

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS JUNTO AO COMANDO MILITAR DO OESTE

¹Santana Junior, A. B.; ¹adelmobenevides@gmail.com; ¹UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul;

²Vilas-Boas, Eduardo S.; ²boases1968@gmail.com; ²UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul;

³Leme, Sandro P. L., Dr.; ³sandro.leme@ufms.br; ³ UFMS - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul;

RESUMO: *Devido às recentes preocupações sobre a mudança climática global e ao aumento dos preços dos combustíveis fósseis, buscar fontes de energia confiáveis, favoráveis ao meio ambiente e renováveis para satisfazer a crescente demanda de energia elétrica tornou-se vital. O artigo visa o estudo da implantação e avaliação de sistema fotovoltaico isolado para aproveitamento da energia solar em pelotões de Fronteira do Exército. O pelotão analisado é o denominado Porto Índio, situado na cidade de Corumbá-MS. Atualmente a tecnologia que fornece energia elétrica a essas unidades militares são geradores a diesel. Com esta avaliação, quantificou-se a redução de custos de manutenção de equipamentos, redução da compra de combustíveis, diminuição da emissão de poluentes, além da avaliação dos impactos da implantação do sistema fotovoltaico na melhoria da qualidade de vida dos militares e população circunvizinha.*

PALAVRAS-CHAVE: *Energia solar fotovoltaica; Sistema Fotovoltaico Isolado; Pelotão Isolado Exército.*

ABSTRACT: *Because of recent concerns about global climate change and rising fossil fuel prices, to seek reliable, environmentally friendly and renewable energy sources to meet the growing demand for electricity has become vital. The article aims at the study of the implantation and evaluation of an isolated photovoltaic system for the use of solar energy in Army Frontier Platoons. The platoon analyzed called the Porto Índio, located in the city of Corumbá-MS. The current technology that provides electric power to these kind of military platoons are diesel generators. This evaluation quantified the cost reduction of maintenance in equipment, reduction of fuel purchases, reduction in emission of pollutants, as well as the impacts of the implantation of the photovoltaic system in the improvement of the quality of life of the military in the platoon and surrounding population*

KEYWORDS: *Photovoltaic Solar Energy, Off-grid Photovoltaic System, Isolated Army Platoon*

1. Introdução

O aumento da população e o desenvolvimento econômico implicam em maior consumo de energia e há a necessidade de utilização de alternativas para atender a demanda energética atual, (VASCONCELOS; GONZÁLEZ, 2017). Fontes renováveis são necessárias para mudança da matriz energética brasileira, Figura 1, e imprescindíveis para o desenvolvimento sustentável, que visa atender às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras (SINGHA *et al.*, 2012).

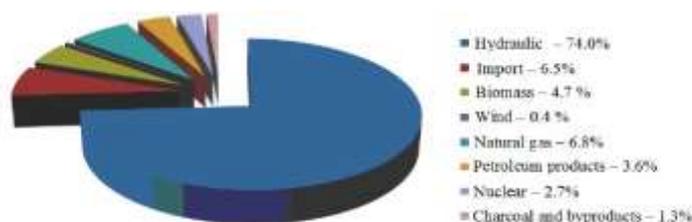


FIGURA 1 - Matriz energética de consumo doméstico Brasileira. Fonte: Xavier et al. (2015)

Para alcançar o objetivo do Acordo de Paris, pactuado durante a COP-21, que propõe medidas de redução de emissão de dióxido de carbono (CO₂) a partir de 2020, os combustíveis fósseis precisam ser eliminados e substituídos por fontes de energia de baixo teor de carbono. Isso requer a descarbonização quase completa do setor elétrico até 2050 e uma mudança acelerada para eletricidade como transportadora final de energia (CREUTZIG *et al.*, 2017).

De um modo geral, a tecnologia PV (fotovoltaica), gerando energia diretamente da energia solar, está livre do consumo de energia fóssil e emissão de gases de efeito estufa (GEE) durante sua operação. Os resultados mostram que, apesar de produzirem GEE durante as fases de produção, as tecnologias fotovoltaicas são sustentáveis e favoráveis ao meio ambiente, quando obtidas do silício. Com o surgimento da nova tecnologias, o desempenho ambiental das tecnologias fotovoltaicas deverá ser mais efetivo (PENG *et al.*, 2013; PINTO *et al.*, 2016).

O avanço tecnológico na produção de painéis fotovoltaicos, com a redução da energia de produção, e o aumento da capacidade de armazenamento de baterias (PENG *et al.*, 2013), permitem atualmente a utilização de sistemas isolados, que associam baterias, geradores fotovoltaicos, geradores eólicos e de combustíveis fósseis.

Mamaghani *et al.* (2016) analisaram um sistema híbrido para geração de energia elétrica com utilização de painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e geradores diesel em um sistema de geração de energia híbrida autônomo para eletrificação rural em três aldeias fora da rede na Colômbia com diferentes características climáticas. O resultado encontrado para a aldeia Puerto Estrella foi o sistema híbrido de gerador diesel, energia solar e eólica, com um investimento de capital inicial de \$ 521.078 e um VPL de \$ 836,210. Nas Aldeias de Unguia e Jerico, o sistema solar-diesel foi o mais efetivo, levando em consideração os requisitos de carga de essas comunidades e os recursos renováveis disponíveis em suas regiões correspondentes.

Ghasemi *et al.* (2013) analisaram a viabilidade técnica e econômica de implantação de sistemas de energia fotovoltaica híbridos autônomos para eletrificação de áreas rurais remotas na parte oriental do Irã. Os resultados indicam que o sistema de energia renovável híbrido autônomo, composto por um conjunto fotovoltaico de 15 kW, um gerador a diesel de 20 kW, um conjunto de 10 baterias e um inversor de 20 kW, pode fornecer um consumo de energia de

200 kWh/dia com uma demanda de pico de 18 kW. O Valor presentes Líquido deste sistema é de US \$ 286.315.

Lau et al. (2017) analisaram o potencial de exploração da energia solar em Dares Salaam, na Tanzânia, utilizando modelagem numérica de irradiância solar nos telhados e fachadas de edifícios. Verificou-se que há uma irradiância solar substancial recebida por telhados de edifícios em todos os quatro bairros de estudo e a morfologia urbana tem efeitos consideráveis sobre a irradiância solar anual.

Silva et al. (2010) propuseram uma configuração sustentável de um projeto piloto configurado em uma área de proteção ambiental, localizada no estado do Tocantins, onde a principal tecnologia que fornece energia elétrica a essas comunidades é gerador a diesel. Foram simulados vários cenários, comparando as configurações possíveis de baterias PV (baterias e painéis fotovoltaicos), PV-diesel e PV-diesel-baterias em condições operacionais reais na Amazônia Legal. O custo do transporte de combustível diesel para comunidades isoladas foi incluído na avaliação e as tendências de aumento do preço do combustível ao longo do tempo também foram consideradas. Os resultados desta avaliação mostraram em todos os casos, que o custo final da energia gerada exclusivamente por combustíveis fósseis foi maior do que os apresentados pelos sistemas avaliados.

Roy e Kabir (2012) analisaram a viabilidade econômica relativa do ciclo de vida de módulos solares autônomos, isolados da rede elétrica, em relação às fontes de energia portáteis movidas a combustíveis fósseis, em regiões remotas de Bangladesh. Os resultados mostraram que geradores de tamanho médio (3 - 5 kW), os módulos solares oferecem um custo menor por unidade para demandas mais baixas (de 0,4 até 8 kWh). Para cargas maiores que 5 kW, os geradores a gasolina-diesel são mais atrativos, devido ao grande gasto de energia dispendido com baterias.

Ghafoor e Munir (2013) realizam o estudo de viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico off-grid (isolado) para eletrificação em casas residenciais na cidade de Faisalabad, no Paquistão. Os resultados mostram que o custo unitário da eletricidade do sistema fotovoltaico fora da rede, é menor do que o custo unitário cobrado pela concessionária local, desta forma Sistema é viável para aplicações residenciais em Faisalabad, no Paquistão.

Este artigo visa identificar a viabilidade para implantação de um sistema fotovoltaico isolado para aproveitamento da energia solar, comparando-o com o modo de utilização atual

de geração de energia, no Pelotão de Fronteira do Comando Militar do Oeste, vinculado ao 17º Batalhão de Fronteira, em Corumbá-MS, denominado Pelotão de Fronteira Porto Índio, Fig. 2. Com esta avaliação, pretende-se quantificar a redução de custos de manutenção de equipamentos, redução da compra de combustíveis, diminuição da emissão de poluentes, além da melhoria da qualidade de vida e ganho de operacionalidade dos militares daquele Pelotão.

O pelotão é isolado da sede, situada na região da serra do Amolar, local de preservação ambiental do Mato Grosso do Sul, divisa entre Brasil e Bolívia, cerca de 170 km de aeronave, e atualmente a única fonte de geração de energia elétrica é através de geradores de combustíveis fósseis, utilizados para manutenção de câmaras frias e demais equipamentos. A implantação de um método sustentável, além de diminuir a emissão de poluentes, reduzirá o custo com manutenção dos equipamentos, compra e transporte de combustível, além de propiciar o aumento da qualidade de vida dos militares destacados nesses pelotões.



FIGURA 2 – Vista aérea do Pelotão de Porto Índio. Fonte: Autor.

Salienta-se que o acesso ao pelotão supramencionado é de custo elevado, devido à distância e aos meios de transporte disponíveis (por via fluvial ou aérea), o que ratifica a necessidade de métodos efetivos e sustentáveis, de modo a aumentar a disponibilidade energética no local.

Devido a disponibilidade energética solar mundial e em especial, a posição do Brasil, conforme ilustrado na Figura 3, estima-se que o país é um dos poucos países no mundo, que recebe uma insolação (número de horas de brilho do Sol) superior a 3000 horas por ano.



FIGURA 3 – Incidência média solar brasileira. Fonte: adaptado de Pinto et al. (2016)

A abordagem inicial consistirá no levantamento demanda energética do pelotão, identificando as edificações e principais consumidores. Para que haja dados confiáveis, inicialmente ocorrerá uma visita às instalações do Pelotão, de modo que seja observado o fluxo de utilização de equipamentos, iluminação e afins, permitindo a utilização de um fator de demanda adequado à operacionalidade do local. Serão consideradas possíveis mudanças nas instalações, de acordo com o plano diretor do quartel, de modo que a carga de demanda do projeto seja adequada ao possível aumento do consumo futuro, permitindo o aumento da capacidade operacional da Organização Militar.

De posse dos requisitos básicos, complementares e desejáveis, será escolhida a tecnologia adequada para implantação, de acordo com o ambiente e as limitações de usuários, manutenção, custos e eficiência energética. Após o levantamento de todos os dados e identificados os requisitos dos usuários, será realizado o levantamento do custo de implantação e viabilidade econômica e taxa de retorno para a instituição, Exército Brasileiro, demonstrando a efetividade e sustentabilidade do projeto.

2. Metodologia

2.1 Cálculo da demanda energética dos pelotões

Nos dias 23 e 24 de Maio de 2017 foi realizada a visita técnica para levantamento de cargas. No quartel existem 22 edificações, divididas em: comando do quartel, centro de operações, posto de abastecimento, casa de força/garagem, 06 residências com 03 quartos, 07 residências com 2 quartos, rancho, pelotão de obras, estação de tratamento de água – ETA, uma capela e uma escola.

A demanda energética do comando do quartel e do centro de operações é semelhante a casa de 03 quartos, deste modo, para dimensionamento, será considerado a mesma carga.

Para o cálculo da potência será considerado todos os pontos de iluminação com lâmpadas de LED, otimizando o consumo, o que reduzirá o custo de implantação final do sistema de geração de energia fotovoltaico isolado. A Tabela 1 mostra o cálculo da demanda energética da edificação de 03 quartos. De modo semelhante foi calculado as cargas das residências de 02 quartos.

TABELA 1 - Demanda energética estimada para casa de 03 quartos

Dependência	Equipamento	QTD	Potência Elétrica Média (W)	Horas de uso/dia	Consumo W/dia
Sala de Estar/Jantar	Televisor 21"	1	70	6	420
	Ventilador	1	100	6	600
	Conjunto de Som - Mini System	1	150	4	600
	Computador	1	300	6	1800
Cozinha	Geladeira	1	250	24	6000
	Fogão Elétrico	1	1200	0,04	48
	Forno de Micro Ondas	1	1300	0,33	429
Dormitório 1	Ventilador	1	100	8	800
Dormitório 2	Ventilador	1	100	8	800
Dormitório 3	Ventilador	1	100	8	800
Área de Serviço	Máquina de Lavar Roupa	1	1000	0,5	500
Iluminação	Lâmpadas	8	10	5	400
TOTAL (W/dia)					13.197

Para cálculo da demanda da instalação Rancho, foram admitidos novos equipamentos necessários para o funcionamento pleno, que inclui equipamentos para preparação de alimentos, bem como a implantação de uma câmara fria e uma câmara de congelamento, estas que não existem atualmente, porém são fundamentais para acondicionamento de gêneros, tendo em vista o intervalo de 2 meses para ressurgimento.

TABELA 2 - Demanda energética estimada para o rancho.

Dependência	Equipamento	QTD	Potência Elétrica Média (W)	Horas de uso/dia	Consumo W/dia
Refeitório /Cassino	Televisor 40"	1	85	5	425
	Bebedouro 50 l	1	125	24	3000
	Ventilador	2	100	4	800
Cozinha	Máquina de Gelo 6Kg	1	185	24	4440
	Geladeira	1	250	24	6000
	Fogão Industrial	1	6000	0,04	240
	Forno de Micro Ondas	1	1300	0,33	429

	Diversos (espremedor, liquidificador e etc)	1	400	0,5	200
	Câmara Fria	1	700	24	16800
	Câmara de congelamento	1	1500	24	36000
Iluminação	Lâmpadas	8	10	5	400
TOTAL (W/dia)					68.734

No Pelotão, por estar às margens do Rio Paraguai, utiliza a água deste, que é bombeada para um floclador, onde, após adição de sulfato de alumínio, há a decantação e posteriormente a água é bombeada para a caixa d'água. Neste processo estão envolvidos duas bombas e um motor de rotação das pás do floclador. O posto de combustível, em fase de implantação possui 2 bombas de 3 CV cada e um ponto de iluminação. Este posto atende aos motores de popa e a única viatura existente, que monitora por terra a extremidade chamada de Bela Vista do Norte, fronteira com a Bolívia.

A Capela do Pelotão, além de apoiar os 25 militares que lá se encontram, é utilizada pelos ribeirinhos, pelo fato de ser a única na região. A demanda energética da capela é apenas iluminação. A Tabela 3 condensa as demandas energéticas do pelotão de obras, ETA, Capela e casa de força.

TABELA 3 - Demanda estimada para eta, casa de força, pelotão de obras, capela e área externa.

Edificação	Equipamento	QTD	Potência Elétrica Média (W)	Horas de uso/dia	Consumo W/dia
ETA	Motor elétrico	1	370	2	740
	Moto Bomba	1	2220	1	2220
	Moto Bomba	1	740	1	740
POSTO	Moto Bomba	2	2220	0,5	2220
Casa de Força	Compressor	1	1500	0,5	750
	Furadeira bancada	1	370	0,5	185
	Carregador Bateria	1	1200	0,5	600
	Esmeril	1	250	0,5	125
Pelotão de Obras	Betoneira	1	1500	0,5	750
	Furadeira	1	400	0,5	200
	Serra Circular	1	1500	0,5	750
Área externa	Postes	18	50	11	9900
Iluminação	Lâmpadas	12	10	5	600
TOTAL (W/dia)					19.780

Na área do quartel existe a Escola Municipal Duque de Caxias, Figura 4, atualmente com 11 alunos, de gestão da prefeitura, porém utilizam recursos do Pelotão, pois este fornece água, energia elétrica, segurança, apoio de saúde e eventualmente apoio com merenda escolar.



FIGURA 4 – Escola Municipal Duque de Caxias. Fonte: autor

A escola possui 2 salas de aula, 2 banheiros, uma cozinha e um anexo com 4 cômodos, onde o audaz, persistente e abnegado professor mora com sua esposa e 2 filhas. Deste modo para o dimensionamento da demanda da escola será considerado as salas de aula e uma casa com 2 quartos, com os mesmos requisitos utilizados para as residências militares, a Tabela 4 detalha as cargas demandadas.

TABELA 4 - Demanda energética da Escola Municipal.

Dependência	Equipamento	QTD	Potência Elétrica Média (W)	Horas de uso/dia	Consumo W/dia
Sala de Aula até 5 ano	Computador	2	250	2	1000
	Conjunto de Som	1	150	1	150
	Televisor 40”	1	85	1	85
	Ar Condicionado	1	2200	4	8800
Sala de Aula do 5 ao 9 ano	Projeter	1	200	1	200
	Computador	1	250	2	500
	Conjunto de Som	1	150	1	150
	Ar Condicionado	1	3500	4	14000
Sala de Estar/Jantar	Televisor 40”	1	85	1	85
	Televisor 21”	1	70	6	420
	Ventilador	1	100	6	600
	Conjunto de Som - Mini System	1	150	4	600
Área Externa	Computador	1	300	6	1800
	Bebedouro 50 l	1	125	24	3000
Cozinha	Geladeira	1	250	24	6000
	Fogão Elétrico de 4 Bocas	1	1200	0,04	48
	Forno de Microondas	1	1300	0,33	429
Dormitório 1	Ventilador	1	100	8	800
Dormitório 2	Ventilador	1	100	8	800
Área de Serviço	Máquina de Lavar Roupa	1	1000	0,5	500
Iluminação	Lâmpadas	10	10	8	800
TOTAL					40.767

2.2 Levantamento dos custos para aquisição dos equipamentos e projetos

O sistema isolado é composto basicamente de 4 itens, que são: Placas/módulos solares, controladores de carga, baterias e inversores e o armazenamento energético é ilustrado na Figura 5. A durabilidade das baterias é estimada em 5 anos, dos painéis 20 anos e controlador e inversores estimado pelos fabricantes de 10 anos.

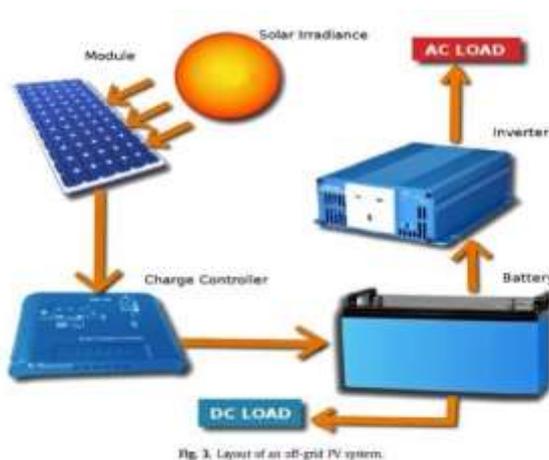


FIGURA 5 - Esquema sistema Off-grid. Fonte: Ghafoor e Munir (2013).

Para dimensionamento e levantamento dos custos, será levada em consideração a carga total e estrutura única. Não serão contabilizados cabos e redes, pois considerou-se que utilizarão os preexistentes na rede que tem origem na casa de força e deriva para as instalações prediais. A Tabela 5 demonstra a carga total de todo o pelotão.

TABELA 5 - Demanda energética do pelotão.

Ord	Instalação	QTD	Potência Elétrica Média (W/dia)	Potência TOTAL (W/dia)
1	Casa 3 quartos	8	13197	105576
2	Casa 2 quartos	7	12397	86779
3	Rancho	1	68734	68734
4	ESCOLA	1	40767	40767
5	ETA - Pel Obras – Capela – Casa Força - POSTO– A Ext	1	19780	19780
TOTAL (W/dia)				321.636

A carga semanal total encontrada é 321.636 W por dia, considerando 7 dias por semana e um fator de Ineficiência de 5%, obtêm-se a Carga Total Wh/Semana (AC), que é de 2.364.025 W.

O dia de autonomia é o dia considerado como backup, caso a placa não carregue e funciona também como fator de segurança, quando a bateria perde capacidade de armazenamento de carga. No dimensionamento considerou-se 2 dias de autonomia e máximo carregamento diário de 50 %. Com estes requisitos e considerando a bateria de 240 Ah, verificou-se a necessidade de 235 baterias.

O módulo analisado é o de 250 W, e para a carga total utilizada, utilizando tensão de 12 V e Hora de pico solar de 3,6 horas, necessita-se de 374 módulos. Considerando a amperagem do controlador de 40 A, necessita-se de 187 controladores. A Tabela 6 estima os valores para aquisição dos equipamentos.

Tabela 6 - Investimento para implantação do projeto.

Ord	Descrição	QTD	V. Unitário (R\$)	V. Total (R\$)
1	Painel Solar, distribuidor Nexsolar, fabricante Resun, modelo 250Wp, certificação "A" no Inmetro	374	699	261426
2	Inversor Solar Off Grid Hayonik 5000w 12vdc/127v	65	3200	208000
3	Suporte de fixação de painéis	374	350	130900
4	Controlador 40 A	187	1298	242726
5	Comissionamento e start-up	1	12000	12000
6	Par de Conectores MC4 convencional	187	39	7293
7	Par de Conectores MC4 para ligações em paralelo	187	69	12903
8	Interligação com a rede de energia existente	1	7500	7500
9	Painel de proteção e distribuição de energia fotovoltaica	1	9200	9200
10	Instalações elétricas das placas fotovoltaicas	1	45000	45000
11	Projeto Elétrico	1	12000	12000
12	Bateria estacionária 240 Ah	235	1200	282000
TOTAL				1.230.948

O Custo de Instalação (CI) do sistema proposto, considerando o mês de maio de 2018, está descrito na Eq. (1), que é a razão entre o Custo Total (CT) e a carga em kW/dia (Q).

$$CI = CT/Q = 3.827,15 \text{ R\$/kW/dia} \quad \text{Eq. (1)}$$

3. Avaliação dos custos atuais com energia elétrica e manutenção de geradores

O custo para manutenção da energia elétrica no pelotão, com a demanda levantada, é de um consumo de 24 litros por hora, o que equivale ao gasto anual de R\$ 704.000,00 por ano, considerando o litro do diesel a 3,35. Salienta-se que o diesel na localidade possui um valor bem mais elevado, por se tratar de uma área distante dos grandes centros, fato que onera o custo do produto em decorrência do frete elevado. Além dos custos de operação existem os custos de manutenção dos motores, fator não considerado no estudo de viabilidade.

Considerando a inflação de 6% anual, o reajuste do diesel a 8% anual e apenas a economia de diesel, a Tabela 7 mostra o fluxo de caixa do investimento. Considerou-se a troca das baterias a cada 5 anos e a troca dos inversores e controladores com 10 anos.

TABELA 7 - Fluxo de caixa projetado.

Anos	Investimento	Economia Diesel	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
	-1.230.948,00		-1.230.948,00	-1.230.948,00	-1.230.948,00
1,00		704.000,00	704.000,00	661.760,00	-569.188,00
2,00		760.320,00	760.320,00	671.818,75	102.630,75
3,00		821.145,60	821.145,60	682.030,40	784.661,15
4,00		886.837,25	886.837,25	692.397,26	1.477.058,41
5,00	-423.000,00	957.784,23	957.784,23	702.921,70	1.756.980,11
6,00		1.034.406,97	1.034.406,97	713.606,11	2.470.586,21
7,00		1.117.159,52	1.117.159,52	724.452,92	3.195.039,13
8,00		1.206.532,29	1.206.532,29	735.464,60	3.930.503,74
9,00		1.303.054,87	1.303.054,87	746.643,67	4.677.147,40
10,00	-901.452,00	1.407.299,26	1.407.299,26	757.992,65	4.533.688,05
11,00		1.519.883,20	1.519.883,20	769.514,14	5.303.202,19
12,00		1.641.473,85	1.641.473,85	781.210,75	6.084.412,95
13,00		1.772.791,76	1.772.791,76	793.085,16	6.877.498,10
14,00		1.914.615,10	1.914.615,10	805.140,05	7.682.638,15
15,00		2.067.784,31	2.067.784,31	817.378,18	8.500.016,33

De acordo com o fluxo de caixa demonstrado, o projeto de implantação é viável a partir do 3º ano, frente a utilização dos geradores diesel para produção de energia elétrica.

4. Conclusão

A implantação da energia solar fotovoltaica no Pelotão de Fronteira é viável economicamente a partir do terceiro ano de implantação. Outros pontos foram omitidos, porém só corroboram para a viabilidade, pois não foram incluídos valores para o frete para transporte de combustível, manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos utilizados atualmente.

Além da viabilidade econômica não há emissão de poluentes através da queima de combustíveis fósseis, pois a energia fotovoltaica não gera gases que contribuem para o efeito estufa. A implantação de um método sustentável, além de diminuir a emissão de poluentes, diminuirá o custo com a manutenção dos equipamentos, compra e transporte de combustível, além de propiciar o aumento da qualidade de vida e operacionalidade dos militares que se encontram destacados nesses pelotões.

5. Referências

VASCONCELOS P. G.; GONZÁLEZ M. O. A. **Photovoltaic solar energy: Conceptual framework.** Renewable Sustainable Energy Rev 2017;74:590-601

SINGHA R. K.; MURTYB H. R.; GUPTAC S. K.; DIKSHITC A. K. **An overview of sustainability assessment methodologies.** Ecological Indicators 2012;15:281–299.

XAVIER G. A.; FILHO D. O.; MARTINS J. H.; MONTEIRO P. M. B.; DINIZ A. S. A. C. **Simulation of Distributed Generation with Photovoltaic Microgrids — Case Study in Brazil.** Renewable and energies Energies 2015, 8, 4003-4023;

CREUTZIG F.; AGOSTON P.; GOLDSCHMIDT J. C.; LUDERER G.; NEMET G.; PIETZCKER R. C. **Nature Energy 2017, published: 25 august 2017 | volume: 2 | article number: 17140.**

PENG J.; LU L.; YANG H. **Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013;19:255-74

PINTO J. T. M.; AMARAL K. J.; JANISSEK P. R. **Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing.** Solar Energy:2016:133: 73–84

MAMAGHANI A. H.; ESCANDON S. A. A.; NAJAFI B.; SHIRAZI A.; RINALDI F. **Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia.** Renewable and Energy 2016;97:293-305.

GHASEMI A.; ASRARI A.; ZARIF M.; ABDULWAHED S. **Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic-diesel-battery systems for rural electrification in eastern part of Iran—a step toward sustainable rural development.** Renewable Sustainable Energy Rev 2013:456–62.

SILVA S. B.; OLIVEIRA M. A. G.; SEVERINO M. M. **Economic evaluation and optimization of a photovoltaic-fuel cell-batteries hybrid system for use in the Brazilian Amazon.** Energy Policy 2010:6713–23.

KASCHUB T.; JOCHEM P.; FICHTNER W. **Solar energy storage in German households: profitability, load changes and flexibility.** Energy Policy 2016:98:520-32 .

ROY A.; KABIR A. **Relative life cycle economic analysis of stand-alone solar PV and fossil fuel powered systems in Bangladesh with regard to load demand and market controlling factors.** Renewable Sustainable Energy Rev 2012:4629-37.

GHAFOOR A.; MUNIR A. **Design and economics analysis of na off-grid PV system for household electrification.** Renewable and Sustainable Energy Rev 2013;42:502-496.