

Análise de viabilidade da utilização de energia solar fotovoltaica para o bombeamento de água na comunidade de Itaitu, Jacobina-BA

Analysis of the feasibility of the use of solar photovoltaic energy for water pumping at Itaitu, Jacobina-BA

**Gustavo Ellias de Carvalho Alves^{1,2}, Vagson Luiz de Carvalho Santos¹,
Delfran Batista dos Santos¹**

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - Campus Senhor do Bonfim,

²Centro de Especialização Técnica - CETEC - Jacobina - BA

Resumo

A geração fotovoltaica tem surgido como uma alternativa de fornecimento de energia sustentável, notadamente em localidades isoladas onde investimentos na expansão da rede convencional de energia elétrica têm custos proibitivos, normalmente proporcionados pela distância, acidentes geográficos, ou ainda, pela baixa quantidade de energia elétrica requerida. Este artigo tem como objetivo dimensionar sistemas de abastecimento de água utilizando energia solar fotovoltaica economicamente viáveis voltados para a agricultura familiar. Estes sistemas permitirão que o público beneficiado continue produzindo o necessário para a sobrevivência, e com a facilidade do manejo da água, a possibilidade do aumento e diversificação da produção. Neste trabalho é construído um simulador de um painel fotovoltaico e realizado separadamente um estudo de viabilidade econômica para a aquisição do sistema. Não levando em consideração os reajustes econômicos comuns aos sistemas abastecimento de energia elétrica convencional e fotovoltaico, o agricultor consegue em dez anos o retorno do investimento da aquisição dos equipamentos solares.

Palavras-chave Energia Solar Fotovoltaica, Água, Agricultura Familiar.

Abstract

The photovoltaic generation has emerged as an alternative of sustainable energy supply, especially in isolated locations where the investments at network conventional electricity expansion has prohibitively costs, usually provided by distance, geographical accidents, or even by the low amount of electricity required. This article aims to scale water supply systems using economically viable photovoltaic solar energy focused on the familiar agriculture. These systems allows the benefited public to continue producing the necessary for survival, and with the ease of water management, the possibility of production increasing and diversifying. In this work a photovoltaic panel simulator is built, and separately we do an economic feasibility study for the system acquisition. Disregarding the common economic adjustments to the electricity supply between conventional and photovoltaic systems, the farmer can get in ten years the investment return of the solar equipment.

Keywords Photovoltaic Solar Energy, Water, Familiar Agriculture.

1 Introdução

Muitas propriedades e comunidades rurais no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, não são atendidas com energia elétrica, pois estão distantes das centrais de geração de eletricidade. Uma das possibilidades para a garantia do suprimento de energia elétrica nessas propriedades ou comunidades rurais isoladas seria a implantação de sistemas energéticos baseados em fontes alternativas de energia. Dentre elas, a energia solar é uma das mais promissoras, podendo ser utilizada no aquecimento de água por meio dos coletores termossolares e na geração de eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos para iluminação e bombeamento de água [1].

O dispositivo conversor da energia solar em eletricidade é chamado de célula fotovoltaica, e a associação dessas células compõe os chamados painéis fotovoltaicos. A maior ou menor capacidade de geração de energia utilizando-se de painel fotovoltaico depende do arranjo dos painéis, em série ou paralelo, e da radiação solar local, a qual tem influência direta na corrente elétrica [2].

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de materiais semicondutores na presença da luz solar. A eficiência da conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula e a quantidade efetiva de energia elétrica que é produzida. Atualmente, cientistas do Laboratório de Energia Renováveis dos Estados Unidos propuseram uma nova estrutura de célula solar que atinge uma eficiência de até 40%, que é o dobro das melhores células fotovoltaicas disponíveis comercialmente [3].

Para LOXSOM e DURONGKAVEROJ [4], um sistema fotovoltaico de bombeamento diretamente acoplado é constituído de três componentes principais: um conjunto fotovoltaico, um motor de corrente contínua e uma bomba d'água. O painel fotovoltaico converte energia solar em corrente elétrica que alimenta o motor, o qual é acoplado à bomba d'água. Quando o painel supre o motor com potência elétrica suficiente, ele produz torque mecânico e a bomba começa a trabalhar.

O rendimento e capacidade de bombeamento dos sistemas fotovoltaicos são particularmente dependentes de certas condições de trabalho. Conforme SILVA [5], a radiação solar aplicada sobre o módulo gera energia elétrica para o bombeamento de água, e a vazão bombeada mantém relação com a altura manométrica e capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos.

1.1 Motivação

No momento em que o ser humano descobre o fogo, passando a ser capaz de impulsionar máquinas e realizar trabalho, é conduzido a um enorme avanço tecnológico e, conseqüentemente, a uma dependência cada vez maior de matéria e energia [6]. Dessa forma, muitos conhecimentos e ganhos tecnológicos assimilados pelo homem centraram-se na busca da apropriação e controle da conversibilidade da energia, ou seja, do processo de obtenção da energia na conformação que se ajuste às suas demandas [5].

Contudo, é grande a preocupação com uma futura falta de energia para atender a demanda gerada pela humanidade, bem como os impactos ambientais de muitas formas de captação da mesma. O sol é uma fonte de energia renovável, sendo o aproveitamento dessa energia, tanto como fonte de calor quanto de luz, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio [7]. Estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial [8].

O maior desafio do setor energético no Brasil, além de evitar a crise de abastecimento a partir de 2013, é suprir a demanda de energia que afeta diretamente 20 milhões de pessoas que vivem no meio rural e em condições de pobreza. Segundo ORTIZ [9], as fontes necessárias

para que esse desafio seja alcançado são as fontes renováveis de energia, que são singularmente importantes, pois permitem a inserção econômica e social de populações isoladas e excluídas, gerando medidas estruturais de emprego e renda com custos ambientais locais e globais.

Os extremos da região Nordeste mostram, de um lado a miséria dos habitantes rurais e das comunidades isoladas, e de outro a abundância de sol. O potencial solar desta região é de 20,5 %, ocupando o segundo lugar do total do potencial solar do Brasil [10]. Nesse contexto, acreditamos que estes fatores incentivam a necessidade de implantação de sistemas fotovoltaicos isolados de baixa potência em propriedades distantes de centros urbanos e, consequentemente, não recebendo a energia elétrica fornecida por concessionárias. Dessa forma, pretende-se desenvolver um simulador de um painel fotovoltaico sob condições climáticas específicas e, separadamente, um estudo de viabilidade econômica para a aquisição do sistema, objetivando promover a disseminação da tecnologia solar fotovoltaica para o bombeamento de água para pequenos agricultores.

A área de estudo onde foram feitos os levantamentos de dados de radiação solar direta e temperatura está localizada no extremo norte da Chapada Diamantina, entre as coordenadas 11°10'50" de latitude sul, e 40°31'06" de longitude oeste, apresentando níveis de radiação solar entre 600 e 1000 W/m². Apesar da geografia privilegiada, rica em serras, morros e lagos, o território do Piemonte da Diamantina é uma das regiões mais pobres e com menor grau de urbanização da Bahia. Todos os investimentos previstos para essa região dizem respeito ao complexo mineral (cimento em Campo Formoso, cobre em Jaguarari e ouro em Jacobina). Além da mineração, que inclui o garimpo de esmeraldas, a região possui como importante atividade a pecuária, com a criação de bovinos, ovinos e caprinos, com grande potencial de crescimento. Outra atividade importante diz respeito à produção de sisal [11].

Os solos apresentam relativa capacidade de exploração agrícola, sendo propício a culturas como a mamona, milho, feijão e a mandioca, especialmente nos anos com precipitação pluviométrica razoável (acima de 800mm).

A população rural nos municípios desta região é formada, em sua maioria, por pequenos agricultores, que possuem múltiplas formas de organização social: comunidades de pequenos agricultores, fundos e fecho de pasto, quilombolas, assentamentos de reforma agrária, ocupações e acampamentos de trabalhadores sem-terra.

Na microrregião de Jacobina, cidade sede do território, tem-se a ocorrência de áreas de grotas com um microclima peculiar, os chamados "pés de serra". Essas áreas possuem maior umidade, o que proporciona o cultivo econômico de manga, abacate, banana, fumo e também oleícolas que têm seu consumo garantido no próprio mercado local. Esses produtos tem boa aceitação dos consumidores, por serem geralmente livres de agrotóxicos e produtos químicos em geral [11].

Assim, propomos como principais objetivos deste trabalho a descrição e o dimensionamento dos principais elementos que compõem um sistema fotovoltaico de baixa potência (até 260 W), bem como desenvolver uma rotina em Matlab para a simulação do arranjo fotovoltaico comercial escolhido para o sistema, considerando as características meteorológicas locais. Finalmente, realizamos a demonstração do tempo de retorno do investimento com a economia de energia elétrica.

2 Modelo Teórico

2.1 Modelo Elétrico de um Painel Fotovoltaico

Para implementar o modelo de simulação é necessário estudar os fenômenos associados ao funcionamento de um painel fotovoltaico. Na Figura 1 apresenta-se as curvas características de corrente e potência de um painel fotovoltaico em função da tensão aplicada.

O modelo elétrico de um painel fotovoltaico ideal é mostrado na Figura 2, que mostra que a corrente I fornecida pelo painel a uma determinada carga é correspondente à associação de uma fonte de corrente contínua, I_{ph} , em paralelo com um diodo, o módulo de I_{ph} é proporcional ao nível de radiação, G , que incide sobre a célula e o comportamento da corrente pela junção PN é representado pela corrente do diodo, I_d [12].

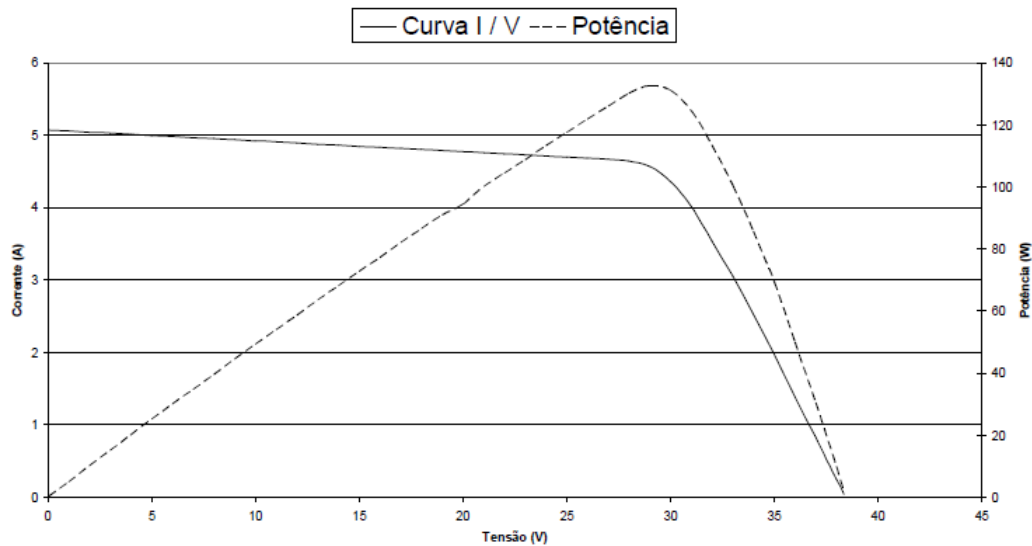


Figura 1: Curvas equivalentes de um painel fotovoltaico

O desempenho de um painel real difere do ideal, uma vez que este não apresenta todas as características que se esperam encontrar num painel real, principalmente por não representar as perdas de condução e de material, sendo esta última relacionada à forma do silício [13]. Os fatores de perdas do painel real podem ser representados através do esquema mostrado na Figura 2, pelas resistências em série e em paralelo inseridas no modelo ideal.

Assim, o painel fotovoltaico é modelado por uma fonte de corrente cujo valor depende da variação da radiação solar e da temperatura do painel, por um diodo em paralelo com a fonte de corrente cuja característica varia em função da temperatura do painel e do estado em que se encontra o painel (carga aplicada a este), por uma resistência, R_p , em paralelo com o diodo que caracteriza as correntes de fuga e, finalmente, por uma resistência R_s na saída que caracteriza as perdas de condução.

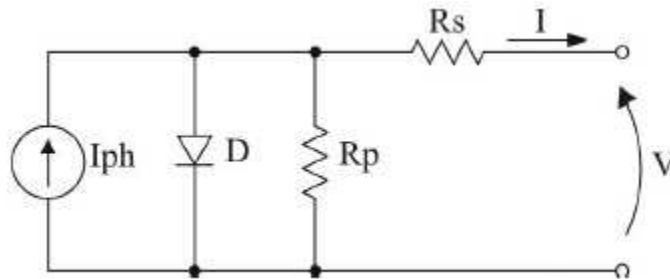


Figura 2: Circuito equivalente de um painel solar. (I_{ph} : corrente fotogerada; D : diodo; R_p : resistência em paralelo com o diodo D ; R_s : resistência em série com o diodo D , I : corrente de saída do painel; V : tensão do sistema)

Uma vez apresentado o esquema elétrico equivalente de um painel fotovoltaico pode-se agora associar, a cada elemento do circuito, a respectiva equação. As equações que expressam as curvas

I-V de um painel fotovoltaico, representado pelo circuito dado na Figura 2, são as seguintes [12]:

$$I = I_{ph} - I_d - I_r \quad (1)$$

Onde:

I : Corrente de saída do painel;

I_{ph} : Corrente fotogerada;

I_d : Corrente do diodo;

I_r : Corrente relativa à perda em paralelo;

enquanto a corrente fotogerada é definida como [12]:

$$I_{ph} = [I_{sc} + J_o(T - T_{ref})] \cdot \frac{S}{S_{ref}} \quad (2)$$

A fonte de corrente dependente, I_{ph} , na equação (2), varia em função da radiação solar e da temperatura a que se encontra o painel, onde I_{sc} é a corrente de curto-circuito do painel, J_o o coeficiente de temperatura, T a temperatura do módulo fotovoltaico, T_{ref} a temperatura de referência, S é a radiação solar em W/m^2 e S_{ref} a radiação solar de referência [12].

A corrente do diodo, I_d , em paralelo com a fonte de corrente apresenta um comportamento não linear dependente da temperatura do painel bem como do estado de funcionamento em que este se encontra. Esta é equação principal associada ao diodo e é escrita na forma:

$$I_d = I_o \cdot \left[\exp \left(\frac{q \cdot (I \cdot R_s + V)}{N_s \cdot n \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right], \quad (3)$$

onde a variável I_o é a corrente de saturação inversa do diodo, n é o fator de idealidade da junção e N_s o número de células em série, isto é:

$$I_o = I_{DO} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \cdot \exp \left\{ \frac{q \cdot E_g}{n \cdot K} \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right\} \quad (4)$$

Por fim escrevemos as equações associadas à variável I_{DO} , que é uma constante dependente apenas das características fixas do painel, sendo E_g a banda de energia do semicondutor, V_{OC} e K a constante de Boltzmann, I_{DO} pode ser expressa como [12]:

$$I_{DO} = \frac{I_{SC}}{\exp \left[\left(\frac{q \cdot V_{OC}}{n \cdot K \cdot T \cdot N_s} \right) - 1 \right]} \quad (5)$$

As características elétricas de um painel são influenciadas diretamente por dois fatores climáticos: intensidade de radiação solar e temperatura das células. Para o desenvolvimento do simulador de um módulo fotovoltaico, deve-se observar no modelo matemático o comportamento destas variáveis em função das médias observadas no local proposto para implantação.

A corrente gerada pelo módulo apresenta poucas variações com a alteração da temperatura da célula fotovoltaica, ao contrário da tensão de circuito aberto, que varia de forma mais significativa.

Ao contrário do caso anterior, com a variação da intensidade da radiação solar incidente em um painel fotovoltaico ocorre uma variação proporcional na corrente gerada. Com a diminuição da radiação incidente, ocorre um deslocamento para baixo do ponto de máxima potência.

2.2 Análise da Viabilidade Econômica

O gerenciamento dos custos em qualquer atividade pode orientar o gestor no sentido de identificar os gastos na cadeia produtiva e calcular seus rendimentos, assim como o custo total de produção, além de permitir que se determine o volume do negócio e indicar o melhor momento para se ofertar ou comprar produtos. Porém, para que as decisões sejam realmente efetivas e eficazes, se faz necessário contabilizar os custos do processo e analisá-los em conjunto.

Muitos são os modelos contábeis e as formas de se registrar custos, porém, o sistema implantado deve ser escolhido para facilitar a organização, ou seja, precisa ir de encontro as próprias características do modelo em questão [14]. Segundo CREPALDI [15], o custeio variável fundamenta-se na separação dos gastos em gastos variáveis e gastos fixos, isto é, em gastos que oscilam proporcionalmente ao volume da produção/vendas e gastos que se mantêm estáveis perante o volume de produção/vendas oscilantes dentro de certos limites. Este método é uma ferramenta importante no auxílio a tomada de decisão na gestão de empresas, pois fornece informações para uma melhor análise do desempenho destas.

3 Métodos e Técnicas

Para o dimensionamento do conjunto de bombeamento fotovoltaico, faz-se necessário estudar o comportamento da corrente elétrica fornecida pelo painel à carga e da potência em função das condições externas locais (temperatura e incidência de radiação solar). Para a escolha do painel e das baterias, basta estimar a potência das cargas instaladas, dividir pela tensão do sistema e multiplicar pela quantidade de horas diárias de funcionamento, obtendo-se assim, a capacidade de geração de corrente necessária. A tensão de trabalho do sistema será a mesma tensão do controlador de carga e do inversor.

O mapa abaixo [16] mostra a média anual do total diário de radiação solar incidente no território brasileiro (Figura 3). O valor máximo de radiação ocorre na região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco.

Visando então demonstrar a viabilidade do aproveitamento da energia solar na região, foi desenvolvido um programa em Matlab que simulasse as curvas associadas às equações com as características externas locais.

Tomando as equações (1)-(5), e aplicando-se mais uma vez a lei de Ohm, obtém-se:

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left[\exp \frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot T} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (6)$$

Onde:

V : Tensão nos terminais do painel;

I : Corrente fornecida pelo painel;

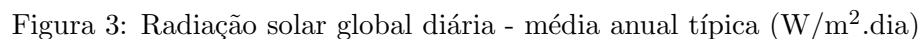
q : Carga do elétron;

Não se pode resolver algebricamente a equação (6), pois a corrente I não pode ser isolada. Para a solução desta equação, escolhemos o método de Newton-Raphson, que consiste de um método numérico muito utilizado no cálculo de raízes e funções. O método de Newton-Raphson é um método iterativo, dado pela seguinte relação [12].

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}, \quad (7)$$

onde n representa a n -ésima iteração do algoritmo usado e $f'(x_n)$ é a derivada da função $f(x)$ no ponto x_n . Sendo assim, deve-se reescrever a equação (6), para a aplicação do método, na forma:

$$f(I) = -I + I_{ph} - I_o \cdot \left[\exp \frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot T} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (8)$$


$$f'(I) = -1 - I_o \cdot \left[\exp \frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot T} \right] \cdot \frac{q \cdot R_s}{n \cdot K \cdot T} - \frac{R_s}{R_p} \quad (9)$$

Uma vez demonstrada a eficiência energética do sistema na região, deve-se então analisá-lo economicamente, prevendo os custos e o tempo de retorno do investimento. De posse do valor a ser pago durante a vida útil de um sistema, basta saber a quantidade de energia produzida por ele durante este período para que a comparação possa ser feita em relação à fonte convencional de fornecimento de energia elétrica, dada pela equação:

$$E_{FV} = E_{FV/dia} \cdot n_d \cdot n_a \quad (10)$$

E_{FV} : energia fotovoltaica em 30 anos (kWh);
 $E_{FV/dia}$: energia fotovoltaica por dia (kWh);
 n_d : número de dias em um ano;
 n_a : número de anos;

7

suas substituições até o final da vida útil. O valor final do empreendimento conta com: uma vez o custo do painel solar, seis vezes o custo do banco de baterias, três vezes o custo do controlador de carga e três vezes o custo do inversor de frequência [18].

$$V_{Total} = 1 \cdot V_{painéis} + 6 \cdot V_{baterias} + 3 \cdot V_{controladores} + 3 \cdot V_{inversores} \quad (11)$$

Onde:

V_{Total} : valor total dos componentes do sistema solar em 30 anos (moeda);

$V_{painéis}$: valor dos painéis fotovoltaicos (moeda);

$V_{baterias}$: valor das baterias (moeda);

$V_{controladores}$: valor dos controladores (moeda);

$V_{inversores}$: valor dos inversores (moeda);

Inicialmente foi feito um levantamento sobre o preço médio de mercado do conjunto básico de iluminação e bombeamento fotovoltaico, com capacidade para abastecer uma família de até 04 pessoas:

- 01 módulo solar fotovoltaico, capacidade de geração de 38,15 Ah/dia, com capacidade para alimentar uma bomba com vazão média de 800 l/dia; conjunto ambientalmente protegido de células solares interligadas utilizado para a geração de energia elétrica em corrente contínua;
- 01 controlador de carga 10A, tensão de alimentação 12/24V: equipamento necessário para a proteção da bateria contra sobrecarga ou descarga;
- 01 inversor, tensão de entrada 12VCC e tensão de saída 110VCA: equipamento necessário para converter a carga contínua acumulada na bateria em carga alternada, de forma a possibilitar a utilização de eletrodomésticos convencionais;
- 02 baterias estacionárias, capacidade de carga de 150A/h: dispositivo que irá armazenar energia quando esta não estiver sendo solicitada a plena carga;

Os serviços de perfuração do poço, instalação do reservatório, instalação do sistema e aquisição da bomba estão embutidos nos custos globais, pois são itens semelhantes e indispensáveis, independentes da fonte de energia elétrica.

Com a quantidade de energia produzida em 30 anos dada pela equação (10) e o valor total do sistema previsto por (11), pode-se então efetuar o estudo de retorno do investimento, considerando-se tanto os investimentos iniciais quanto uma previsão sobre custos de operação e manutenção ao longo da vida útil da instalação. Os seguintes parâmetros foram considerados na análise, de acordo com o ISECMAR [18]:

- vida útil do sistema: 30 anos;
- vida útil dos módulos solares: 30 anos;
- vida útil do controlador e inversor: 10 anos;
- vida útil da bateria: 05 anos;
- custo de investimento do sistema: R\$ 2.198,00 (orçado);
- custo do kwh rural na região: R\$ 0,40 (COELBA 2013);

4 Resultados e Discussões

Os gráficos apresentados na Figura 4 mostram as curvas da resposta do sistema fotovoltaico em função das características do sistema (temperatura do painel e radiação solar incidente). Os dados de radiação solar foram retirados do Atlas Brasileiro de Energia Solar [16], produto do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), um modelo físico para obtenção de estimativas da radiação solar incidente na superfície.

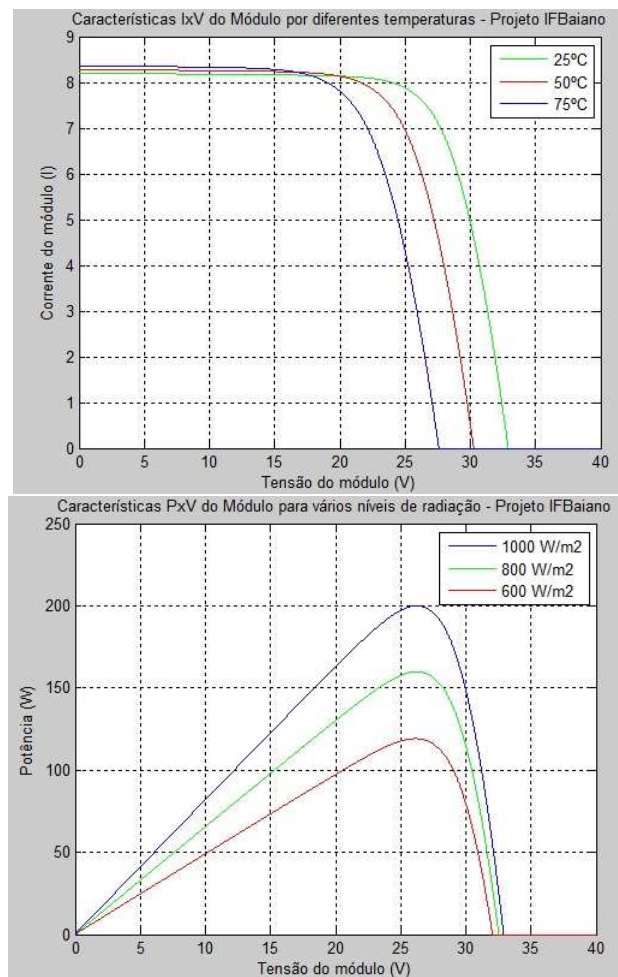


Figura 4: Curvas típicas de corrente e potência do módulo fotovoltaico

O custo estimado de cada equipamento para a implantação do projeto é indicado na Tabela 1. Fazendo uma estimativa para um período de trinta anos, que no caso seria um ciclo completo de vida de todos os equipamentos envolvidos, conforme descrito anteriormente e levando em consideração os custos de implantação e de manutenção, temos a situação indicada na Tabela 2.

Como comparativo, não levando os eventuais reajustes comuns aos dois sistemas (geração convencional e fotovoltaica) durante os trinta anos, pode-se observar, pela Figura 7, que o custo do investimento do sistema fotovoltaico pelo tempo. Para o cálculo do custo do sistema convencional foi estimado um consumo mensal de 47kWh, obtido pelo produto da potência das cargas instaladas pelo tempo de funcionamento mensal do sistema.

Equipamento	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Módulo solar fotovoltaico	Placa	1	R\$ 957,00	R\$ 957,00
Controlador de carga 10A	Peça	1	R\$ 350,00	R\$ 350,00
Conversor de tensão	Peça	1	R\$ 235,00	R\$ 235,00
Bateria estacionária	Peça	2	R\$ 178,00	R\$ 356,00
Cabos e acessórios	-	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Total				R\$ 2.198,00

Tabela 1: Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico autônomo

Equipamento	Durabilidade	Quantidade em 30 anos	Valor Unitário	Valor Total
Módulo solar fotovoltaico	Placa	1	R\$ 957,00	R\$ 957,00
Controlador de carga 10A	Peça	3	R\$ 350,00	R\$ 1.050,00
Conversor de tensão	Peça	3	R\$ 235,00	R\$ 705,00
Bateria estacionária	Peça	12	R\$ 178,00	R\$ 2.136,00
Cabos e acessórios	-	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Total				R\$ 5.148,00

Tabela 2: Custo do sistema fotovoltaico autônomo para 30 anos

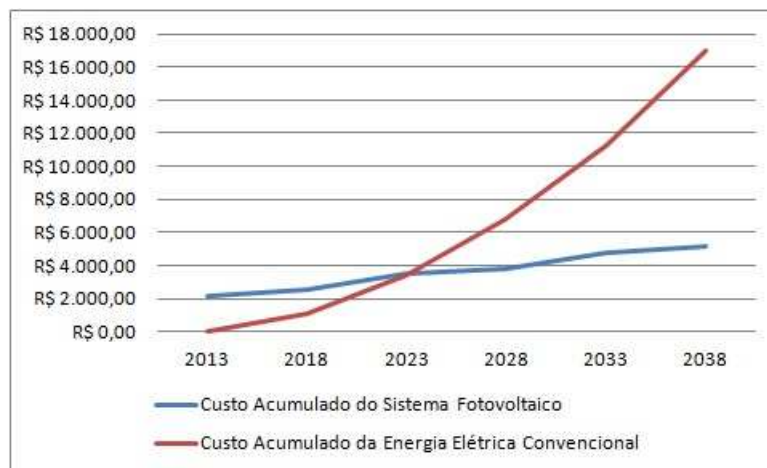


Figura 5: Custo dos sistemas fotovoltaico e convencional para 30 anos

5 Conclusões e Perspectivas

A falta de energia elétrica ocasionada pela distância das redes de distribuição convencionais, associada à distribuição desuniforme de água e nutrientes, atrasa o desenvolvimento de pequenos produtores em todo o país. Ações emergenciais do governo federal com o intuito de minimizar os fortes efeitos da seca têm se tornando uma constância nos últimos anos. São medidas corretivas que, por falta de planejamento, custam bem mais do que projetos viáveis que não conseguem sair do papel por falta de incentivo financeiro. Por outro lado, programas como o Um Mhão de Cisternas, por exemplo, leva estrutura para captação de água de chuva para cerca de 5 milhões de pessoas no semiárido. É certo de que um grande número de famílias não conta com eletricidade

para bombear esta água para uma caixa elevada ou diretamente para a plantação. Um protótipo básico de bombeamento com energia fotovoltaica seria uma alternativa a esse problema, que poderia ser vinculado a um programa como esse. Os resultados obtidos na simulação do modelo matemático demonstram a eficiência da geração de energia solar fotovoltaica na região estudada. As curvas dos gráficos de corrente e potência dos módulos em função das características locais se assemelham às curvas ideais dos fabricantes de painéis solares, comprovando por definitivo que mesmo em períodos com menor incidência de radiação solar o sistema consegue a resposta para a geração de corrente elétrica.

O considerável valor do investimento inicial do pequeno agricultor é compensado pela gratuitidade da energia solar fotovoltaica e a longa vida útil do sistema. Os resultados mostram que somente com a economia de energia o sistema se paga nos dez primeiros anos.

Espera-se que com a facilidade da água e energia elétrica os agricultores envolvidos neste projeto possam aumentar em quantidade e qualidade a produtividade, bem como buscar sua diversificação, o que irá também compensar o investimento inicial do sistema. A geração limpa e gratuita de energia elétrica, além da produção familiar continuada e estável levará, consequentemente, a importantes resultados.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq e INSA através do Edital 35/2010; e ao IF-Baiano através do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Semiárido com Ênfase em Recursos Hídricos (DSSERH), por oportunizar o desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- [1] KOLLING E. *et al*”, *Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água*, Ed. Engenharia Agrícola, São Paulo (2004)
- [2] ALMEIDA L.M.G.; PERDIGÃO M.S.D.; FRANCISCO N.M.T., *Painéis solares activos*, Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais (1999)
- [3] Inovação Tecnológica, <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias>, acesso em 19 de janeiro de 2013
- [4] LOXSOM F.; DURONGKAVEROJ P., *Estimating the performance of a photovoltaic pumping system*, Ed. Solar Energy, Oxford (1994)
- [5] SILVA C.D., *Potência gerada e eficiência dos módulos fotovoltaicos em função da radiação global incidente para bombeamento de água*, Seminário de Energia na Agricultura, Minas Gerais (2000)
- [6] BRAGA B. *et al*, *Introdução à Engenharia Ambiental. O desafio para o desenvolvimento sustentável*, 2ª Ed., Pearson Prentice Hall, São Paulo (2005)
- [7] DYSON F., *O Sol, o Genoma e a Internet*, Companhia as Letras, São Paulo (2001)
- [8] CRESESB, *Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito*, CEPTEL, Rio de Janeiro (2000)
- [9] ORTIZ, L. S., *Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética Opção para uma política energética sustentável no Brasil*, Fundação Heinrich Boll, Brasília (2002)

-
- [10] VANNI, S. R., *Estudo da Viabilidade Econômica de Fontes Alternativas de Energia de uma Comunidade Típica da Região Nordeste do Brasil*, IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo (2008)
 - [11] CASTRO, A. C et al, *Diagnóstico dos Impactos Negativos da Atividade Minerária na Microrregião Econômica do Piemonte da Diamantina*, Diocese de Senhor do Bonfim, Senhor do Bonfim (2012)
 - [12] MARQUES, J. P. P. T., *Modelação e Controle de Conversor DC/AC para interligação de painéis fotovoltaicos à Rede*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Lisboa (2009)
 - [13] PATEL M. R., *Wind and Solar Power Systems Design Analysis and Operation*", CRC Press Taylor e Francis Group, New York (2006)
 - [14] BORNIA A.C., *Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas.*, Artmed Editora, São Paulo (2001)
 - [15] CREPALDI S. A, *Contabilidade gerencial 2.*, Atlas, São Paulo (2002)
 - [16] PEREIRA E. B. et al, *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo (2006)
 - [17] SHAYANI R.A.; OLIVEIRA M.A.G.; CAMARGO I.M.T, *Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais*, V CBPE - Congresso Brasileiro de Políticas Públicas para Energia, Brasília (2006)
 - [18] Wind Project, <http://www.isecmarwind.com>, ISECMAR - Instituto Superior de Engenharia e Ciências do Mar, acesso em 11 de janeiro de 2013