

## IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE FOTOVOLTAICO OFF-GRID NA REGIÃO DO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

Gabriel França de Abreu, Andréa Teresa Riccio Barbosa, Sandro Petry Laureano Leme

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

e-mail gabriel-13@hotmail.com

### RESUMO

A região do Pantanal é muito importante para o mundo, devido a sua biodiversidade de fauna e flora, além de ser a maior área alagada do mundo, com 250 mil km<sup>2</sup> de extensão, sendo que a parte pertencente ao Brasil é de 150 mil km<sup>2</sup>, com 65% de seu território no estado de Mato Grosso do Sul e 35% no Mato Grosso.

A energia elétrica é essencial para o ser humano, principalmente em regiões isoladas como o Pantanal, pois ela é utilizada tanto para o conforto do ser humano quanto para atender as necessidades essenciais como a refrigeração e condicionamento de alimentos. Por ser uma região alagada em determinadas épocas do ano, torna-se difícil o acesso as residências aumentando também a complexidade para a instalação da energia elétrica por meio de linhas de transmissão. Isso faz com que se torne inviável para as concessionárias de energia, por ser uma região ocupada por grandes fazendas, existindo poucas unidades consumidoras. Desta forma impossibilita a obtenção energia elétrica, fazendo com que os moradores busquem outros meios de conseguir energia, como a utilização de geradores síncronos movidos a diesel e sistemas de energia fotovoltaica off-grid.

Este trabalho tem como objetivo implantar um sistema de geração solar fotovoltaica na região do Pantanal sul-mato-grossense, estudar a sua viabilidade, comparar com outras formas de eletrificação e mostrar os possíveis impactos ambientais causados por outras fontes de energia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia solar off-grid, pantanal, sistemas fotovoltaicos, gerador a diesel.

### INTRODUÇÃO

O presente estudo visa mostrar os benefícios da utilização de fontes de energia renovável para a obtenção de energia elétrica, como os geradores fotovoltaicos off-grid comparados com os geradores síncronos a diesel e instalação de linhas de transmissão e distribuição. A geração de energia por meio dos geradores síncronos são prejudiciais ao meio ambiente devido a emissão de gases poluentes que ocorrem durante a queima do diesel, esses gases auxiliam na destruição da camada de ozônio, aumento do aquecimento global, chuva ácida, etc. Com a instalação de linhas de transmissão e distribuição para atender a população será necessário desmatar algumas áreas comprometendo a fauna e a flora da região. A geração por meio de fontes renováveis como a energia solar não causa nenhum impacto ambiental, pois os equipamentos são instalados na própria residência, a energia utilizada é a do sol e não geram resíduos em sua produção, a não ser pelos descartes das baterias que deverá ser realizado de forma correta.

A implantação do sistema fotovoltaico off-grid será realizado em uma propriedade na região do Pantanal, afim de atender as necessidades básicas com o uso da energia elétrica, como iluminação, entretenimento, ventilação e refrigeração de alimentos. Serão avaliadas as opções possíveis para a aquisição de energia elétrica levando em consideração os impactos ambientais e os custos de implantação e manutenção.

### OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo implantar um sistema de geração solar fotovoltaica na região do Pantanal sul-mato-grossense, estudar a sua viabilidade, comparar com outras formas de eletrificação e mostrar os possíveis impactos ambientais causados por outras fontes de energia.

### METODOLOGIA

Para realizar o fornecimento de energia elétrica para a propriedade na região do Pantanal, considerou-se três opções: a primeira foi adquirir energia pela concessionária, a segunda com a utilização de gerador de energia a diesel e a terceira pelo o uso de sistemas fotovoltaicos *off-grid*. Foram realizados estudos de custo de implantação de cada uma delas, para escolher a opção mais viável e que causasse menos impactos ambientais. A Tabela 1 apresenta a relação das cargas a serem alimentadas pelo sistema escolhido, com ela é possível dimensionar o sistema, os equipamentos e os dispositivos de proteção que serão utilizados para alimentar a propriedade.

**Tabela 1. Cargas instaladas**

Fonte: Autor.

Quantidade	Equipamento	Potência Unitária (W)	Potência Total (W)	Fator de Potência	Potência (VA)
1	Freezer	90	90	0,90	100
1	Freezer	275	275	0,90	305,55
1	TV	35	35	0,90	38,88
12	Lâmpadas	10	120	0,85	141,17
2	Ventilador	100	200	0,90	222,22
1	Condicionador de ar	850	850	0,85	1000
1	Máquina de Lavar	1000	1000	0,90	1111
<b>Total</b>			<b>1570</b>		<b>2918,82</b>

Foram realizados cálculos para dimensionar os sistemas, realizar um levantamento de custo de implantação e manutenção, fazer o levantamento de materiais e analisar a sua viabilidade. Para avaliar a viabilidade dos sistemas considerou-se o tempo médio útil dos módulos fotovoltaicos de 25 anos. Artigos foram consultados para verificar os possíveis impactos ambientais provocados pela implantação dos sistemas.

## RESULTADOS

Para realizar os cálculos foram levados em consideração três opções de atendimento a eletrificação pela concessionária por rede de transmissão e distribuição, gerador a diesel e sistema de energia solar fotovoltaica *off-grid*.

### 1.1 Opção 1: Eletrificação pela concessionária

Considerando a eletrificação da propriedade pela concessionária de energia elétrica com a utilização de cabos de transmissão MRT, foi realizado a solicitação junto a concessionária para atendimento da unidade. A solicitação foi negada, pois ainda estava em estudo a universalização da região. Mas caso fosse aprovado foi realizado o levantamento do custo de implantação, levando em consideração a distância do ponto mais próximo de 30 km. A Tabela 2 apresenta os levantamentos de custos de implantação, este levantamento foi realizado com três empresas.

**Tabela 2. Custo de implantação**

Fonte: Autor

Empresa	Custo/km	Custo total
A	R\$ 13.511,35	R\$ 405.340,50
B	R\$ 15.273,70	R\$ 458.211,00
C	R\$ 16.448,60	R\$ 493.458,00
<b>Média</b>	<b>R\$ 15.077,88</b>	<b>R\$ 452.336,50</b>

### 1.2 Opção 2: Gerador a diesel

Com a eletrificação com gerador a diesel para atender a demanda da residência de 2,92 kVA, mas esta solução já foi adquirida pelo proprietário, ele possui dois geradores a diesel de 3kVA. Esses dois geradores são utilizados de forma revezada para diminuir o tempo de manutenção, pois o local é de difícil acesso e o custo de manutenção é caro.

Uma estimativa de custo foi levantada sobre a utilização de geradores a diesel, a Tabela 3 e 4 mostram os gastos com essa forma de fornecer energia.

**Tabela 3. Custo do gerador**

Fonte: Autor

Quantidade	Item	Valor Unitário	Valor Total
2	Gerador	R\$ 4.079,00	R\$ 8.158,00

As manutenções eram realizadas a cada 2 meses e os geradores revezavam em um funcionamento de 12 horas por dia um dia sim e o outro não, os custos com manutenção, combustível e outros gastos com o gerador como troca de peças, durante um ano são os seguintes:

**Tabela 4. Custo anual**

Fonte: Autor

Quantidade anual	Item	Valor Unitário	Valor Total
6	Manutenção	R\$ 550,00	R\$ 3.300,00
3.600 litros	Diesel	R\$ 7,50	R\$ 27.000,00
-	Outos	-	R\$ 3.000,00
<b>Total</b>			<b>R\$ 33.300,00</b>

### 2.3 Opção 3: Sistema fotovoltaico *off-grid*

Para implantação do sistema fotovoltaico *off-grid* foram consideradas as cargas conforme a Tabela 6.

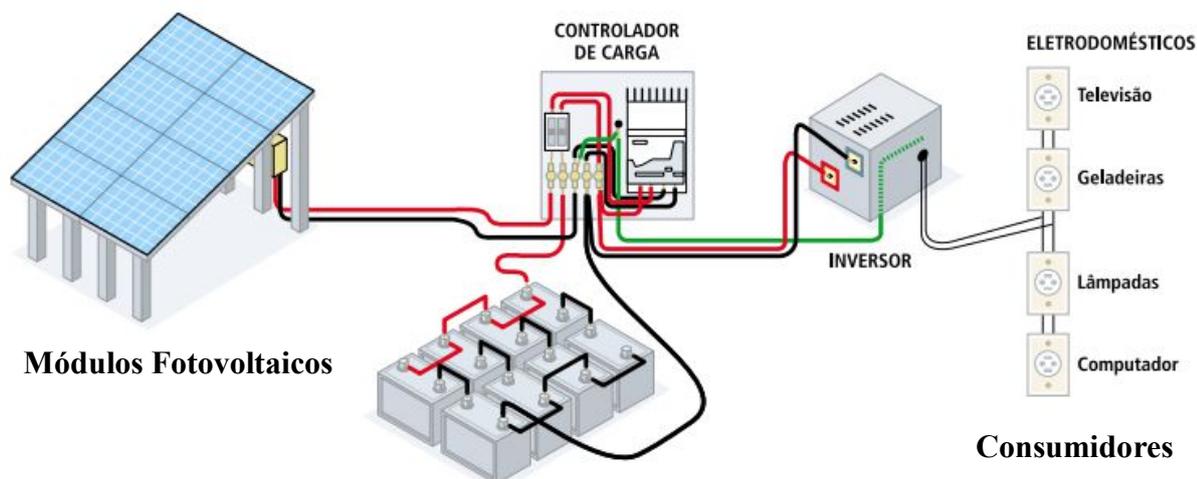
**Tabela 6. Cargas para sistema fotovoltaico**

Fonte: Autor.

Quantidade	Equipamento	Consumo W		Horas de Uso /dia	Consumo em W por dia
		Unitário	Total		
1	TV	35	35	8	280
12	Lâmpada	10	120	5	600
2	Ventilador	100	200	8	1600
1	Som	58	58	10	580
1	Freezer	90	90	17,5	1575
<b>Total do consumo W.h/dia</b>					<b>4635</b>
<b>Perda do Inversor (15%)</b>					<b>5330,25</b>

O sistema foi dimensionado para os equipamentos mais essenciais, pois o outro freezer é utilizado quando se carnea o gado e tem uma maior quantidade de carne para congelar, isso é realizado uma vez a cada dois meses, mas neste caso utiliza o gerador. O condicionador de ar é utilizado uma vez por mês quando o proprietário vai até a fazenda fazer suas visitas mensais, e fica por lá uns 4 dias e o condicionador é só utilizado no período noturno. Nesses casos é utilizado o gerador a diesel para fornecer energia para a propriedade.

Em instalações de sistemas fotovoltaicos *off-grid* são necessários módulos fotovoltaicos, controlador de carga, baterias, inversor CC-CA e consumidor. A Figura 1 mostra os principais componentes de um sistema fotovoltaico *off-grid*.



**Figura 1: Componentes do sistema fotovoltaico *off-grid*. Fonte: CRESESB, 2014.**

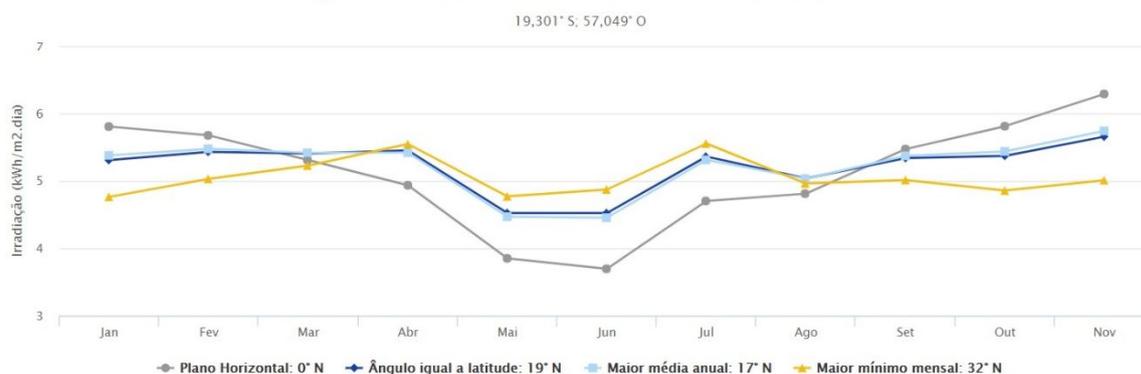
#### 2.3.1 Cálculo dos Módulos

No dimensionamento do sistema fotovoltaico foi utilizado o método da insolação para saber a quantidade de módulos necessária para atender o sistema. Neste método da insolação utilizou-se as informações do SunData para saber o potencial solar da região onde o sistema foi instalado, conforme Figura 2.

**Estação:** Corumba  
**Município:** Corumba, MS - BRASIL  
**Latitude:** 19,301° S  
**Longitude:** 57,049° O  
**Distância do ponto de ref. ( 19,248525° S; 57,020939° O ): 6,5 km**

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,81	5,68	5,31	4,94	3,85	3,70	3,85	4,70	4,81	5,47	5,81	6,29	5,02	2,59
✓	Ângulo igual a latitude	19° N	5,31	5,43	5,41	5,45	4,52	4,52	4,64	5,36	5,04	5,34	5,37	5,66	5,17	1,13
✓	Maior média anual	17° N	5,38	5,48	5,42	5,42	4,47	4,45	4,57	5,31	5,03	5,37	5,44	5,74	5,17	1,29
✓	Maior mínimo mensal	32° N	4,76	5,03	5,23	5,55	4,77	4,87	4,96	5,55	4,96	5,01	4,86	5,01	5,05	,79

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Corumba–Corumba, MS–BRASIL



**Figura 2: Insoiação da região de instalação do sistema fotovoltaico (CRESESB)**

Neste tipo de dimensionamento deve-se levar em consideração o pior mês de insoiação, pois deve ser atendido a demanda de energia em todos os dias do ano, que baseado na insoiação média e no plano de inclinação da instalação que ficou próxima de 17°, a irradiação solar escolhida para o cálculo foi a de 4,45 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

As características do módulo escolhido para a geração também são muito importantes, pois ela ajudará a definir qual a geração do sistema, a Tabela 7 mostra as características dos módulos adquiridos.

**Tabela 7. Característica dos módulos**

Fonte: Yingli Solar

Painel solar fotovoltaico Yingli - modelo YL140P-17b	
Potência	140 Wp
Tensão de máxima potência (Vmp)	18 V
Corrente da máxima potência (Imp)	7,77 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	22,5 V
Corrente do curto-circuito (Isc)	8,4 A
Área	0,99m <sup>2</sup>
Eficiência	14%

Levando em consideração a insoiação escolhida e as características dos módulos é possível saber qual a média de geração diária do sistema utilizando a fórmula.

$$E_p = E_s \cdot A_M \cdot \eta_M \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

$E_p$  = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh];

$E_s$  = Insoiação diária [Wh/m<sup>2</sup>/dia];

$A_M$  = Área de superfície do módulo [m<sup>2</sup>];

$\eta_M$  = Eficiência do módulo.

Substituindo:

$$E_p = 4450 \cdot 0,99 \cdot 14\%$$

$$E_p = 616,77 \text{ Wh}$$

Para calcular o número de módulos:

$$N = \frac{E_C}{E_p} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

N = número de módulos;

$E_C$  = Energia consumida [Wh];

$E_p$  = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh];

Substituindo:

$$N1 = \frac{3519}{616,77}$$
$$N1 = 5,70$$

$$N2 = \frac{1811,25}{616,77}$$
$$N2 = 2,94$$

De acordo com os cálculos no sistema 1 foram instalados 6 módulos e no sistema 2 foram instalados 3.

### 2.3.1 Cálculo das Baterias

O cálculo do banco de bateria do sistema fotovoltaico permite determinar os tipos de baterias, a quantidade e a forma de ligação. Para o sistema instalado foram utilizadas bateria estacionárias de 165Ah e 220Ah, pois foram montados dois bancos de baterias para atender os equipamentos instalados e a forma escolhida para ligação foi em paralelo.

Um banco de bateria será para abastecer o sistema de iluminação, TV, ventilador e som e o outro será para o freezer. A energia consumida pelo primeiro banco será de 3519 Wh e a do segundo banco será de 1811,25 Wh.

Mas as equações utilizadas para o dimensionamento são a da energia armazenada, capacidade de carga do banco e a quantidade de bateria em paralelo.

Energia armazenada:

$$E_A = \frac{E_C}{P_D} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

$E_A$  = Energia armazenada no banco de bateria [Wh];

$E_C$  = Energia consumida [Wh];

$P_D$  = Profundidade de descarga permitida (20%, 50%, 80% etc.)

Substituindo:

$$E_{A1} = \frac{3519}{50\%}$$
$$E_{A1} = 7038 \text{ Wh}$$

$$E_{A2} = \frac{1811,25}{50\%}$$
$$E_{A2} = 3622,50 \text{ Wh}$$

Capacidade do banco:

$$C_{BANCO} = \frac{E_A}{V_{BANCO}} \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:

$C_{BANCO}$  = Capacidade de carga do banco de baterias em ampère-hora [Ah];

$E_A$  = Energia armazenada no banco de baterias [Wh];

$V_{BANCO}$  = Tensão do banco de baterias [V].

Substituindo:

$$C_{BANCO1} = \frac{7038}{12}$$
$$C_{BANCO1} = 586,5 \text{ Ah}$$

$$C_{BANCO2} = \frac{3622,5}{12}$$
$$C_{BANCO2} = 301,87 \text{ Ah}$$

Números de Bateria em paralelo:

$$N_{BP} = \frac{C_{BANCO}}{C_{BAT}}$$

equação (5)

Sendo:

$N_{BP}$  = Números de baterias ligadas em paralelo;

$C_{BANCO}$  = Capacidade de carga do banco de baterias em ampère-hora [Ah];

$C_{BAT}$  = Capacidade de carga de cada bateria [Ah].

Substituindo:

$$N_{BP1} = \frac{586,5}{165}$$

$$N_{BP1} = 3,55 \cong 4$$

$$N_{BP2} = \frac{301,87}{220}$$

$$N_{BP2} = 1,37 \cong 2$$

De acordo com os cálculos foram instalados para o primeiro banco 4 baterias de 12V/165Ah e para o segundo 2 baterias de 12V/220Ah.

### 2.3.1 Definição do Controlador de Carga

Para definir as especificações dos controladores de carga leva-se em conta dois parâmetros, a tensão de operação e a corrente elétrica máxima fornecida pelos módulos. A tensão escolhida foi de 12V e a corrente elétrica dos módulos é de 8,12 A, como será instalado dois conjuntos de módulos e dois bancos de baterias, também serão utilizados dois controladores. Neste caso, os módulos são ligados em paralelo e a corrente máxima será  $6 \times 8,4 = 50,4$  A e  $3 \times 8,4 = 25,2$  A. Com esses valores de corrente elétrica serão necessários dois controladores um de 60 A e outro de 30A.

### 2.3.2 Definição do inversor CC-CA

A definição do inversor CC-CA depende das cargas instaladas e da previsão de aumento de carga, neste caso, cada sistema ficou com um inversor CC-CA de 1000W/110V, atendendo desta forma os dois bancos de baterias.

### 2.3.3 Organização do sistema

A Figura 3 mostra a organização sistema de acordo com os equipamentos utilizados.

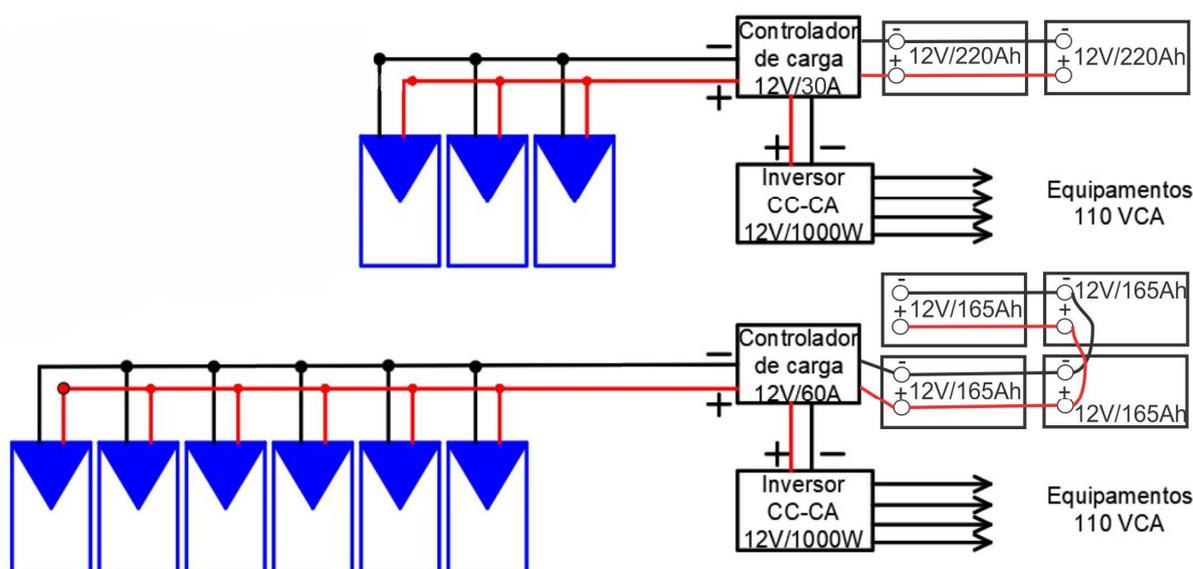


Figura 3: Organização do sistema fotovoltaico instalado. Fonte: Autor.

### 2.3.4 Custo do sistema fotovoltaico

Os gastos para a implantação do sistema fotovoltaico *off-grid* são descritos na Tabela 8.

**Tabela 8. Custo de implantação sistema fotovoltaico**

Fonte: Autor.

Quantidade	Item	Valor Unitário	Valor Total
9	Módulos 140 Wp	R\$ 520,00	R\$ 4.680,00
4	Bateria estacionária 165 Ah	R\$ 1.180,00	R\$ 4.720,00
2	Bateria estacionária de 220 Ah	R\$ 1.400,00	R\$ 2.800,00
1	Controlador de carga de 60 A	R\$ 699,00	R\$ 699,00
1	Controlador de carga de 30 A	R\$ 298,00	R\$ 298,00
2	Inversor CC-CA 1000W/110V	R\$ 1.180,00	R\$ 2.360,00
1	Kit de estrutura	R\$ 2.544,00	R\$ 2.544,00
1	Cabos e conectores	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00
1	Instalação	R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00
<b>Total</b>			<b>R\$ 23.901,00</b>

O sistema fotovoltaico *off-grid* tem um custo de manutenção baixa, se for mantido as condições do consumo e das cargas instaladas. As manutenções a serem realizadas são as limpezas dos módulos a cada 2 anos, substituição das baterias a cada dois anos e substituição dos inversores a cada 7 anos. Considerando esses fatores a cada dois anos o proprietário terá um custo de R\$ 8.520,00, referente a substituição das baterias e limpeza dos módulos, mais a troca dos inversores a cada 7 anos no valor de R\$ 2.360,00.

## 2. Análise de custos

A análise de viabilidade é feita de acordo com os custo de implantação e manutenção em um período de 25 anos, que é o tempo de vida útil dos módulos fotovoltaicos. De acordo com os dados da Tabela 9, a implantação do sistema solar fotovoltaico *off-grid* é muito mais acessível e econômico de ser adquirido.

**Tabela 9. Custo de implantação durante 25 anos**

Fonte: Autor

Opção 1: Eletrificação pela concessionária	Opção 2: Gerador a diesel	Sistema fotovoltaico off-grid
R\$ 452.336,50	R\$ 832.500,00	R\$ 138.830,00

Com os resultados obtidos foi possível verificar que a implantação de um sistema de energia fotovoltaica é mais viável economicamente e ambientalmente, comparado as outras formas de eletrificação na região do Pantanal, pois seu tempo de operação é alto, os custos com manutenção são baixos. Além de não causar impactos ambientais como degradação do meio ambiente emitindo de gases nocivos e colocando em risco a fauna e flora.

## CONCLUSÕES

Com a implantação do sistema solar fotovoltaico off-grid e considerando a utilização do gerador de forma esporádica, o proprietário terá uma economia neste período de vinte e cinco anos de aproximadamente R\$ 690.000,00. Considerando está análise sobre a implantação de sistemas fotovoltaicos *off-grid* para eletrificação residencial na região do pantanal sul-mato-grossense ainda é a melhor solução, pois os custos para implantar outra forma de energia são inviáveis. Além de ser uma geração limpa sem degradar o meio ambiente com a emissão de gases nocivos e sem alterar os aspectos da região com a instalação de linhas de transmissão.

A utilização de energias renováveis na região do Pantanal sul-mato-grossense é muito importante, devido a sua biodiversidade de fauna e flora, que não podem ser prejudicados por causa da instalação de equipamentos para geração de energia elétrica que causem impactos ambientais.

Recomenda-se um estudo sobre os impactos que causariam se fosse instalado linhas de transmissão na região do pantanal sul-mato-grossense.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações – São Paulo: Érica, 2012.
- CRESESB. Energia Solar – princípios e Aplicação. Centro de Referência para energia solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2006.
- CEPEL-CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, Edição especial, PRC-PRODEEM, Rio de Janeiro, agosto de 2004.

4. PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco António. Manual de Engenharia para sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, CEPEL – CRESESB, edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro, março de 2014.
5. KOSLOWSKI1, L.A.D., SCHROEDER, T., JANTSCH, L.R., MEDEIROS, S.H.W., VAZ, C. Estudo dos gases da combustão provenientes do diesel S 10 e S 50. Bento Gonçalves – RS, 2014.