



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

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

ADELMO BENEVIDES DE SANTANA JÚNIOR

CAMPO GRANDE

2019

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

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

ADELMO BENEVIDES DE SANTANA JÚNIOR

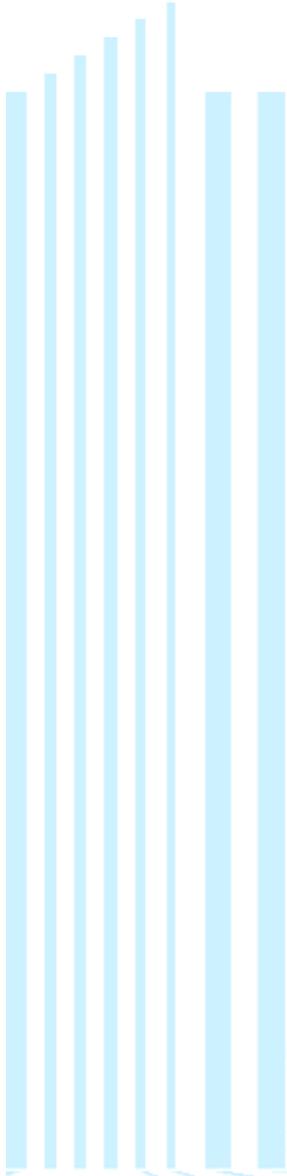
Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração de Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. SANDRO PETRY LAUREANO LEME

**CAMPO GRANDE
SETEMBRO / 2019**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **ADELMO BENEVIDES DE SANTANA JÚNIOR**, aprovada pela Comissão Julgadora em 04 de setembro de 2019, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Prof. Dr. Sandro Petry Laureano Leme – Orientador
FAENG/UFMS

Prof. Dra. Andréa Riccio Barbosa – Membro Titular
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Andrés Batista Cheung – Membro Titular
FAENG/UFMS



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus pelo amor incondicional, pelo cuidado, zelo e por me conceder esta oportunidade de aperfeiçoamento e agradecer também:

A minha esposa Luciana, pelo apoio, renúncia diária e incentivo para continuar me aperfeiçoando.

Aos meus filhos, que nasceram no contexto desta especialização e me inspiram diariamente. O Samuel me acompanhou nas aulas, devido as circunstâncias da ocasião e o Pedro nasceu após a qualificação.

Aos meus pais Adelmo e Lia, que com amor divino me ensinaram a importância do respeito ao próximo e da busca contínua do aperfeiçoamento.

As minhas irmãs Andreia e Juliana, que foram e são fundamentais na minha formação e a quem tenho profundo respeito e admiração.

Ao professor Sandro, meu orientador, pela empatia, simpatia, paciência e compreensão. Apesar do pouco tempo de convivência, me ensinou com muita humildade e objetividade “o que” e “como” deveria proceder durante o curso. Sem dúvida alguma, o maior benefício pessoal deste mestrado foi tê-lo conhecido e ser seu aluno. Muito obrigado professor!

Por fim, ao coronel de Material Bélico, Orlando Maia Barbosa, pelo apoio e confiança em mim depositados, permitindo que fizesse o protótipo no Batalhão de Manutenção e opinando oportunamente com o sistema implantado.

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, tornou-se vital para satisfazer a crescente demanda de energia elétrica. Esse trabalho visa o estudo da avaliação e implantação 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 é o gerador a diesel. Com essa avaliação, foi possível quantificar a redução de custos de manutenção de equipamentos, redução de compra de combustíveis e de diminuição da emissão de poluentes, além da viabilidade econômica para implantação, com retorno do investimento após o terceiro ano da implantação. Este primeiro estudo junto ao Exército Brasileiro, indicou um caminho de fornecimento de energia sustentável que poderá ser implantado em outros locais do exército com similares instalações.

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 work 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 is 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 it is intended to quantify the cost reduction of maintenance in equipment, reduction of fuel purchases and reduction in emission of pollutants. This first study along the Brazilian Army could indicate a way of delivering sustainable energy to various other locations of the army with similar facilities.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, Off-grid Photovoltaic System, Isolated Army Platoon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz elétrica brasileira	132
Figura 2 - Esquema sistema <i>off-grid</i>	14
Figura 3 – Vista aérea do Pelotão de Porto Índio.	15
Figura 4 – Evolução dos preços de combustíveis nos últimos 16 anos.	17
Figura 5 – Escola Municipal Duque de Caxias.	19
Figura 6 – Irradiação Média anual em kWh/m ² no mundo.	21
Figura 7 – Estrutura das bandas de energia: (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes.....	22
Figura 8 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica.	23
Figura 9 – Influência da irradiância solar na curva Corrente – Tensão de uma painel fotovoltaico.....	24
Figura 10 – Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva I-V. (Considerando uma irradiância de 1000W/m ²).	24
Figura 11 – Esquema de um SFI domiciliar: A – Painel fotovoltaico; B – Controlador de Carga; C – Baterias; D – Inversor de frequência; E – cargas; F – Caixa de conexão.	27
Figura 12 - Painel solar fotovoltaico adquirido, potência de 250 W e eficiência de 15,4%, fabricante <i>Resun Solar Energy</i>	30
Figura 13 – Vista Frontal da residência de 3 quartos.	32
Figura 14 – Floculador da Estação de Tratamento de Água – ETA.	34
Figura 15 – Irradiação solar nos painéis instalados no projeto piloto no 9º B Mnt.....	37
Figura 16 – Imagem retirada pelo <i>Google Maps</i> do 9º Batalhão de Manutenção, com indicação do local de instalação dos painéis.	37
Figura 17 – Desenho das instalações do quartel com os pontos de iluminação em azul.	38
Figura 18 – Instalação dos painéis fotovoltaicos do projeto piloto.	42
Figura 19 – Controladores de carga do projeto piloto.	45
Figura 20 – Especificações técnicas da bateria estacionária utilizada no projeto piloto.	45
Figura 21 – Banco de baterias adquiridas para o projeto piloto.	47
Figura 22 – Quadro com barramento e inversor do projeto piloto.	48
Figura 23 - Evolução anual da inflação nos últimos 20 anos.	49
Figura 24 – Grupo Gerador STEMAC 55 kVA do Pelotão	52
Figura 25 - Embarcação Logística Forte Coimbra.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação e aplicações das baterias chumbo-ácido.....	25
Tabela 2 - Consumo diário estimado de energia elétrica para casa de 03 quartos	33
Tabela 3 - Consumo diário estimado de energia elétrica para o Rancho.	33
Tabela 4 - Consumo diário estimado de energia elétrica para ETA, casa de força, pelotão de obras, capela e área externa.	34
Tabela 5 - Consumo diário estimado de energia elétrica da Escola Municipal.....	35
Tabela 6 – Consumo diário de energia elétrica do pelotão.	36
Tabela 7 - Irradiação solar média diária [kWh/m ² .dia].	36
Tabela 8 - Especificações Mecânicas do Painel	40
Tabela 9 - Especificações Técnicas do Painel.	41
Tabela 10 - Características técnicas do Controlador de Carga.....	44
Tabela 11 - Características técnicas do Inversor	47
Tabela 12 - Estimativa de custos do sistema piloto.	48
Tabela 13 - Fluxo de caixa do projeto piloto.....	49
Tabela 14 - Investimento para implantação do projeto.....	51
Tabela 15 - Consumo de óleo diesel atual no PEF de Porto Índio.	53
Tabela 16 – Custos de manutenção dos grupos geradores de 55 e 85 kVA.....	54
Tabela 17 - Fluxo de caixa projetado do projeto.	55
Tabela 18 - Fluxo de caixa projetado do projeto híbrido – redução de 70 % de Diesel.	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ac	<i>Alternate current</i>
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
CB _{c20}	Capacidade do banco de baterias em Wh para o regime de descarga em 20 h.
CI	Custo de Instalação do sistema
C _m	Consumo médio mensal;
COP-21	Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015
CPT	Condições padrão de teste
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
CT	Custo Total
DA	Dia de Autonomia
dc	Corrente contínua
D _m	Número médio de dias de uso do equipamento no mês
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETA	Estação de Tratamento de Água
GEE	Gases de Efeito Estufa
HSP	Horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaicos.
I _{Ah}	Capacidade em Ah de armazenagem do banco de baterias
I _c	Corrente máxima do controlador
I _{clt}	Corrente máxima do controlador pela corrente máxima fornecida pelo controlador
i _m	Corrente que deve ser gerada por dia para o sistema
I _{mp}	Corrente em potência máxima do módulo
I _{mph}	Corrente de demanda por hora de exposição
I _{sc}	Corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico
L	Quantidade de energia consumida diariamente em um mês
LCC	Custo do ciclo de vida
MS	Estado do Mato Grosso do Sul
MME	Ministério de Minas e Energia
N	Número de módulos em série
N _{batp}	Quantidade de baterias para o sistema
N _{cp}	Número de controladores em paralelo
N _d	Número médio de horas mensal do equipamento;
N _p	Número de módulo em paralelo
off-grid	Isolado da rede
P _d	Profundidade máxima de descarga da bateria
P _e	Potência nominal do equipamento
PEF	Pelotão Especial de Fronteira

P_m	Potência do painel fotovoltaico
pn	Junção de dois semicondutores do tipo P e do tipo N
PV	Fotovoltaico
PV SHS	Sistemas Domésticos Fotovoltaicos
Q	Carga Total
Red ₁	Fator de redução de potência dos módulos fotovoltaicos
Red ₂	Fator de redução de potência devido a outros componentes do sistema
SFI	Sistemas Fotovoltaicos Isolados
STC	Condições <i>Stander</i> de Medida
SunData	Programa SunData do CRESESB
V _{ac}	Diferença de potencial em corrente alternada
V _{ac} - RMS	Valor eficaz da tensão
V _b	Tensão da bateria
V _{dc}	Diferença de potencial em corrente contínua
V _{mtpmáx}	Tensão máxima do sistema operando na temperatura mais elevada para o módulo
V _{sist}	Tensão do sistema

LISTA DE SÍMBOLOS

- A - Unidade de medida de corrente Ampère
- Ah - Unidade de carga elétrica ampère-hora
- CO₂ - Gás Carbônico (dióxido de carbono)
- cv - Unidade de medida de potência cavalo vapor
- e.V - unidade de medida de energia Elétron-volt
- EJ - Unidade de energia exajoules
- GW - Unidade de medida de Potência instalada em gigawatt
- Hz - Unidade de medida de Frequência em Hertz
- in - Unidade de medida de comprimento polegada
- K - Unidade de medida de temperatura Kelvin
- kg - Unidade de medida de peso em quilogramas
- km - Unidade de medida de comprimento em quilometros
- kW - Unidade de medida de Potência instalada em quilowatt
- kWh - Unidade de medida de Energia em quilowatt x hora
- kWp - Unidade de medida de Potência instalada de sistemas fotovoltaicos em Quilowatt pico
- lbs - Unidade de medida de massa libra (453,6 g)
- m² - Unidade de medida de área em metros quadrados
- mA - Unidade de medida de Corrente em miliampère
- mm - Unidade de medida de comprimentos em milímetros
- mV - Unidade de medida de voltagem miliVolts
- MW - Unidade de medida de Potência em megawatts
- NO_x - Óxidos de Nitrogênio
- Pb - Elemento químico chumbo
- R\$ - Unidade de valor em Reais
- SO₂ - Dióxido de Enxofre
- t - Tonelada
- TW - Unidade de medida de Potência em terawatts
- V - Unidade de medida de voltagem volts
- W - Unidade de medida de Potência em watts

SUMÁRIO

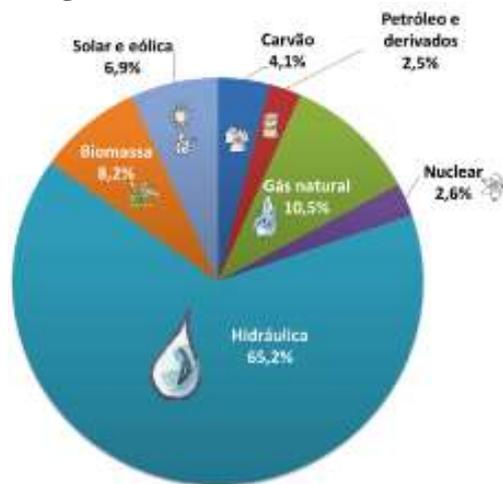
1 INTRODUÇÃO	132
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.1.1 Emissão de poluentes	15
1.1.2 Custo de Manutenção de Geradores Diesel	16
1.1.3 Custo do Combustível	17
1.1.4 Aumento da Operacionalidade do Pelotão.....	18
1.1.5 Contribuição Social	19
1.2 OBJETIVO	19
1.2.1 Objetivo geral.....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica	21
2.2 O Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico.....	23
2.2.1 Painel Fotovoltaico	23
2.2.2 Baterias	25
2.2.3 Controladores de carga	26
2.2.4 Inversores de Frequência	27
2.3 CO ₂ Equivalente.....	28
3 METODOLOGIA	29
3.1 Cálculo da demanda energética dos pelotões	29
3.2 Aquisição e monitoramento em escala equivalente em Campo Grande - MS.....	29
3.2.1 Definição da Localização e Configuração do Sistema	29
3.2.2 Levantamento de Consumo Diário de Energia.	30
3.2.3 Especificação dos equipamentos	30
3.2.4 Viabilidade econômica do projeto piloto	30
3.3 Custos de aquisição dos equipamentos do projeto	31
3.4 Avaliação dos custos consumo de diesel e manutenção de geradores	31
3.5 Definição de viabilidade e especificação do projeto	31
4 RESULTADOS	32
4.1 Cálculo da demanda energética dos pelotões	32
4.2 Aquisição e monitoramento em escala equivalente em Campo Grande - MS.....	36
4.2.1 Levantamento do recurso solar disponível no local	36
4.2.2 Definição da Localização e Configuração do Sistema	37
4.2.3 Levantamento do Consumo diário de Energia.	38
4.2.4 Dimensionamento do Gerador (Painel Fotovoltaico).	40

4.2.5 Dimensionamento do Controlador de Carga Convencional	42
4.2.6 Dimensionamento do Banco de Bateria.....	45
4.2.7 Dimensionamento do Inversor	47
4.2.8 Viabilidade econômica do projeto piloto	48
4.3 Custos de aquisição dos equipamentos do projeto	50
4.4 Avaliação dos custos consumo de diesel e manutenção dos grupos geradores	51
4.5 Definição de viabilidade e especificação do projeto	54
5 CONCLUSÃO	57
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

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). A Figura 1 apresenta a matriz elétrica Brasileira, a qual necessita do aumento percentual de fontes renováveis, que são imprescindíveis para o desenvolvimento sustentável e visa atender às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras (SINGHA et al., 2012).

Figura 1 - Matriz elétrica brasileira



Fonte: Modificado de EPE, 2018

A queima de combustíveis fósseis tradicionais tem causado uma série de problemas ambientais como: mudanças climáticas, aquecimento global, poluição do ar e chuva ácida. Por conseguinte, existe uma necessidade de desenvolver tecnologias de energia renovável, especialmente fotovoltaicas (PV), para lidar com os desafios da escassez de energia e da poluição ambiental (NISHIMURA et al., 2010).

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 baixo de teor de carbono. Isso requer a descarbonização quase completa do setor elétrico até 2050 (CREUTZIG et al., 2017).

De um modo geral, a tecnologia PV, 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 geradores PV, apesar de aparentemente não contribuírem com a emissão de GEE

e não gerarem danos ambientais na utilização, durante o seu ciclo de vida, também consomem uma grande quantidade de energia e produzem GEE. A contribuição para este efeito ocorre durante as fases de fabricação das células solares, montagem de módulos fotovoltaicos, produção de componentes do sistema, transporte de material, instalação de sistemas fotovoltaicos e eliminação ou reciclagem (SHERWANI et al., 2010; ITO et al., 2010).

Os resultados mostram que para o atual estado da arte desta tecnologia, 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 de nova tecnologia, o desempenho ambiental das tecnologias fotovoltaicas deverá ser mais efetivo (ITO et al., 2010; PENG et al., 2013; PINTO et al., 2016).

Em comparação com as usinas de energia tradicionais, baseadas em combustível fóssil, os sistemas de energia fotovoltaica possuem um grande potencial para mitigar as emissões de GEE. Por exemplo, o sistema fotovoltaico poderia eliminar até 1000 t de CO₂, 10 t de SO₂, 4 t de NO_x e 0,7 t de particulado, gerado por GWh de eletricidade (FTHENAKIS e MOSKOWITZ, 2000).

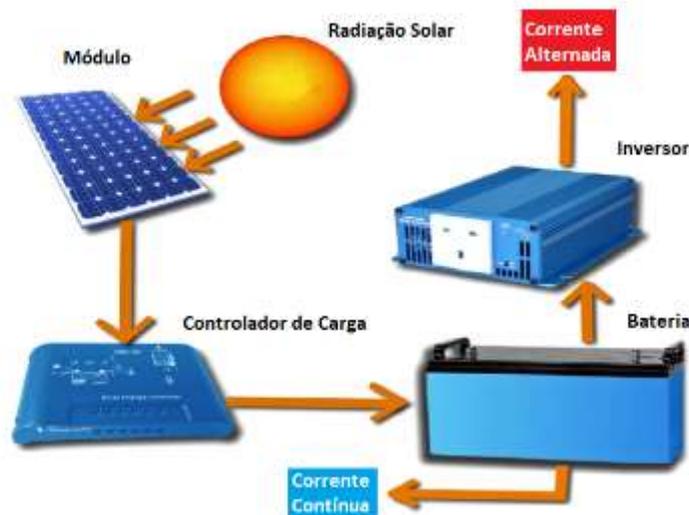
A implantação da PV tem consistentemente superado as expectativas, a energia solar direta tem um potencial técnico de 1.500-50.000 EJ por ano, excedendo a energia primária global projetada com demanda de cerca de 1.000 EJ por ano em 2050. A PV tornou-se a tecnologia dominante para aproveitar o potencial solar para geração de energia elétrica. Em 2015, a China, o Japão e os Estados Unidos aumentaram significativamente a capacidade fotovoltaica, além dos países europeus como Alemanha, Grécia e Itália (CREUTZIG et al., 2017).

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. Foram determinados parâmetros de consumo para levantamento de carga para dimensionamento. De posse da carga, 1928 Wp, foram dimensionados o controlador, área de painéis, inversor e área de módulos PV e avaliação do Custo do Ciclo de Vida (LCC) do sistema. 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, o sistema mostrou-se viável para aplicações residenciais em Faisalabad, no Paquistão.

Este trabalho de mestrado visa identificar a viabilidade para implantação de um sistema fotovoltaico isolado, ilustrado na Figura 2, 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 – PEF Porto Índio, Figura 3. Com esta avaliação, pretende-se quantificar a redução de custos de manutenção de equipamentos, de compra de combustíveis, de diminuição da emissão de poluentes.

Figura 2- Esquema sistema *off-grid*.



Fonte: Modificado de Ghafoor e Munir (2013)

1.1 JUSTIFICATIVA

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

Roy e Kabir (2012) analisaram a viabilidade econômica relativa ao ciclo de vida de módulos solares autônomos, similares aos que serão avaliados, 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 kWp), os módulos solares oferecem um custo menor por unidade para demandas mais baixas (de 0,4 até 8 kWh). Para cargas maiores que 5 kWp, os geradores a gasolina-diesel são mais atrativos, devido ao grande gasto de energia dispendido com baterias.

O Pelotão de Fronteira do Comando Militar do Oeste, vinculado ao 17º Batalhão de Fronteira, em Corumbá-MS, denominado Pelotão de Fronteira Porto Índio é isolado da sede e fica a uma distância 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. Desta forma, a implantação de um método sustentável, além de diminuir a emissão de poluentes, diminuirá o custo com a manutenção dos equipamentos, a compra e transporte de combustível, além de propiciar o aumento da qualidade de vida dos militares, que se encontram destacados nesses pelotões.

Figura 3 – 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.

1.1.1 Emissão de poluentes

Atualmente a tecnologia utilizada para produção de energia elétrica são grupos geradores de combustíveis fósseis, os quais produzem poluentes e vão de encontro com o objetivo estabelecido na 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática – COP – 21, realizada em dezembro de 2015, em Paris na França, conforme citado por Creutzig et al. (2017). Esta convenção aprovou o primeiro acordo entre os países pactuantes, de extensão global, para frear as emissões de gases do efeito estufa e para lidar com os impactos da mudança climática. O acordo determina que seus 195 países

signatários ajam para que a temperatura média do planeta sofra uma elevação "muito abaixo de 2°C", mas "reunindo esforços para limitar o aumento de temperatura a 1,5°C". O texto afirmava que países desenvolvidos "devem" assumir metas definidas de corte de emissões (UNFCCC, 2015).

A implantação de geradores fotovoltaicos além de fornecer energia elétrica ao Pelotão contribuirá com a redução de poluentes e mitigará o GEE. Kamalapur e Udaykumar (2011) estima que cada kW h de energia solar gerada impede a liberação de cerca de 0,7 kg de dióxido de carbono. A capacidade cumulativa de PV do mundo superou a impressionante marca de energia elétrica instalada de 100 GW. Essa capacidade é capaz de produzir energia elétrica anual de 16 usinas de carvão ou reatores nucleares de 1 GW. Todos os anos, essas instalações fotovoltaicas deixam de emitir mais de 53 milhões de toneladas de CO₂ (CAMPISI et al., 2015).

1.1.2 Custo de Manutenção de Geradores Diesel

Os custos para manutenção do gerador, como troca de óleo, filtros, manutenção no sistema de alimentação, manutenção no sistema de arrefecimento e manutenções corretivas são elevados no sistema atual de geradores diesel. Além do custo de manutenção, por estar em uma localização isolada, quando é necessária uma intervenção específica, o custo de deslocamento de uma equipe de manutenção até o local onera substancialmente os custos com o sistema.

Outro fator que potencializa os riscos de manutenção corretiva é a inexistência de mão de obra especializada para operação do sistema de geradores. Como o pelotão isolado é situado entre as fronteiras da Bolívia, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a cada 2 meses cerca de 25 militares se revezam para permanência do pelotão, desta forma, a cada período um novo operador é escalado para operação do sistema de geradores, o que dificulta a especialização dos militares e favorece a pane por mau uso ou falta de manutenção.

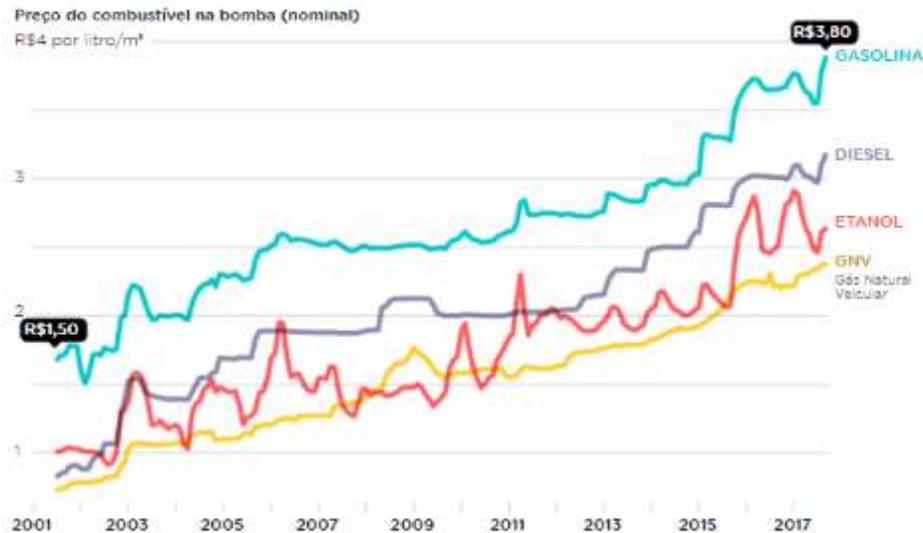
A implantação de um sistema fotovoltaico, por se tratar de um sistema que possui quase inexistência de manutenção operacional se adequa perfeitamente a falta de mão de obra especializada, mitigando os efeitos do mau uso e custos de manutenção. O governo indiano possui diversos projetos similares em andamento, Kamalapur e Udaykumar (2011) avaliaram as características da eletrificação rural na Índia e a viabilidade dos Sistemas Domésticos Fotovoltaicos (PV SHS) e elencaram as principais vantagens da implantação da energia solar fotovoltaica para áreas isoladas, que são: não emitem gases e líquidos poluentes, exceto na fabricação, podem ser facilmente transportados, montados e instalados em áreas remotas, produzem eletricidade em corrente contínua que pode ser armazenada em baterias, não

consomem combustível, não geram ruído, é um sistema robusto, confiável, resistente a intempéries, com vida útil estimada em 20 anos e custo de manutenção baixo.

1.1.3 Custo do Combustível

A viabilidade econômica para implantação é fator relevante, pois os preços dos combustíveis fósseis estão aumentando sobremaneira, conforme ilustra a Figura 4. No período de 16 anos, o preço do diesel triplicou e o seu preço afeta diretamente no custo de geração de energia elétrica em Porto Índio.

Figura 4 – Evolução dos preços de combustíveis nos últimos 16 anos.



Fonte: ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), 2017.

Além do custo de aquisição, o custo de transporte do combustível é elevado, pois para chegar até o local, na região da serra do Amolar, são necessárias 24 horas de deslocamento de barco através do Rio Paraguai.

Semelhante ao sistema do projeto, Silva et al. (2010) utilizaram o *software* HOMER para simular a configuração de um projeto piloto sustentável, configurado em uma área de proteção ambiental, localizada no estado do Tocantins. Atualmente, a principal tecnologia que fornece energia elétrica a essas comunidades é um grupo gerador a diesel. Foram simulados vários cenários, comparando as configurações possíveis de PV com baterias, 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. 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. O sistema híbrido de baterias e painéis solares provou ser tecnicamente viável para a Amazônia, no entanto, o referido autor foi enfático quanto à necessidade de propostas políticas para promover o uso de fontes de energia renováveis em áreas isoladas no Brasil.

1.1.4 Aumento da Operacionalidade do Pelotão

A instalação de um sistema elétrico fotovoltaico, por se tratar de geradores confiáveis e robustos propicia uma logística favorável para os militares do pelotão, pois é capaz de prever e prover o apoio com energia aos materiais e aos serviços necessários para assegurar ao pelotão a liberdade de ação, amplitude do alcance operativo e capacidade de durar na ação (EB20-MC-10.204 LOGÍSTICA, 2014).

A missão primordial do Exército Brasileiro é a garantia da soberania nacional, e apesar de estar distante dos principais focos de tensão, a América do Sul mantém um ambiente de cooperação, apesar de persistir um crônico subdesenvolvimento, com áreas de graves instabilidades, demandas sociais não atendidas e prática comum de ilícitos transnacionais que podem resultar em conflitos em uma região de abundantes recursos naturais, ainda não explorados, motivo de velada cobiça por outros atores globais (EB20-MF-10.102 DOCTRINA MILITAR TERRESTRE, 2014).

Desta forma a implantação de geradores elétricos modernos, com baixo custo de manutenção e com capacidade de falha remota contribui sobremaneira para a soberania nacional, pois resguardará a região do Amolar, área de preservação ambiental, pouco explorada. Destaca-se, que por ser uma área alagada e de difícil acesso, a região favorece ao contrabando de materiais diversos por via fluvial, com entrada e saída de ilícitos entre Brasil e Bolívia.

Logo, a implantação de geradores fotovoltaicos aumentará a disponibilidade energética e contribuirá para o bom funcionamento do Pelotão de Porto Índio e para se alcançar os Objetivos Nacionais de Defesa que são: garantir a soberania, o patrimônio nacional e a integridade territorial; defender os interesses nacionais; contribuir para a estabilidade regional; manter a Força Terrestre moderna, integrada, adestrada e balanceada, e com crescente profissionalização, em condições de operar de forma conjunta e adequadamente desdobrada no território nacional.

1.1.5 Contribuição Social

No PEF – Porto Índio existe a Escola Municipal Duque de Caxias, Figura 5, atualmente com 11 alunos, de gestão da prefeitura, porém de total dependência dos militares do Pelotão, pois fornecem água, energia elétrica, segurança, apoio de saúde e eventualmente apoio com merenda escolar. Os alunos são filhos de ribeirinhos e índios locais, os quais o Exército apoia constantemente com apoio de saúde, mantimentos e eventualmente media conflitos entre diferentes etnias.

Figura 5 – Escola Municipal Duque de Caxias.



Fonte: autor

A implantação da energia solar fotovoltaica aumentará a disponibilidade energética na escola, propiciando a utilização de meios auxiliares para a aula, internet e ventiladores em caráter permanente.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Esse trabalho visa realizar um estudo para a implantação de Sistema Fotovoltaico Isolado para aproveitamento da energia solar no pelotão de Fronteira do Exército, denominado Porto Índio.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Conceber o projeto de especificação dos equipamentos, com a finalidade de subsidiar uma futura licitação;
2. Identificar a viabilidade econômica para implantação de um sistema fotovoltaico isolado, comparando-o com o modo de utilização atual de geração de energia, no pelotão de Porto Índio;
3. Quantificar a redução de custos de manutenção de equipamentos, redução da compra de combustíveis e diminuição da emissão de poluentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

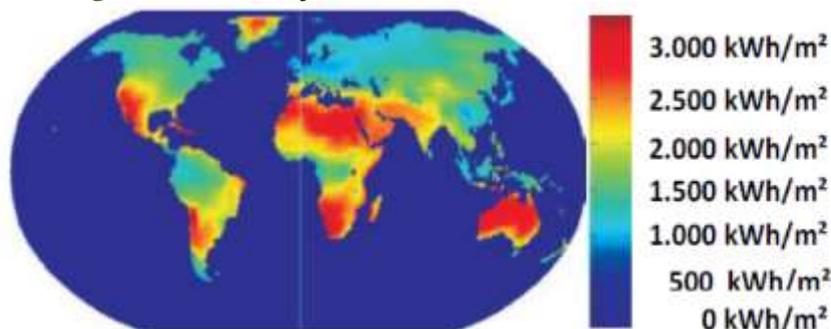
A radiação solar que chega a terra proveniente do sol, quando medida em um plano particular no topo da atmosfera corresponde ao valor de 1367 W/m^2 . A terra possui um raio médio de 6.371 km , se for considerada a área projetada da terra e a radiação solar disponibilizada pelo sol no topo da atmosfera a energia total disponibilizada é de aproximadamente 174 mil TW . De toda radiação solar proveniente do sol que chega a terra,

somente cerca de 46% realmente chega a superfície da terra, o restante ou é refletida ou absorvida pela atmosfera, desta forma, cerca de 94 mil TW, chegam a superfície da terra (PINHO E GALDINO, 2014).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2015), até o fim de 2014 o Brasil possuía 15 MW de capacidade instalada de geração de energia elétrica por meio da fonte solar, enquanto países como China e Estados Unidos tinham, em 2014, uma capacidade de geração de cerca de 39 TW (MME, 2015). A produção de energia no Brasil em 2017 foi de 832 GWh, das quais 650 GWh foram de centrais elétricas de serviço público e 182 GWh de centrais elétricas autoprodutoras (EPE, 2017).

O Brasil é um país com enorme capacidade de geração, por ser um país continental, também possui uma grande variação da radiação que atinge o solo, em média essa variação vai de 1.200 a 2.400 kWh/m²/ano, bem acima da Europa, que possui uma média entre 500 e 1.000 kWh/m²/ano (MME, 2015).

Figura 6 – Irradiação Média anual em kWh/m² no mundo.



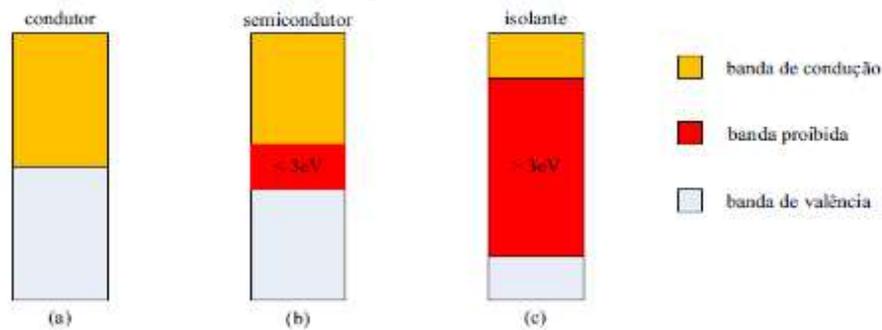
Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2015.

2.1 Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é gerada através da conversão de luz em energia elétrica. O efeito fotovoltaico como é chamada essa conversão foi descoberta por Edmond Becquerel em 1849, observando a diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz. Em 1876 foram desenvolvidos os primeiros aparatos fotovoltaicos e apenas em 1956 começou-se a produzir em escala. Os painéis fotovoltaicos são constituídos de materiais semicondutores que se caracterizam por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução “vazia” (sem elétrons), na temperatura de 0 K (PINHO; GALDINO, 2014).

A separação entre as duas bandas de energia permitida dos materiais semicondutores é chamada de banda proibida (*bandgap*), pode atingir até 3 e.V, diferenciando estas matérias dos isolantes, que apresentam valor superior. A estrutura de separação das bandas dos condutores, semicondutores e isolantes é apresentada conforme Figura 7.

Figura 7 – Estrutura das bandas de energia: (a) condutores, (b) semicondutores e (c) isolantes.



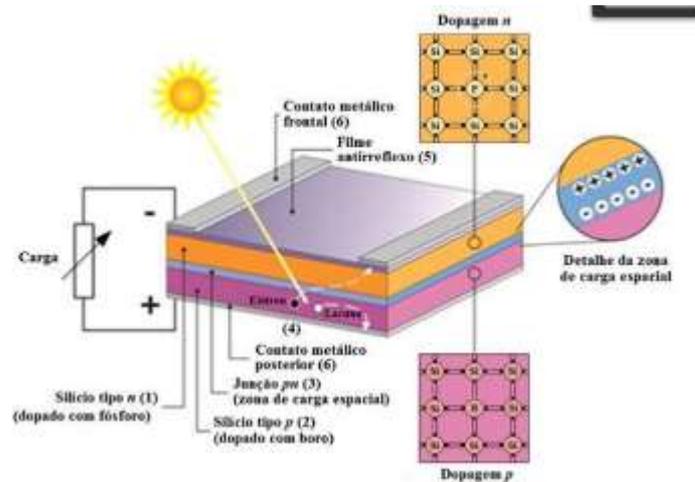
Fonte: PINHO; GALDINO (2014, p. 105).

Esta separação entre as bandas permite que os elétrons com uma pequena excitação térmica se desloquem da banda de valência para a banda de condução, deixando lacunas no material e criando assim uma pequena diferença de potencial.

Os elétrons preenchem os níveis de energia vagos a partir da banda de condução e as lacunas preenchem a banda de valência. Desta forma, há possibilidade dos fótons incidentes no material com energia superior à da banda de separação (3 e.V), formarem pares elétron-lacuna, gerando assim o efeito fotocondutivo.

Para gerar o efeito fotovoltaico é necessário que o material seja dopado, ou seja, é necessária a adição de materiais impuros (fósforo ou boro) que são responsáveis por formar as junções *pn*, e é a separação destes portadores de carga *pn*, que dão origem ao efeito fotovoltaico, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Estrutura básica de uma célula fotovoltaica.



Fonte: PINHO; GALDINO (2014, p. 112).

2.2 O Sistema de Geração de Energia Fotovoltaico

O sistema de geração de energia off-grid é composto por diversos equipamentos como os painéis solares, que são os transformadores da energia solar em energia elétrica, as baterias que são os acumuladores de carga, os controladores de carga e o inversor de frequência, que transforma a tensão de 12V das baterias em 127/220V, que é a tensão utilizada na rede.

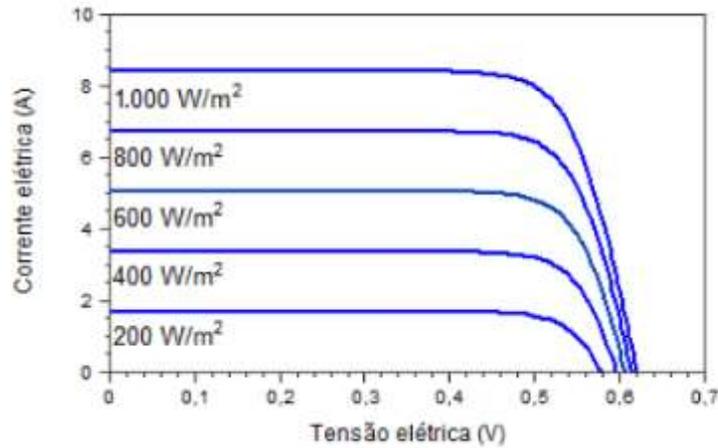
2.2.1 Painel Fotovoltaico

O painel fotovoltaico é um arranjo de células fotovoltaicas, que são conectados em série ou paralelo para produzir tensão e corrente suficientes para ser utilizado como gerador de energia elétrica.

Existem diversos tipos de painéis fotovoltaicos, tais como, células orgânicas e de corantes, de filme fino, para concentração e multijunção e células de silício cristalino, que atualmente são as mais utilizadas no mercado.

A irradiação solar influencia diretamente no rendimento dos painéis fotovoltaicos, que dependem diretamente da quantidade de irradiância solar que incide na superfície sobre um dado plano, a qual influência diretamente na curva I-V (corrente x tensão) do sistema, afetando assim o seu rendimento, a Figura 9 ilustra a influência da irradiância solar na curva I-V do sistema.

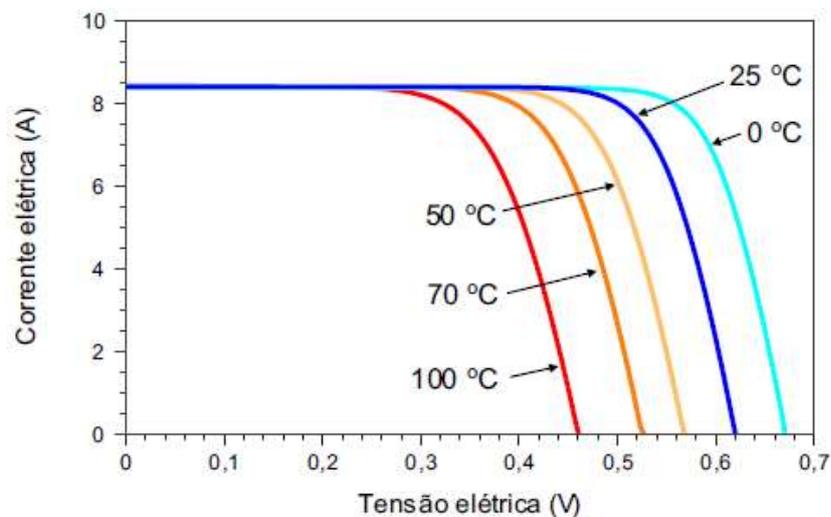
Figura 9 – Influência da irradiância solar na curva Corrente – Tensão de uma painel fotovoltaico.



Fonte: PINHO; GALDINO (2014, p. 126).

A temperatura de irradiância é outro fator que afeta diretamente o rendimento dos painéis solares, que também afeta a curva $I-V$ dos painéis, pois um aumento da temperatura causa uma diminuição da tensão e um aumento muito pequeno na corrente, diminuindo assim sua eficiência. A Figura 10 mostra a influência da temperatura na curva $I-V$ dos painéis

Figura 10 – Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva $I-V$. (Considerando uma irradiância de 1000W/m²).



Fonte: PINHO; GALDINO (2014, p. 127).

2.2.2 Baterias

As baterias são componentes essenciais para sistemas de geração de energia isolados, pois é necessário acumular a energia gerada pelos painéis durante o dia, já que no período noturno não há geração de energia devido à falta de irradiação solar. As baterias são um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série ou paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química. As baterias podem ser classificadas quanto ao tipo de célula em: recarregáveis e não recarregáveis (PINHO; GALDINO, 2014).

As baterias com células secundárias, que são recarregáveis, são chamadas de acumuladores ou baterias de armazenamento e permite a reversão das reações químicas. Segundo Carneiro et al. (2017), existem 4 tipos de classificações básicas de baterias, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação e aplicações das baterias chumbo-ácido

Classificação	Aplicação	Custo Relativo
Baterias de arranque	São também chamadas de SLI (do inglês: <i>Starting Lighting and Ignition</i>) ou automotivas. São as responsáveis pelo fornecimento de energia para a combustão interna do motor e para fornecer energia ao sistema elétrico do veículo quando este não está em funcionamento.	C
Baterias tracionárias	A bateria tracionária ou de tração trabalha sob condições mais severas, onde necessita-se de mais potência, energia e um ciclo de vida longo. Funcionam em ciclos de descarga muito profundas e recargas em curto espaço de tempo. Em relação à descarga, é muito maior do que as baterias de arranque, pois precisam obter mais energia. Nesta bateria, a descarga completa pode ocasionar uma variação de até 50% na grade, agravando o problema de desprendimento do material ativo.	2,7xC
Baterias estacionárias	As baterias estacionárias são usadas como fonte de energia reserva, na maior parte do tempo elas trabalham carregadas e quando a energia é cortada elas substituem a energia e mantém o componente na qual estão conectadas funcionando. Essa aplicação é observada em <i>no breaks</i> , iluminações de emergência, alarmes, centrais telefônicas, hospitais, subestações de energia e telecomunicações, redes GSM e wireless, entre outras.	1,42xC
Baterias VRLA	A bateria considerada de última geração é a bateria VRLA, bateria regulada por válvula. Este modelo possui as mesmas características da bateria de arranque, onde as reações são baseadas na teoria do duplo sulfato, porém o eletrólito não é líquido, é imobilizado na forma de gel ou absorvido por um separador de microfibras de vidro.	3,49xC

Fonte: CARNEIRO et al. 2017.

A durabilidade de um sistema de baterias é quantificada através da quantidade de ciclos completos de carga e descarga que podem ser realizados até que percam sua capacidade e sejam inutilizáveis para sua aplicação. A relação da capacidade nominal de uma bateria e sua

capacidade após determinados ciclos de utilização é seu estado de saúde (SoH). Para baterias automobilísticas, o final da vida útil é alcançado quando o SoH cai para valores entre 70 e 80%, finalizando este ciclo e iniciando sua segunda vida como baterias estacionárias (SAEZ-DE-IBARRA et al., 2016).

Para um sistema fotovoltaico as baterias utilizadas são as recarregáveis, que podem ser divididas em baterias com alta profundidade de descarga e baixa profundidade de descarga. A profundidade de descarga é a quantidade de carga que é retirada da bateria em um ciclo de funcionamento, baterias com alta profundidade de descarga são as que podem demandar por longos períodos de corrente elétrica moderada, desta forma é mais utilizada em sistemas off-grid em locais que por vezes perde por algum tempo a capacidade de geração de energia. As baterias fotovoltaicas devem suportar ciclos diários de baixa profundidade, com cargas de descarga reduzida, cerca de 20%, e descargas profundas esporádicas, ocasionadas por dias nublados. (PINHO; GALDINO, 2014).

A bateria para aplicações FV deve apresentar como principais características: capacidade de ciclagem, alta eficiência energética, longa vida útil, pouca manutenção e baixo custo. Combinando as características das baterias descritas nos itens anteriores com as condições impostas pelos sistemas FV, facilmente se chega à conclusão que as baterias convencionais não se adaptam satisfatoriamente. Com um correto dimensionamento e estratégia de controle do sistema é possível conseguir alcançar melhores condições de funcionamento, mas ainda se conta com um fator não previsível que é o usuário do sistema, que pode alterar completamente a condição de uso da bateria. Alguns sistemas, que têm uma expectativa de vida de até 8 anos para uma profundidade de descarga de até 50%, apresentaram bons resultados. No entanto são mais caras e exigem frequente manutenção para repor água aumentando ainda mais os custos. (COPETTI; MACAGNAN, 2007)

No município de Arbeláez, no estado de Cundinamarca, Colômbia, com uma incidência solar semelhante à do Mato Grosso do Sul, devido as interrupções de energia elétrica, foi instalado um sistema PV isolado híbrido, o banco de baterias possui um ciclo de descarga 50%, mostrando-se efetivo com este ciclo. (ROJAS et al. 2017).

2.2.3 Controladores de carga

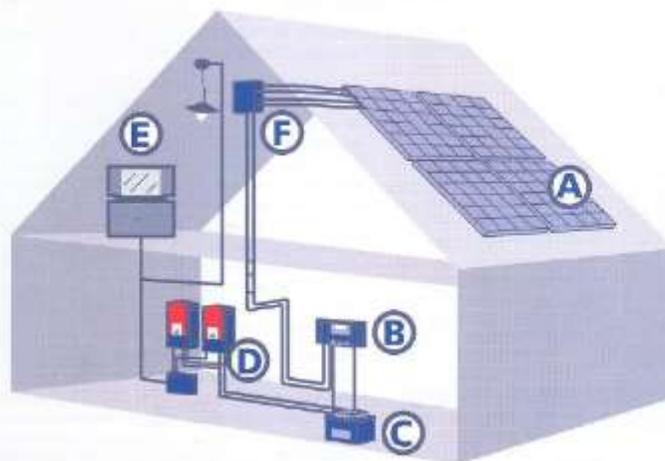
Os controladores de carga são responsáveis por controlar a tensão que chega até a bateria, evitando que as estas venham sofrer com sobrecarga ou descargas excessivas.

São equipamentos amplamente utilizados nos Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFI), projetados para modelos específicos de baterias, pois caso o dimensionamento não seja adequado, seu rendimento não será otimizado, por causa dos valores de profundidade de descarga diferente entre os vários tipos de bateria. Na Figura 11 pode-se verificar um esquema de montagem de um SFI com o controlador de bateria.

O controlador de carga tem a função de interromper o fornecimento de energia para as baterias quando elas atingirem um nível mínimo de segurança e desconectar o gerador da bateria quando ela atingir a carga plena.

Os controladores de carga se dividem basicamente em três aspectos, quanto a grandeza do sistema, quanto a forma de conexão dos painéis fotovoltaicos e quanto a estratégia de controle utilizada (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 11 – Esquema de um SFI domiciliar: A – Painel fotovoltaico; B – Controlador de Carga; C – Baterias; D – Inversor de frequência; E – cargas; F – Caixa de conexão.



Fonte: PINHO E GALDINO (2014, p.204).

2.2.4 Inversores de Frequência

Os inversores de frequência são equipamentos eletrônicos com a função de transformar uma corrente contínua em corrente alternada. Eles são projetados conforme a utilização, no caso dos inversores para sistemas fotovoltaicos eles se dividem em duas categorias, inversores para sistemas conectados à rede e para sistemas isolados da rede. Para os sistemas conectados à rede, eles sincronizam a tensão de saída do sistema à tensão da rede de energia, além de ter a amplitude, frequência e sinal harmônico adequados as cargas. Da mesma forma com os sistemas isolados, mas sem necessidade de sincronização da tensão (PINHO E GALDINO, 2014).

2.3 CO₂ Equivalente

CO_{2e} (dióxido de carbono equivalente de CO₂) é uma forma de comparar os gases de emissão do efeito estufa, com relação ao potencial de aquecimento global cada um. O dióxido de carbono equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de gases de efeito estufa pelo seu potencial de aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do gás carbônico (CO₂). Então, dizemos que o CO₂ equivalente do metano é igual a 21. (IPAN, 2015)

Meier e Kulcinski (2012) realizaram uma avaliação da emissão de gases de efeito estufa de um sistema fotovoltaico de um edifício que utiliza módulos fotovoltaicos de filme fino com silício amorfo e eficiência de conversão de 6%. Os resultados mostraram que o sistema fotovoltaico só emitiria 39 t de CO₂ equivalente (CO_{2eq.}) para gerar cada GWh de eletricidade sob incidência solar de 1934 kWh/m²/ano, o que era muito inferior aos geradores de combustíveis fósseis convencionais.

Embora o GEE mais conhecido seja dióxido de carbono (CO₂), muitos outros, como SO₂, NO_x, CH₄ e etc., também contribuem sobremaneira para o efeito estufa. O dano ao meio ambiente de um gás específico geralmente é definido como seu potencial de aquecimento global (GWP) em relação ao CO₂. Portanto, ele pode ser expresso como uma quantidade equivalente de CO₂, que é o CO_{2eq} (SUMPER et al., 2011) e (FTHENAKIS e KIM, 20005). Para facilitar a comparação e avaliação dos impactos ambientais de diferentes tecnologias de geração de energia, um indicador útil da taxa de emissão de gases de efeito estufa pode ser introduzido para medir a sustentabilidade e o "verde" de diferentes sistemas de geração de energia.

3 METODOLOGIA

O projeto tem como local de pesquisa o PEF – Porto Índio, na cidade de Corumbá. Como a incidência solar e condições climáticas são similares as de Campo Grande, a utilização de equipamentos e a utilização de protótipos foram testados no Quartel 9º Batalhão de Manutenção, em Campo Grande - MS. Inicialmente foi calculada a demanda energética dos pelotões, realizado o estudo bibliográfico dos equipamentos, foi verificada a necessidade de aquisição de equipamentos, a implantação de um sistema em escala, monitoramento e por fim a definição de viabilidade do projeto.

3.1 Cálculo da demanda energética dos pelotões

A abordagem inicial consiste no levantamento dos requisitos básicos, complementares e desejáveis da demanda energética do Pelotão de Fronteira. Para que haja dados confiáveis, houve uma visita às instalações desta unidade militar, onde foi observado o fluxo de utilização de equipamentos, de iluminação e afins, permitindo a utilização de um fator de demanda adequado à operacionalidade do local. Também foram consideradas possíveis mudanças nas instalações, de acordo com o plano diretor do quartel, de modo que a demanda elétrica do projeto fosse adequada ao possível aumento de demanda futura, permitindo o aumento da capacidade operacional da Organização Militar.

Para o cálculo da potência foram considerados todos os pontos de iluminação com lâmpadas de LED, otimizando o consumo, o que reduziu o custo de implantação final do sistema de geração de energia fotovoltaico isolado.

3.2 Aquisição e monitoramento em Campo Grande - MS

Após a definição da demanda e estudo dos equipamentos, realizou-se o dimensionamento de um sistema fotovoltaico *off-grid* para gerar energia que acenda lâmpadas das ruas e alamedas do quartel 9º Batalhão de Manutenção, visando avaliar o desempenho afim de realizar a implantação de um projeto *off-grid* de maior escala no PEF de Porto Índio.

3.2.1 Definição da Localização e Configuração do Sistema

A escolha da localização do gerador é de fundamental importância, pois mesmo em regiões com alta incidência de radiação solar há alterações no rendimento do sistema. De acordo

com portal CRESESB, o ângulo de inclinação ideal para a instalação dos painéis solares na cidade de Campo Grande, MS, é o de aproximadamente 20° na direção Norte, pois fornece uma média de 3,3 kWh/m².dia.

3.2.2 Levantamento de Consumo Diário de Energia.

A potência instalada foi definida pelas lâmpadas instaladas, sendo 20 refletores de LED, desses 7 refletores de 100W, 3 refletores de 50W e 5 refletores de 30W, totalizando 1000W.

3.2.3 Especificação dos equipamentos

Após o levantamento do consumo diário do projeto piloto, foram adquiridos os equipamentos do sistema isolado. Com os dados de consumo e catálogo técnico, foram especificados o controlador de carga, bateria e inversor A Figura 12 ilustra o painel fotovoltaico da marca Resun Solar adquirido.

Figura 12 - Painel solar fotovoltaico adquirido, potência de 250 W e eficiência de 15,4%, fabricante *Resun Solar Energy* .



Fonte: autor

3.2.4 Viabilidade econômica do projeto piloto

Após a especificação do projeto, foi realizada uma prospecção do investimento do lote piloto, considerando a utilização das lâmpadas atuais por 12 horas diárias. Foi quantificado os custos de operação do modo atual e confrontado com o investimento do lote piloto e encontrado

o período, indicando a viabilidade econômica do projeto piloto, inclusive com a troca das luminárias.

3.3 Custos de aquisição dos equipamentos do projeto

De maneira semelhante e com os equipamentos utilizados no projeto piloto, foi realizado o levantamento de custos para implantação do projeto. Os preços utilizados foram de Maio de 2018 e incluem material e mão de obra, já no local. O transporte do material via fluvial não foi orçado, pois deverá ser realizado pelo próprio 17º B Fron, em deslocamentos já programados.

3.4 Avaliação dos custos de consumo de diesel e de manutenção de geradores

Foi realizado um levantamento local sobre o consumo de diesel dos geradores existentes, de modo a quantificar o custo operacional atual. Como a capacidade dos geradores instalados estão aquém da demanda, além do custo atual, foi estimado um consumo de diesel com geradores de menor consumo, esses atendendo ao consumo elétrico coerente com o levantamento inicial.

O custo de manutenção preventiva e de corretiva foram incluídos no levantamento de custos, pois são valores expressivos e impactam nos custos periódicos do Pelotão isolado. A preventiva acontece a cada 100 horas de utilização e a corretiva foi quantificada de acordo com o histórico de manutenção da Organização Militar.

Além dos custos de operação e manutenção, foi estimado o consumo de diesel para deslocar o combustível até o pelotão. Atualmente, com as embarcações utilizadas, o consumo de diesel é de 90 litros por hora e o tempo de Corumbá até Porto Índio é de 24 horas na ida e 15 horas na volta.

3.5 Definição de viabilidade e especificação do projeto

Após todos os levantamentos dos custos de operação, manutenção e implantação, foi realizada a prospecção do investimento para implantação do Sistema Fotovoltaico Isolado, considerando a inflação de 6% anual, o reajuste do diesel a 8%. Além de quantificação da quantidade de poluentes que deixarão de ser emitidos.

Também foi considerado um sistema híbrido, considerando o consumo de 30% de combustível atual e a utilização do SFI dimensionado. Essa consideração deu-se como um fator de segurança, ocasionada por picos de demanda ou possíveis mudanças no consumo local.

Após a quantificação de economia de óleo Diesel e custos de implantação do projeto, foi estimada a redução de emissão de GEE, quantificando o benefício ambiental da implantação de tal sistema na região do Amolar. Os valores foram estimados em quantidade de gás carbônico equivalente.

4 RESULTADOS

4.1 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 02 quartos, rancho, pelotão de obras, Estação de Tratamento de Água – ETA, 01 capela e 01 escola.

Figura 13 – Vista Frontal da residência de 3 quartos.



Fonte: autor

O consumo energético do comando do quartel e do centro de operações são semelhantes a casa de 03 quartos, ilustrada na Figura 13. Deste modo, para dimensionamento, será considerado o mesmo consumo.

A Tabela 2 mostra a estimativa do consumo diário de energia da edificação de 03 quartos. De modo semelhante foi calculado as cargas das residências de 02 quartos.

Tabela 2- Consumo diário estimado de energia elétrica 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

Fonte: autor

Para cálculo do consumo diário estimado de energia elétrica 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, que não existem atualmente, porém são fundamentais para acondicionamento de gêneros, tendo em vista o intervalo de 2 meses para ressurgimento, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Consumo diário estimado de energia elétrica 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 (espremador, 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

Fonte: autor

No Pelotão, por estar às margens do Rio Paraguai, utiliza a água deste, que é bombeada para um floculador, ilustrado na Figura 14, onde, após adição de sulfato de alumínio, há a

decantação e posteriormente complemento do tratamento e bombeamento para a caixa d'água. Neste processo estão envolvidos duas bombas e um motor de rotação das pás do floculador.

Figura 14 – Floculador da Estação de Tratamento de Água – ETA.



Fonte: autor

O posto de combustível, em fase de implantação está dimensionado com 2 bombas, de 3 cv cada, e 01 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. O consumo diário estimado de energia elétrica da capela é apenas iluminação. A Tabela 4 condensa os consumos energéticos do pelotão de obras, ETA, Capela e casa de força.

Tabela 4 - Consumo diário estimado de energia elétrica 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

Fonte: autor

A escola possui 2 salas de aula, 2 banheiros, uma cozinha e um anexo com 4 cômodos, deste modo para o dimensionamento do consumo diário da escola foram considerados as salas de aula e uma casa com 2 quartos, com os mesmos requisitos utilizados para as residências militares, a Tabela 5 detalha as cargas instaladas e consumo.

Tabela 5 - Consumo diário estimado de energia elétrica 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
	Televisor 40"	1	85	1	85
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
Área Externa	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

Fonte: autor

Para o dimensionamento e levantamento dos custos, foi levada em consideração a carga total e estrutura única. Não estão 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 6 demonstra a carga total de todo o pelotão.

Tabela 6 – Consumo diário de energia elétrica 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

Fonte: autor

4.2 Aquisição e monitoramento em escala equivalente em Campo Grande - MS

Após a definição da demanda e estudo dos equipamentos, realizou-se o dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Isolado (*off-grid*) para gerar energia que acenda lâmpadas das ruas e alamedas do quartel 9º Batalhão de Manutenção, visando avaliar o desempenho alcançado afim de realizar a implantação de um projeto *off-grid* de maior escala no PEF de Porto Índio.

4.2.1 Levantamento do Recurso solar disponível no local

Para realizar o levantamento do recurso solar foi utilizado o sistema SunData do portal CRESESB do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Os valores fornecidos pelo sistema são valores aproximados, com base no banco de dados do programa que contém valores de irradiação solar diária média mensal, no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil, porém não fornece o valor exato da localização apontada pelo usuário. Cabe ressaltar que a melhor forma de se obter um melhor aproveitamento do sistema é a medição no local exato da instalação do gerador, dado que já está sendo monitorado, conforme Figura 15. Os dados são apresentados conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Irradiação solar média diária [kWh/m².dia].

Mun.	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]															
	Lat. [°]	Long. [°]	Dist [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Campo Grande	20,4° S	54,64648° O	4,7	5,9	5,39	5,19	5,1	4,3	3,3	4,1	4,44	4,5	5,47	6	5,39	4,93

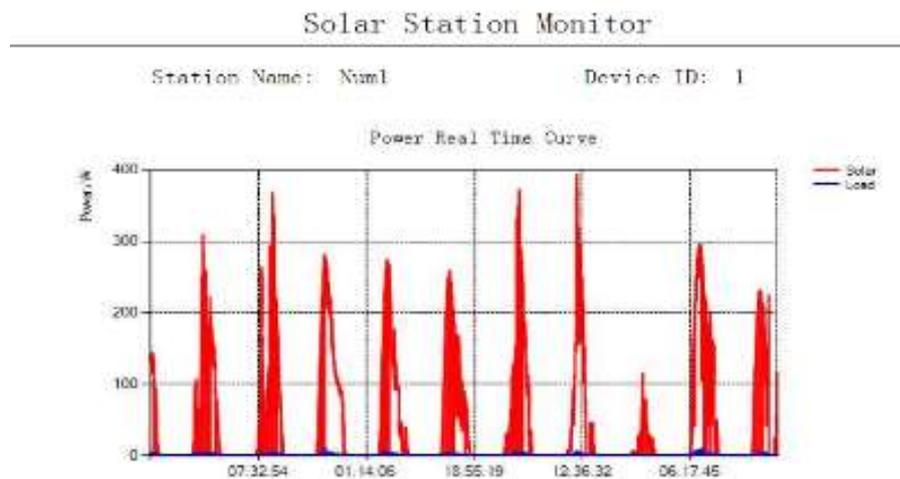
Fonte: SunData do portal Creseb

Com estes dados foi possível calcular o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação deve permanecer constante e igual a 1.000 W/m², de forma que a energia resultante seja equivalente à energia acumulada em kW. O cálculo é realizado dividindo valor do pior mês de irradiação solar local, considerando-se um dimensionamento conservador, pelo valor fixo de 1000 W/m² (PINHO E GALDINO, 2014). Conforme visto na Tabela 7, a pior média obtida foi de 3,3 ((kWh)/(m².dia)). Os cálculos são apresentados a seguir.

$$HSP = \frac{3,3 \left(\frac{kWh}{m^2 \cdot dia} \right)}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$HSP = 3,3 = 3 \text{ horas e } 20 \text{ min (h/dia)}$$

Figura 15 – Irradiação solar nos painéis instalados no projeto piloto no 9º B Mnt.



Fonte: autor

4.2.2 Definição da Localização e Configuração do Sistema

O local do projeto é o Quartel do Exército do 9º Batalhão de Manutenção, situado a Av. Duque de Caxias, em frente ao Comando Militar do Oeste. A Figura 16 ilustra uma imagem aérea do local, retirado pelo *Google Maps*.

Figura 16 – Imagem retirada pelo *Google Maps* do 9º Batalhão de Manutenção, com indicação do local de instalação dos painéis.



Fonte:

Google Maps, acesso em novembro de 2017.

O ponto indicado pelo quadrado vermelho da Figura 16 é um pavilhão de cerca de 750 m², inclinação de seu telhado de 19,23° e sua direção geral varia alguns graus da direção Norte.

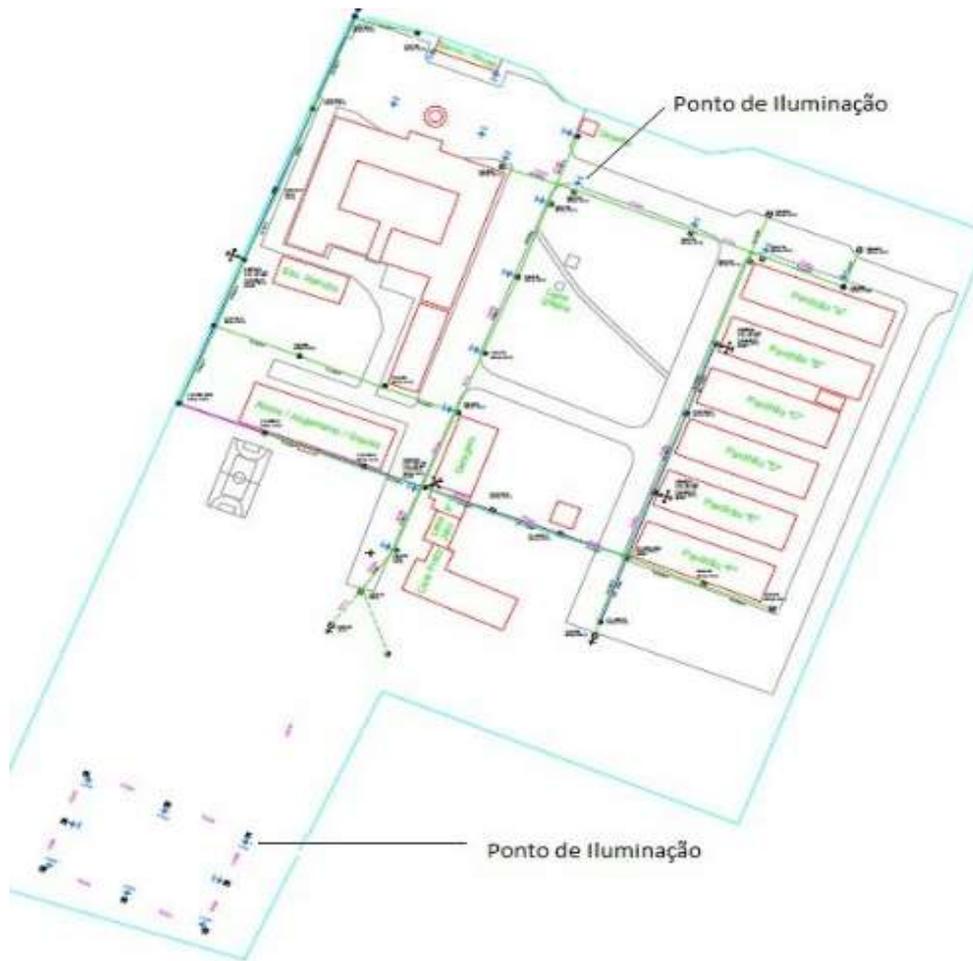
Para escolha do local observou-se alguns pontos importantes, tais como, arquitetura predial, sombreamento, superfícies reflexivas, outros aspectos como resistência mecânica do local e efeito dos ventos. Desta forma, foi escolhido o local indicado para a instalação dos painéis e do banco de baterias, tendo em vista o aspecto de localização do painel e a inclinação do telhado, não sendo necessário realizar adaptações, conseguindo atender a melhor angulação para incidência da radiação solar, segurança para o banco de baterias e sem necessidade de construir instalações para acondicionamento dessas.

A configuração do sistema foi definida pelo propósito do trabalho, que tem o objetivo de servir de base para outro projeto de maior porte, desta forma foi escolhida a configuração *off-grid*.

4.2.3 Levantamento do Consumo diário de Energia.

A potência instalada foi definida por: 7 refletores de 100W, 3 refletores de 50W e 5 refletores de 30W, totalizando uma potência de 1000W. A Figura 17 ilustra os pontos de iluminação definidos para o projeto piloto.

Figura 17 – Desenho das instalações do quartel com os pontos de iluminação em azul.



Fonte: autor

Para o cálculo do consumo mensal das lâmpadas do projeto piloto é necessário multiplicar a Potência da Lâmpada (P_e), pelo número de médio de horas de utilização, pelo número de dias utilizado no mês. Como são lâmpadas para iluminação de áreas externas, somente serão ligadas no período noturno, a partir das 18h00min, até as 06h00min, totalizando uma média diária de 12 h (PINHO E GALDINO, 2014).

$$C_m = \frac{P_e \times N_d \times D_m}{1000} \text{ (eq. 2)}$$

Onde:

C_m (kWh/mês) = Consumo médio mensal;

P_e (W) = potência nominal do equipamento;

N_d (h/dia) = número médio de horas de utilização por dia do equipamento;

D_m (dias/mês) = número médio de dias de uso do equipamento no mês.

- Para as lâmpadas de 30W:

$$C_m = \frac{30 \times 12 \times 30}{1000} = 10,8 \text{ kWh/mês}$$

- Para as lâmpadas de 50W:

$$C_m = \frac{50 \times 12 \times 30}{1000} = 18kWh/mês$$

- Para as lâmpadas de 100W:

$$C_m = \frac{100 \times 12 \times 30}{1000} = 36kWh/mês$$

Realizando o somatório para todas as lâmpadas, de acordo com a potência, em um mês chega-se a um consumo médio de 360 kWh/mês.

O levantamento da curva de carga é extremamente útil no dimensionamento dos projetos de instalação de energia solar, pois apresenta as variações de carga durante as horas do dia, mostrando onde está o horário de maior consumo. Entretanto, neste projeto, por se tratar de iluminação externa o consumo se torna previsível, pois a iluminação externa é somente para o período noturno, onde há ausência da luz solar.

4.2.4 Dimensionamento do Gerador (Painel Fotovoltaico).

O painel fotovoltaico de silício policristalino proposto para o projeto é o de 250W RS6C-250P, da fabricante Resun Solar Energy, pois possui o melhor custo benefício, considerando-se a eficiência e preço de mercado e possui características descritas nas Tabelas 8 e 9:

Tabela 8 - Especificações Mecânicas do Painel

Especificações Mecânicas do Painel Solar:	
Dimensões do painel:	(1638 x 982 x 40) mm
Código IP da caixa de junção:	IP 67, 3 diodos
Número de células e tipo:	60, Silício Policristalino
Peso do módulo:	19,0 kg
Vidro, tipo e espessura:	Vidro Temperado de Alta Transmissividade, liga de alumínio anodizado, Vidro Temperado 3,2mm

Fonte: fabricante Resun Solar Energy.

Tabela 9 - Especificações Técnicas do Painel.

Máxima Potência (Pm):	250 W
Tolerância:	+/- 5 W
Voltagem de Máxima Potência (Vm) :	29,9 V
Corrente de Máxima Potência (Im):	8,36 A
Voltagem de Circuito Aberto (Voc):	33,6 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	9,3 A
Voltagem Máxima do Sistema:	1000 V
Eficiência do Painel:	15,37%
Coeficiente de Temperatura da Potência (Pm):	-0,41 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Corrente (Isc):	0,053 %/°C
Coeficiente de Temperatura da Voltagem (Voc):	-0,31 %/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	-40°C - +85°C
* Condição padrão de teste STC/CPT: Irradiação de 1.000 W/m ² , Espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C	

Fonte: fabricante Resun Solar Energy.

Inicialmente para realizar o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos calcula-se o valor do consumo médio diário em um mês das lâmpadas e divide-se pela eficiência global da bateria, com isto tem-se um valor aproximado da quantidade de energia consumida diariamente em corrente contínua em um mês. O valor da eficiência global da bateria considerado, de acordo com Pinho e Galdino (2014), é de 86%, valor médio das baterias estacionárias de Chumbo – Ácido (Pb-ácido).

$$L_{cc} = 1000 \times 12 = 12 \text{ kW/dia (eq. 3)}$$

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_{bat}} = \frac{12000}{0,86} = 13.953,5 \text{ Wh/dia}$$

Como base neste valor calcula-se a potência do painel fotovoltaico (Pm), utilizando a Equação 4 (PINHO E GALDINO ,2014).

$$P_m = \frac{L}{HSP \times Red_1 \times Red_2} = \frac{13.953,5}{(3,3 \times 0,9 \times 0,75)} = 6264,2 \text{ Wp (eq. 4)}$$

Onde:

P_m = Potência do painel fotovoltaico

L = Quantidade de energia consumida diariamente em um mês

HSP = Horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaicos.

Red_1 = Fator de redução de potência dos módulos fotovoltaicos. Atribui-se a este fator por *default* o valor de 0,75 para painéis de c-SI.

Red_2 = Fator de redução de potência devido a outros componentes do sistema. Atribui-se a este fator por *default* o valor de 0,9 (PINHO E GALDINO, 2014).

Como o valor da carga L é fixo, o mês crítico de produção de energia será o mês de menor irradiação solar, que pode ser observado na Tabela 7 para a angulação de 20° , como sendo o mês de julho, portanto o valor usado de HSP foi de 3,3.

O valor obtido de potência do painel fotovoltaico, significa que o sistema precisa gerar 6,26 kWh para suprir a demanda diária de energia. A Figura 18 ilustra a instalação dos painéis fotovoltaicos.

Figura 18 – Instalação dos painéis fotovoltaicos do projeto piloto.



Fonte: Autor

4.2.5 Dimensionamento do Controlador de Carga Convencional

Para realizar o dimensionamento do controlador, calcula-se a quantidade de módulos em série do sistema, definido pela Equação 5, de acordo com Pinho e Galdino (2014).

$$N = 1,2 \times \frac{V_{sist}}{V_{mtpm\acute{a}x}} = 1,2 \times \frac{12}{29,9} = 0,48 \text{ m\acute{o}dulos em s\acute{e}rie (eq. 5)}$$

Onde:

N = Número de módulos em série

V_{sist} = Tensão do sistema

$V_{mtpm\acute{a}x}$ = Tensão máxima do sistema operando na temperatura mais elevada para o módulo.

1,2 = Este coeficiente corresponde ao valor de 20% que uma bateria deve ser carregada por módulo fotovoltaico, ou seja, uma bateria de Pb-ácido de 12V, tem uma tensão de carregamento em torno de 14,4V.

Com a potência obtida na Equação 4 (P_m), pode-se obter por meio da Equação 6 o valor da corrente que deve ser gerada pelo painel fotovoltaico (PINHO E GALDINO, 2014).

$$i_m = \frac{P_m}{V_{Sist}} \text{ (eq. 6)}$$

$$i_m = \frac{6264}{12} = 522 \text{ A/dia}$$

Este valor representa a corrente que deve ser gerada por dia para o sistema, se dividir esse valor por HSP, obtêm-se a corrente de demanda por hora de exposição, conforme equação 7 (PINHO E GALDINO, 2014).

$$I_{mph} = \frac{I_m}{HSP} = \frac{522}{3,3} = 158,18 \text{ Ah} \text{ (eq. 7)}$$

De posse do valor da corrente, pode-se calcular o número de módulo em paralelo, utilizando a Equação 8. A quantidade de módulos é o menor inteiro maior ou igual a N_p , desta maneira, considera-se $N_p = 19$.

$$N_p = \frac{I_{mph}}{I_{mp}} \text{ (eq. 8)}$$

$$N_p = \frac{158,18}{8,36} = 18,92$$

Onde:

N_p = Número de módulos em paralelo

I_{mp} = Corrente em potência máxima do módulo, informação obtida na ficha técnica do fabricante, Tabela 9.

Após a realização do cálculo do número de módulos em paralelo, pode-se iniciar o dimensionamento do controlador de carga que leva em conta os limites máximos do controlador, tensão c.c, níveis de corrente de entrada e saída do painel e das baterias.

O controlador de carga selecionado, considerando a eficiência e valor de mercado, para o projeto foi o EPsolar LS202 4B da marca EP Solar, e possui as seguintes características:

Tabela 10 - Características técnicas do Controlador de Carga.

Modelo	LS202 4B
Tensão nominal do sistema	12V/24V
Corrente Nominal da Bateria	20 A
Tensão máxima de entrada	50V
Aterramento	Positivo comum
Consumo próprio	8,4 mA (12 V), 7,8 mA (24 V)
Temp. Compensação	-3mV/°C/2V (25°C)
Equalização da Tensão de carregamento	Selado: 14,6V, Inundado: 14,8V, Definido pelo usuário: 9 ~ 17V
Aumento da tensão de carga	Gel: 14,2V, selado: 14,6V, Inundado: 14,8V, Definido pelo usuário: 9 ~ 17V
Tensão de carga do flutuador	Gel / Selado / Inundado: 13,8V, Definido pelo usuário: 9 ~ 17V
Tensão de reconecção de baixa tensão	Gel / Selado / Inundado: 12,6V, Definido pelo usuário: 9 ~ 17V
Tensão de desconexão de baixa tensão	Gel / Selado / Inundado: 11,1V, Definido pelo usuário: 9 ~ 17V

Fonte: fabricante EP Solar.

O dimensionamento da corrente máxima do controlador é realizado pela Equação 9 (PINHO E GALDINO, 2014).

$$I_c = 1,25 \times N_p \times I_{sc} \text{ (eq. 9)}$$

$$I_c = 1,25 \times 19 \times 9,3 = 220,87 \text{ A}$$

Onde:

I_c = Corrente máxima do controlador.

I_{sc} = Corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico - Tabela 7.

1,25 = Fator de segurança de 25%.

Com base na Equação 9 pode-se calcular o número de controladores em paralelo, dividindo a corrente máxima do controlador pela corrente máxima fornecida pelo controlador definido (Tabela 8), conforme a Equação 10. Com isto tem-se 11 controladores de carga.

$$N_{cp} = \frac{I_c}{I_{ctl}} = \frac{220}{20} = 11 \text{ (eq. 10)}$$

Um ponto importante no quesito de segurança do controlador é que a tensão de operação do controlador deve sempre ser maior que a tensão máxima de saída do painel fotovoltaico. Como neste caso os painéis não estarão conectados em série e a tensão máxima de saída do painel total do sistema é a tensão máxima de saída de cada painel, neste caso, segundo o

fabricante corresponde ao valor de 37,4V. Comparando este valor ao valor máximo de tensão do controlador de carga, que segundo dados do fabricante é de 50V, verifica-se que não ocorrerá nenhum problema com o circuito. A Figura 19 ilustra o controlador de carga adquirido para o projeto piloto.

Figura 19 – Controladores de carga do projeto piloto.



Fonte: Autor

4.2.6 Dimensionamento do Banco de Bateria

O Dia de Autonomia (DA) é o dia considerado como *backup*, caso o painel não carregue e funciona também como fator de segurança, quando a bateria perde capacidade de armazenamento de carga, O número de dias de autonomia considerado foi de 3 dias.

As baterias escolhidas para o sistema piloto foi o modelo estacionário 12MF220, da marca MOURA, e possui as características descritas Figura 20.

Figura 20 – Especificações técnicas da bateria estacionária utilizada no projeto piloto.

Modelo	12MF36	12MF45	12MF55	12MF63	12MF80	12MF100	12MF105	12MF150	12MF175	12MF220	
	12MC36	12MC45	12MC55	12MC63	12MC80	12MC100	12MC105	12MC150	12MC175	12MC220	
Tensão Nominal (V)	12					12	12	12	12	12	
Capacidade a 25°C (Ah)	10 h-1,75V/Elem.	32	41	50	57	72	90	94	135	156	195
	20 h-1,75V/Elem.	30	45	55	63	80	100	105	150	175	220
	100 h-1,75V/Elem.	40	50	60	69	87	110	115	165	194	244
Dimensões (mm)	Comprimento	212	212	242	277	330	397	330	512	517	517
	Largura	175	175	175	175	172	104,5	172	211	272	272
	Altura	175	175	175	175	254	272	254	238	246	246
Peso (kg)	10,5	11,5	13,5	16,4	22,0	30,0	25,5	44,0	51,0	56,2	
Posição dos Terminais	● ●		● ●		● ●	● ●	● ●	● ●			
Tipo dos Terminais											
Acessórios	Parafusos, arruelas e porcas soldadas em aço inox					Parafusos e arruelas em aço inox	Parafusos, arruelas e porcas soldadas em aço inox				
Tensão de Flutuação (V)	2,28 - 2,23 p/elemento a 25°C										
Tensão de Equalização (V)	2,36 - 2,40 p/elemento a 25°C										
Tensão Única de Flutuação (V)	2,26 - 2,30 p/elemento a 25°C										
Compensação de Temperatura	- 0,33V para cada 10°C acima de 25°C										
	+ 0,33V para cada 10°C abaixo de 25°C										

Fonte: Bateria estacionária Clean Nano V1.3, Manual Técnico Moura, V1.3, Dezembro, 2016

Para dimensionamento, a profundidade máxima de descarga da bateria (P_d), considerando o período de autonomia, foi de 30 %, que implica que a descarga máxima de cada bateria será de 30%, mesmo que não seja recarregada durante o período de autonomia dimensionado. Com base no valor obtido em 4.3.4, pode-se determinar a capacidade do sistema de acumulação, utilizando a Equação 11 (PINHO E GALDINO, 2014).

$$CB_{c20} (Wh) = L \times \frac{DA}{P_d} = \frac{13953,5 \times 3}{0,7} = 59,8 \text{ kW (eq. 11)}$$

Onde:

$CB_{c20} (Wh)$ = Capacidade do banco de baterias em Wh para o regime de descarga em 20 h.

L = Quantidade de energia consumida diariamente em corrente contínua em um mês.

DA = Número de dias de autonomia.

P_d = Profundidade de descarga máxima.

Dividindo o valor obtido pela Eq. 11 pela tensão da bateria, obtém-se a capacidade em Ah de armazenagem do banco de baterias, conforme Equação 12, temos:

$$I_{Ah} = \frac{CB_{c20}}{V_b} \text{ (eq. 12)}$$

$$I_{Ah} = \frac{59,8 \times 10^3}{12} = 4.983 \frac{Ah}{dia}$$

Com a capacidade do banco de baterias obtido pela Equação 12, obtém-se capacidade em Ah de carga da bateria escolhida e encontra-se o valor de quantas baterias serão necessárias para todo o sistema. Desta forma necessita-se de 23 baterias conforme Equação 13. A Figura 21 ilustra o Banco de Baterias adquirido e montado para o projeto piloto.

$$N_{batp} = \frac{4.983}{220} = 22,65 = 23 \text{ (eq. 13)}$$

Figura 21 – Banco de baterias adquiridas para o projeto piloto.



Fonte: Autor

4.2.7 Dimensionamento do Inversor

O dimensionamento de um inversor deve ser realizado sem que este opere por longos períodos em potências abaixo da nominal nem em sobrecarga. Considerando um superdimensionamento, o inversor deverá ter uma potência acima da potência do gerador fotovoltaico. Todavia para realizar esta escolha alguns critérios devem ser levados em consideração, como por exemplo, o local de instalação do inversor, e a temperatura ambiente a que ele vai estar exposto, pois a temperatura afeta diretamente a eficiência do inversor, e nestes casos recomenda-se que o inversor seja de igual ou maior potência que o gerador FV (PINHO E GALDINO, 2014).

O inversor selecionado para o projeto foi o XPowerInverter 3000, da marca XPower, que foi o melhor custo benefício do mercado e possui potência de 3000 W.

Tabela 11 - Características técnicas do Inversor

Máxima potência de saída contínua	1500 W
Máxima potência de surto	3000 W
Faixa de temperatura de operação	0–40 °C (32–104 °F)
Voltagem de saída	115 Vac - RMS \pm 5%
Forma da onda de saída	Onda senoidal modificada
Frequência de saída	60 Hz \pm 1 Hz
Frequência de entrada:	10.5 – 15.5Vdc
Alarme de bateria fraca	11.0 V
Desligamento por bateria fraca	10.5 V
Eficiência ótima	90%
Sem perdas de corrente	< 0.3 A
Dimensões	382×151×75 mm (15×5.9×3 in.)
Peso líquido	2.7 kg (5.95 lbs)

Fonte: fabricante XPower.

Como o projeto piloto é de baixa potência, o inversor escolhido possui potência de 3000 W e possui 2000W de potência maior que a de trabalho, conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22 – Quadro com barramento e inversor do projeto piloto.



Fonte: Autor

4.2.8 Viabilidade econômica do projeto piloto

As lâmpadas existentes atualmente são de 400, 200 e 100W convencionais, isso representaria um consumo de 3900Wh, ao invés dos 1000Wh que serão instalados com as lâmpadas LED no sistema fotovoltaico. Isso geraria um consumo de 1404 kWh/mês, com o preço da tarifa a R\$ 0,565, o gasto mensal seria de R\$ 793,26 (setecentos e noventa e três reais e vinte e seis centavos) por mês. Os equipamentos a serem adquiridos têm seus valores estimados na Tabela 12.

Tabela 12 - Estimativa de custos do sistema piloto.

Investimento para implantação do Projeto				
Ord	Descrição	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1	Painel solar YGE 60 células YL250-29b	19	R\$ 488,54	R\$9.282,26
2	Controlador de Carga EPSolar LS202 4B	10	R\$ 223,20	R\$2.232,00
3	Inversor XPower Inverter 3000	1	R\$ 3.079,00	R\$3.079,00
4	Par de Conectores MC4 para ligações em paralelo	10	R\$ 69,00	R\$690,00
5	Par de Conectores MC4 convencional	10	R\$ 39,00	R\$390,00
6	Baterias estacionária 220Ah Moura modelo 12MF220	23	R\$ 1.099,00	R\$25.277,00
7	Cabo PP Flexível 6mm	400	R\$ 4,09	R\$1.636,00
Total				R\$ 42.586,26

Fonte: autor

Considerando uma inflação de 6%, inferindo-se o valor de acordo com o gráfico da Figura 23 e um reajuste anual médio de 10% nas tarifas de energia elétrica (em agosto de 2018, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) aprovou o aumento médio nas tarifas de

energia do estado do Mato Grosso do Sul de 24,42%, segundo Vaccari (2018)¹. Na Tabela 13, observa-se o fluxo de caixa do investimento e o retorno alcançado. Considerou-se a troca das baterias a cada 5 anos e a troca do inversor a cada 10 anos.

Figura 23 - Evolução anual da inflação nos últimos 20 anos.



Fonte: Revista EXAME², 2018

De acordo com o fluxo de caixa apresentado o sistema se tornará viável economicamente a partir do 7º ano, gerando a partir deste ponto uma economia anual de cerca de 19 mil reais na conta de luz.

Tabela 13 - Fluxo de caixa do projeto piloto

Anos	Investimento	Economia Energia elétrica	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
	-R\$42.586,26		-42.586,26	-42.586,26	-42.586,26
1		R\$9.519,12	R\$9.519,12	8.947,97	-33.638,29
2		10.471,03	10.471,03	9.252,20	-24.386,08

¹ Disponível em <https://www.correiodoestado.com.br/economia/contas-de-energia-terao-reajuste-medio-de-2442-em-cidades-de-ms/334747/>;

² Disponível em <https://exame.abril.com.br/economia/veja-no-grafico-o-sobe-e-desce-da-inflacao-nos-ultimos-20-anos/> . Acesso em nov 2018.

3		11.518,14	11.518,14	9.566,78	-14.819,30
4		12.669,95	12.669,95	9.892,05	-4.927,26
5	-R\$25.277,00	13.936,94	13.936,94	10.228,38	-19.975,88
6		15.330,64	15.330,64	10.576,14	-9.399,73
7		16.863,70	16.863,70	10.935,73	1.536,00
8		18.550,07	18.550,07	11.307,55	12.843,55
9		20.405,08	20.405,08	11.692,00	24.535,55
10	-R\$27.509,00	22.445,59	22.445,59	12.089,53	9.116,08
11		24.690,15	24.690,15	12.500,58	21.616,66
12		27.159,16	27.159,16	12.925,60	34.542,26
13		29.875,08	29.875,08	13.365,07	47.907,32
14		32.862,58	32.862,58	13.819,48	61.726,80
15		36.148,84	36.148,84	14.289,34	76.016,14

Fonte: autor

Como o projeto tem por objetivo avaliar o rendimento e servir como parâmetro para avaliação da instalação de um projeto *off-grid* de maior capacidade, pode-se inferir que uma instalação de grande porte é viável economicamente.

4.3 Custos de aquisição dos equipamentos do projeto

De modo semelhante ao dimensionamento do projeto piloto, calculou-se os equipamentos para a demanda obtida em 4.1. O dia de autonomia, como citado em 4.2.6, é o dia considerado como *backup* e considerou-se 2 dias de autonomia e máximo carregamento diário da bateria 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 Sol Pleno 3,6 horas, necessita-se de 374 módulos. Considerando a amperagem do controlador de 40 A, necessita-se de 187 controladores.

O Custo de Instalação (CI) do sistema proposto, considerando a mão de obra total para implantação do projeto do SFI, considerando o mês de maio de 2018, está descrito na Eq. (14), que é a razão entre o Custo Total (CT) e a carga em kW/dia (Q).

$$CI = CT/Q = 3.827,15 \text{ R\$/kW/dia} \text{ eq. (14)}$$

A Tabela 14 estima os valores para aquisição dos equipamentos. Os preços utilizados foram de Maio de 2018 e fornecidos por uma empresa de Campo Grande-MS.

Tabela 14 - 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	699,00	261.426,00
2	Inversor Solar Off Grid Hayonik 5000 W 12 Vdc/127V	65	3200,00	208.000,00
3	Suporte de fixação de painéis	374	350,00	130.900,00
4	Controlador 40 A	187	1.298,00	242.726,00
5	Comissionamento e <i>start-up</i>	1	12.000,00	12.000,00
6	Par de Conectores MC4 convencional	187	39,00	7.293,00
7	Par de Conectores MC4 para ligações em paralelo	187	69,00	12.903,00
8	Interligação com a rede de energia existente	1	7.500,00	7.500,00
9	Painel de proteção e distribuição de energia fotovoltaica	1	9.200,00	9.200,00
10	Instalações elétricas dos painéis fotovoltaicos	1	145.000,00	145.000,00
11	Projeto Elétrico	1	12.000,00	12.000,00
12	Bateria estacionária 240 Ah	235	1.200,00	282.000,00
TOTAL				1.330.948,00

Fonte: autor

4.4 Avaliação dos custos consumo de diesel e manutenção dos grupos geradores

Atualmente, em funcionamento, existem dois grupos geradores, um de 85kVA e 55 kVA, este ilustrado na Figura 24, com capacidade de geração de energia aquém do necessário. O consumo atual, tendo em vista a baixa eficiência, é de 10 litros por hora do gerador de 55 kVA e 20 litros por hora do gerador de 85 kVA. Os grupos geradores se alternam a cada 12 horas e o consumo diário médio dos geradores é de 360 litros. Desta forma o consumo anual atual de óleo diesel é estimado em 131,4 mil litros por ano.

Figura 24 – Grupo Gerador STEMAC 55 kVA do Pelotão



Fonte: autor

Além do consumo de combustível pelos grupos geradores, há um consumo de deslocamento, que acontece a cada 2 meses, onde há transporte de gêneros, troca dos militares e reabastecimento de óleo diesel, que é o item mais expressivo no transporte. O período de deslocamento com as embarcações logísticas, conforme ilustrado na Figura 25, é de 24 horas na ida (contra fluxo do Rio Paraguai) e 15 horas no retorno (sentido do rio). O consumo da embarcação é de 90 litros/horas, o que implica um consumo de 3.510 litros de diesel a cada deslocamento, como são 6 deslocamentos ao ano, estima-se que são gastos com o transporte de material e pessoal 21.060 litros de diesel. Para análise dos custos relacionados apenas com o consumo de combustível, foi estimado que 50% desse diesel é atribuído ao transporte de combustível (fator diesel), desta forma são gastos com o transporte 10.530 litros de diesel para transporte de combustível. A Tabela 15 estima o consumo de combustível anual atual do PEF de Porto Índio.

Tabela 15 - Consumo de óleo diesel atual no PEF de Porto Índio.

Descrição	Consumo diesel (l/h)	Horas de uso/dia	Nr dias	Consumo ano (litros)
Grupo Gerador de 55 kVA	10	12	365	43.800
Grupo Gerador de 85 kVA	20	12	365	87.600
Subtotal (Consumo diesel geradores)				131.400
Descrição	Consumo diesel (l/h)	Horas de deslocamento	Nr deslocamentos x fator diesel (50%)	Consumo ano (litros)
Embarcação logística (transporte de diesel)	90	39	6 x 50%	10.530
Subtotal (Consumo diesel transporte)				10.530
Consumo total de diesel anual				141.930

Fonte: autor

Figura 25 - Embarcação Logística Forte Coimbra.

Fonte: autor

A manutenção preventiva dos grupos geradores ocorre a cada 100 horas de utilização, como os geradores são utilizados 12 h por dia, implica em uma quantidade anual de paradas para manutenção preventiva de 43 vezes. A manutenção preventiva consiste basicamente em troca de óleo de motor, troca do filtro de óleo do motor, troca do filtro de ar do motor e do filtro de combustível do motor. A manutenção corretiva, pelo histórico de manutenção, ocorre a cada 2 anos e possui custo médio de 32 mil reais, que consiste em manutenção do gerador, retífica de cabeçote do motor, manutenção no sistema de arrefecimento do motor e troca de componentes elétricos do quadro. Desta forma o custo médio considerado de manutenção corretiva anual foi de 32 mil reais. A Tabela 16 ilustra os custos de manutenção dos sistemas de geradores atuais.

Tabela 16 – Custos de manutenção dos grupos geradores de 55 e 85 kVA.

Descrição	Grupo Gerador de 55 kVA	Grupo Gerador de 85 kVA	Vezes ano	QTD TOTAL	Custo Unitário (R\$)	Custo TOTAL (R\$)
	QTD	QTD				
Óleo de Motor	10 (litros)	16 (litros)	43	1.118 (l)	12,5	13.975,00
Filtro de Óleo	1	1	43	86	20	1.720,00
Filtro de Ar	1	1	43	86	25	2.150,00
Filtro de Combustível	1	1	1	86	22	1.892,00
Mnt Corretiva	1	1	0,5	1	R\$ 32.000	32.000,00
Custo de Manutenção Anual dos geradores						R\$ 51. 737,00

Fonte: autor

O custo para manutenção da energia elétrica, da forma como fornecida atualmente, é o somatório dos custos de consumo de diesel mais o consumo de manutenção, expostos nas Tabelas 15 e 16. O custo médio do Diesel em Corumbá, segundo a ANP³, no período de 28 de Julho de 2019 a 03 de agosto de 2019 é de R\$ 3,70, desta forma, o custo estimado para os 141.930 litros de óleo diesel consumido é de R\$ 525.141,00.

Portanto o custo atual com consumo de combustível e manutenção dos grupos geradores é de R\$ 576.878,00.

4.5 Definição de viabilidade e especificação do projeto

Para avaliação da viabilidade de implantação foi estimado o custo de aquisição e implantação do Sistema Fotovoltaico Isolado, descrito na Tabela 17, com valor de R\$ 1.330.948,00 e o custo operacional dos geradores que é de R\$ 576.878,00.

Para o estudo de viabilidade considerou-se a inflação de 6% anual e o reajuste do diesel e manutenção de 8% anual, a Tabela 17 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.

³ Preço médio fornecido pelo Sistema de Levantamento de Preços da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, disponível em <https://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Por_Estado_Municipio.asp> . Acesso em 04 de agosto 2019.

Tabela 17- Fluxo de caixa projetado do projeto.

Anos	Investimento	Economia Diesel	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
	-1.330.948,00		-1.330.948,00	-1.330.948,00	-1.330.948,00
1,00		576.878,00	576.878,00	542.265,32	-788.682,68
2,00		623.028,24	623.028,24	550.507,75	-238.174,93
3,00		672.870,50	672.870,50	558.875,47	320.700,54
4,00		726.700,14	726.700,14	567.370,38	888.070,92
5,00	-423.000,00	784.836,15	784.836,15	575.994,41	1.041.065,33
6,00		847.623,04	847.623,04	584.749,52	1.625.814,85
7,00		915.432,89	915.432,89	593.637,72	2.219.452,57
8,00		988.667,52	988.667,52	602.661,01	2.822.113,58
9,00		1.067.760,92	1.067.760,92	611.821,46	3.433.935,03
10,00	-901.452,00	1.153.181,79	1.153.181,79	621.121,14	3.153.604,17
11,00		1.245.436,33	1.245.436,33	630.562,18	3.784.166,36
12,00		1.345.071,24	1.345.071,24	640.146,73	4.424.313,09
13,00		1.452.676,94	1.452.676,94	649.876,96	5.074.190,04
14,00		1.568.891,10	1.568.891,10	659.755,09	5.733.945,13
15,00		1.694.402,38	1.694.402,38	669.783,37	6.403.728,50

Fonte: autor

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

Visando adquirir confiabilidade do Sistema Fotovoltaico Isolado a ser implementado e utilizando os Grupos Geradores existentes como segurança, caso uma possível falha ou mudança de perfil de consumo, propõe-se como 2ª Hipótese a utilização dos Geradores Diesel em complemento SFI.

Para o sistema híbrido, utilizando Grupos Geradores e o SFI, o custo de aquisição e implantação do Sistema Fotovoltaico Isolado é o constante na Tabela 17, com valor de R\$ 1.330.948,00 e o custo operacional dos geradores que é estimado em 30% do custo estimado em 4.4, portanto o custo estimado com consumo de combustível e manutenção dos grupos geradores é de R\$ 173.063,40. A Tabela 18 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 18 - Fluxo de caixa projetado do projeto híbrido – redução de 70 % de Diesel.

Anos	Investimento	Economia Diesel	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Descontado	Payback descontado
	-1.330.948,00		-1.330.948,00	-1.330.948,00	-1.330.948,00
1,00		403.814,60	403.814,60	379.585,72	-951.362,28
2,00		436.119,77	436.119,77	385.355,43	-566.006,85
3,00		471.009,35	471.009,35	391.212,83	-174.794,02
4,00		508.690,10	508.690,10	397.159,26	222.365,25
5,00	-423.000,00	549.385,31	549.385,31	403.196,09	202.561,33
6,00		593.336,13	593.336,13	409.324,67	611.886,00
7,00		640.803,02	640.803,02	415.546,40	1.027.432,40
8,00		692.067,26	692.067,26	421.862,71	1.449.295,10
9,00		747.432,64	747.432,64	428.275,02	1.877.570,12
10,00	-901.452,00	807.227,25	807.227,25	434.784,80	1.410.902,92
11,00		871.805,43	871.805,43	441.393,53	1.852.296,45
12,00		941.549,87	941.549,87	448.102,71	2.300.399,16
13,00		1.016.873,86	1.016.873,86	454.913,87	2.755.313,03
14,00		1.098.223,77	1.098.223,77	461.828,56	3.217.141,59
15,00		1.186.081,67	1.186.081,67	468.848,36	3.685.989,95

Fonte: autor

De acordo com o fluxo de caixa demonstrado na Tabela 18, o projeto de implantação, considerando uma redução de 70% no custo operacional dos geradores também é viável a partir do 4º ano, frente a utilização apenas dos grupos geradores diesel para produção de energia elétrica.

Gomes et al. (2010) estima que a emissão de óleo diesel no Mato Grosso é de 2,70 tCO₂/m³. Como o consumo estimado, conforme a Tabela 15 é de 141,93 m³ de diesel, infere-se que haverá uma redução anual de emissão de poluentes de 383,21 t de CO₂, valor expressivo e impactante, pois Pelotão de Porto Índio está localizado em área de preservação ambiental. Na possibilidade de implantação do sistema híbrido, a redução também é relevante, com valor de 268,25 t de CO₂, as quais deixarão de ser emitidos para o meio ambiente.

5 CONCLUSÃO

No projeto piloto foram utilizadas baterias automotivas, para avaliação do custo frente ao tempo de utilização, pois as baterias automotivas são 50% mais baratas que as estacionárias. Desta forma, como o planejamento estimado da troca de baterias estacionárias é de 5 anos, caso a utilização da bateria automotiva superasse os 2,5 anos, existiria uma equivalência de custos de funcionamento.

Foram instaladas, em novembro de 2017, 12 baterias seladas da Marca Heliar de, 150 Ah, com características automotivas e funcionaram perfeitamente até o mês de junho de 2019, porém, no mês de julho de 2019, duas delas, equivalente a 16,7%, já não possuíam o funcionamento satisfatório e foi necessário a troca. Desta forma, como previsto no item 2.2.2, as baterias automotivas, com características de arranque não satisfazem o perfil de acumuladores fotovoltaicos, pois desgastam-se prematuramente, sendo menos atrativas economicamente e custam cerca de 66% a mais que as baterias estacionárias.

Durante o monitoramento do projeto piloto, destaca-se a confiabilidade do Sistema Fotovoltaico implantado, pois no período de 20 meses não foi realizada nenhuma manutenção periódica, preditiva ou corretiva. sequer foi realizada a limpeza da camada de poeira, que em tese, aumentaria o rendimento dos painéis fotovoltaicos. Destaca-se que a interrupção para manutenção corretiva após deu-se por uma falha na bateria do projeto piloto, porém na especificação dos equipamentos no projeto de implantação de Porto Índio não foi considerada a bateria do projeto piloto e sim baterias estacionárias, o que aumentará ainda mais confiabilidade do sistema, modificando o plano de manutenção preventiva atual, que são 43 intervenções anuais.

Durante a montagem e monitoramento observou-se ainda a facilidade de instalação e manutenção, caso haja necessidade de troca de componentes. Desta forma a mão de obra habilitada para operar ou reparar o sistema, em caso falha, é mais acessível e menos complexa que a mão de obra de manutenção corretiva de manutenção dos grupos geradores.

Conforme a prospecção de fluxo de caixa, de acordo com a Tabela 17, a implantação do Sistema Fotovoltaico Isolado (*off-grid*) é viável economicamente e terá retorno financeiro a partir do 3º ano do investimento, propiciando uma economia de aproximadamente 427 mil reais anuais, recurso que poderá investido em outras demandas do batalhão.

A disponibilidade de energia elétrica, aliada a confiabilidade do Sistema Fotovoltaico Isolado possibilitará melhor desempenho para a escola Duque de Caxias, tendo em vista a não

interrupção do fornecimento de energia elétrica ocasionada por falha dos grupos geradores e manutenção preventiva.

O Pelotão de Porto Índio localiza-se na Serra do Amolar, considerada uma das áreas primordiais para conservação do Pantanal, maior área úmida continental de água doce do planeta. Desta forma, com a implantação do projeto, deixar-se-á de consumir 141.930 litros de diesel, implicando na redução de emissão de 383,21 t de CO₂ e contribuirá sobremaneira para redução de GEE, reduzindo os danos ambientais em uma das mais belas paisagens pantaneiras.

Recomenda-se para trabalhos futuros um estudo sobre a melhor disposição dos equipamentos, de modo a alocar no terreno as estruturas de sustentação das placas fotovoltaicas, bem como dimensões dos suportes, de acordo com as associações adequadas ao local. Outrossim, sugere-se que sejam simuladas outras possibilidades com sistemas híbridos, com modificação dos dias de autonomia, de modo a reduzir os custos decorrentes das baterias e seja comparado com o sistema proposto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS), 2017 e 2019.

Bateria estacionária Clean Nano V1.3, **Manual Técnico Moura**, V1.3, Dezembro, 2016.

CAMPISI D.; MOREA D.; FARINELLI E. **Economic sustainability of ground mounted photovoltaic systems: an Italian case study**. International Journal of Energy 2015;9:156-175.

CARNEIRO, R. L.; MOLINA, J. H. A.; ANTONIASSI, B.; MAGDALENA, A. G.; PINTO, E. M. **Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico-Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento**. Revista Virtual de Química, 2017. Data de publicação na Web: 7 de junho de 2017

COPETTI, J.; MACAGNAN, M. **Baterias em sistemas solares fotovoltaicos**. Abens – Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.

UNFCCC (CONFERÊNCIA DAS PARTES (COP-21) DA CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA), 21ª Edição, 2015, Paris, França.

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**.

EB20-MC-10.204 LOGÍSTICA, Manual de Campanha, 3ª Edição, Janeiro, 2014.

EB20-MF-10.102 DOCTRINA MILITAR TERRESTRE, Manual de Fundamentos, 1ª Edição, Janeiro, 2014.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) - **Balanco Energético Nacional 2018 – BEN-2018: ano base 2017**. Rio de Janeiro, 2018.

FTHENAKIS V. M.; MOSKOWITZ P. D. **Photovoltaics: environmental, health and safety issues and perspectives**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 2000;8:27–38.

FTHENAKIS, V. M.; KIM, H. C. **Energy use and greenhouse gas emissions in the life cycle of thin film CdTe photovoltaics. In: Proceedings of Symposium G-Life Cycle Analysis, Materials.** Research Society Fall Meeting. Boston, Nov. 29– Dec 2. 2005.

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.

GOMES V. M; FARIA A. M M.; DALLEMOLE D. **EMISSÃO DE CO2 DERIVADO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NO BRASIL E MATO GROSSO ENTRE 2000 E 2008: biocombustíveis como estratégia de ajustamento a uma economia de baixo carbono.** Revista de Estudos Sociais, ano 12, n. 24, v.2, 2010.

GOOGLE MAPS. [**Vista superior do pavilhão onde está instalado o projeto piloto**]. [2017]. Acesso em: novembro 2017.

IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia), publicado em 5 de novembro de 2015, 5/11/2015, disponível em <<https://ipam.org.br/glossario/co2-equivalente-co2e/>>

ITO M.; KOMOTO K.; KUROKAWA K. **Life-cycle analyses of very-large scale PV systems using six types of PV modules.** Current Applied Physics 2010;10:S271–S273

J. SANDRO, C. PAULO. **Metodos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos: aplicacoes em dessalinização**, 1ª Edição, Duque de Caxias, 2013.

KAMALAPUR G.; UDAYKUMAR R. **Rural electrification in India and feasibility of photovoltaic solar home systems.** Electrical Power and Energy Systems 2011;594–9.

MEIER P. J.; KULCINSKI G L. **Life-cycle energy requirements and greenhouse gas emissions for building-integrated photovoltaics.** Madison, USA: Fusion Technology Institute, University of Wisconsin; 2002.

NIEUWLAAR E.; ALSEMA E. **Environmental aspects of PV power systems. IEA PVPS Task 1 Workshop.** Utrecht, The Netherlands, 25–27 June, 1997.

NISHIMURA A.; HAYASHI Y.; TANAKA K.; HIROTA M.; KATO S.; ITO M. **Life cycle assessment and evaluation of energy payback time on high-concentration photovoltaic power generation system.** Applied Energy 2010;87:2797–807.

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

PINHO J. T; GALDINO M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, Edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, Março de 2014.

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

ROJAS, I. M. O.; MORALES, C. A. C.; ACUÑA, H. E. C.; ARÉVALO, C. P. F. **Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia.** Revista de Investigación Agraria y Ambiental 2017:2145-6453.

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.

SHERWANI A. F.; USMANI J. A.; VARUN. **Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review.** Renewable and Sustainable Energy Rev 2010;14:540-44.

SAEZ-DE-IBARRA, A. et al. **Sizing Study of Second Life Li-ion Batteries for Enhancing Renewable Energy Grid Integration.** IEEE Transactions on Industry Applications, 2016.

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.

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

SUMPER A.; ROBLEDO-GARCÍA M.; VILLAFÁFILA-ROBLES R.; BERGAS-JANÉ J.; ANDRÉSS-PEIRÓ J. **Life-cycle assessment of a photovoltaic system in Catalonia (Spain).** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:3888–96.

VACCARI, Glauceia. Contas de energia terão reajuste médio de 24,42% em cidades de MS. **Jornal Correio do Estado**, Campo Grande, 21 de agosto 2018. Disponível em <<https://www.correiodoestado.com.br/economia/contas-de-energia-terao-reajuste-medio-de-2442-em-cidades-de-ms/334747/>>. Acesso em 05 dez. 2018.

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