade à cobertura do hospital, tornando a simulação mais próxima da realidade.

4.1.3 Disposição dos módulos fotovoltaicos na cobertura

Escolhido o módulo fotovoltaico, as simulações foram realizadas com a disposição deles conforme Figura 4.

Figura 4 - Módulos fotovoltaicos flexíveis na cobertura do hospital de campanha.



Fonte: Adaptada PVSyst (2023).

Como Pacaraima está localizada no hemisfério norte, maximizar a geração de energia exige que os módulos estejam orientados para o sul geográfico. No entanto, por ser uma região de baixa latitude, com sol praticamente a pino durante quase todo o ano, a simulação considerou parte deles também orientados para o norte geográfico com intuito de melhor aproveitar a área disponível. Essa configuração permitiu um aproveitamento de um terço da envoltória.

Adicionar outras fileiras com módulos não foi considerado uma vez que isso aumentaria a inclinação dos módulos em relação ao plano horizontal, o que reduz a capacidade de geração.

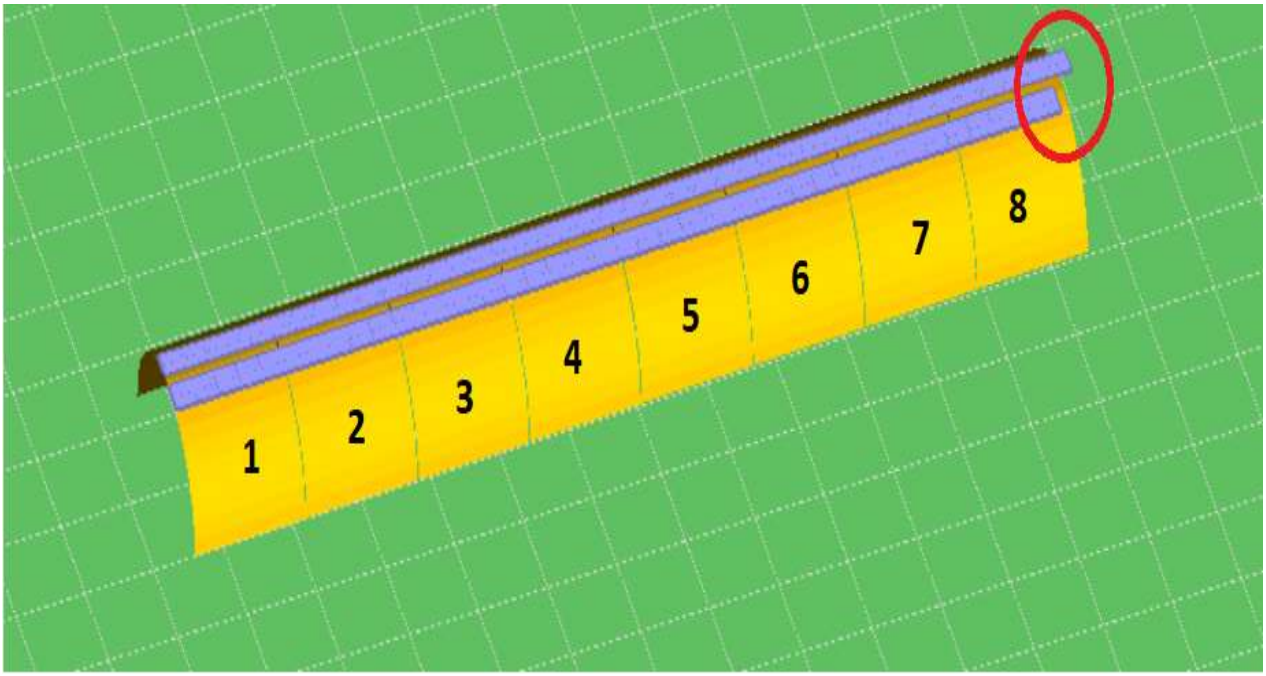
A configuração exposta na Figura 4 permite a utilização de vinte módulos fotovoltaicos, cobrindo uma área de 25,6m².

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira simulação partiu da configuração apresentada na Figura 4, na qual foi verificado que o sistema ocupando a cobertura de uma unidade do hospital de campanha seria capaz de gerar diariamente 14 kWh de energia, respondendo por apenas 9% da energia demandada.

A segunda simulação, no entanto, definiu apenas a geometria dos módulos fotovoltaicos, sem limitar sua área, com intuito de verificar quantos seriam necessários para atender a energia demandada pelo hospital de campanha. O resultado da simulação está apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Simulação 2.



Fonte: Adaptada PVSyst (2023).

Esta simulação demonstrou a necessidade de 166 módulos fotovoltaicos para atender toda a carga instalada do hospital de campanha, ocupando uma área total de 212 m². Para que seja possível acomodar todos os módulos, é necessário que exista uma estrutura posicionada ao lado com, pelo menos, nove barracas similares à do hospital de campanha.

Além disso, a Figura 6 apresenta a influência de cada um dos grupos de equipamentos no dimensionamento total.

Figura 6 - Quantidade de módulos flexíveis necessários para atender cada um dos grupos de equipamentos.



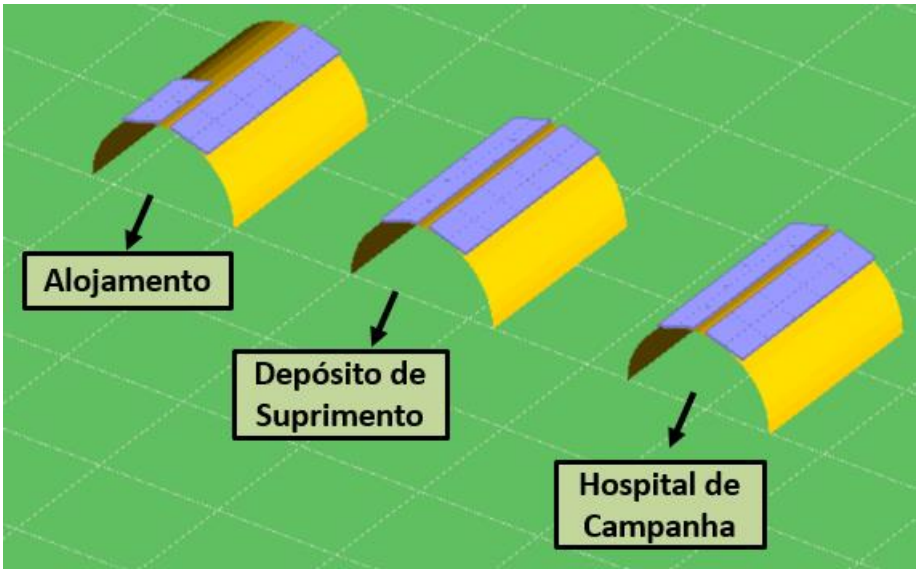
Fonte: Autor (2023).

O sistema de climatização responde pela maior parte do dimensionamento, tanto pelo fato de sua carga ser maior que a soma dos demais equipamentos, quanto por ser necessário ficar ligado durante todo o dia. Além disso, uma vez que esse sistema é essencial para o correto funcionamento da unidade hospitalar, não é possível aplicar nenhum fator de demanda sobre ele.

Em contrapartida, é possível que haja uma redução na quantidade de módulos fotovoltaicos e, consequentemente, da área necessária, a partir de uma melhor estimativa da utilização dos equipamentos hospitalares e não-hospitalares.

Estratégia alternativa é o atendimento parcial das cargas. Uma vez que qualquer operação institucional possui outras barracas e existe um gerador responsável para suprir a sua demanda de energia, pode-se avaliar a possibilidade de deixar o sistema de climatização ser atendido por essa fonte e o sistema fotovoltaico responsável por suprir os equipamentos hospitalares e não-hospitalares. Nesse cenário, são necessários 54 módulos fotovoltaicos, cobrindo uma área de 69,1 m², conforme Figura 7.

Figura 7 - Configuração para atendimento dos equipamentos hospitalares e não-hospitalares.



Fonte: Adaptada PVSyst (2023).

Verifica-se que, nesse cenário, o sistema fotovoltaico posicionado na cobertura das estruturas da menor operação realizada pela instituição - com três barracas - é capaz de atender a demanda interna de um hospital de campanha, sendo o sistema climatização suprido pela fonte de energia que alimenta as demais edificações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como todas as operações do Exército contam com, no mínimo, três barracas, conclui-se que a área da cobertura disponível nelas tem potencial para suprir a demanda dos equipamentos hospitalares e não-hospitalares. No entanto, ao adicionar o sistema de climatização, a operação deve conter, no mínimo, nove barracas.

Contudo, ressalva-se que uma melhor estimativa das taxas de ocupação desses hospitais, a presença de sistemas de *back-up* ajustados às necessidades da estrutura e a melhoria na eficiência nos módulos fotovoltaicos podem reduzir a área necessária para a implantação do sistema fotovoltaico, tornando-o mais viável.

REFERÊNCIAS

ALI, Tausif et al. Lessons learned from the COVID-19 pandemic in planning the future energy systems of developing countries using an integrated MCDM approach in the off-grid areas of Bangladesh. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 189, p. 25-38, 4 mar. 2022.

DUARTE, Mariana de Oliveira Barbosa. **Hospitais de campanha - estrutura e emprego em campanha e em situações de emergência.** Orientador: Gilberto Monteiro Martins Júnior. 2019. 28 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização *lato sensu* em aplicações complementares às ciências militares) - Escola de Saúde do Exército, [S. l.], 2019.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **PORTARIA NORMATIVA No 186/MD**, DE 31 DE JANEIRO DE 2014. [S. l.], 3 fev. 2014.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. [S. l.: s. n.], 2004.

SANTOS, Lara Monalisa Alves dos. Hospital militar de campanha: móvel, modular e autônomo. **Revista Científica Semana Acadêmica**, [s. l.], 7 jun. 2017.

WEATHERHAVEN. **Hospital de Campanha**. 24 maio 2021. Datasheet.