

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Fábio Nascimento Barbosa, emailsparafabio@gmail.com.br¹
Felipe Diniz da Silva, dinizfelipe95@gmail.com²
Alexandre Luiz Amarante Mesquita, alexmesq@ufpa.br^{1,2}
Andrey Maciel Araújo da Silva, andreymaciel468@gmail.com²
Sérgio Aruana Elarrat Canto, aruana@ufpa.br²
Fábio Antônio do Nascimento Setúbal, fabioans@ufpa.br²
Sérgio de Souza Custódio Filho, custodio@ufpa.com²
João Aberides Ferreira Neto, joaoafneto@ufpa.br²

¹Universidade Federal do Pará, NDAE, Campus de Tucuruí. Tucuruí-PA, 68.464-000

²Universidade Federal do Pará, ITEC, R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém-PA, 66.075-110

Resumo: A geração de energia solar vem ganhando competitividade econômica quando comparada as demais fontes de energia renováveis, em razão da abundante captação de energia através do sol assim como a diminuição dos custos com tais projetos. Dentre as aplicações da energia solar, o bombeamento de água utilizando essa fonte de energia apresenta-se como uma alternativa viável, pois exibe alta capacidade de bombeamento com um sistema que requer pouca manutenção e um custo que está decrescendo devido ao crescimento da tecnologia do setor. Neste contexto, em meio à necessidade de sistemas de abastecimento de água às famílias que vivem em comunidades amazônicas, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o dimensionamento de um sistema de bombeamento de água utilizando energia solar. O dimensionamento do sistema neste trabalho é aplicado para uma residência de uma família ribeirinha localizada na cidade de Limoeiro do Ajurú-PA, e leva em consideração o cálculo da vazão de consumo diário da família, a definição da potência de bombeamento, o sistema fotovoltaico e os seus principais componentes para o fornecimento de energia necessária ao bombeamento de água. Constatou-se que a aplicação da energia solar para bombeamento de água é eficiente bem como um valioso investimento, pois dentre outras razões, o local de instalação do sistema mesmo que em meio aos períodos chuvosos da região amazônica, apresenta irradiação solar satisfatória e condições propícias para o desempenho adequado do sistema. A inserção de tais projetos na região além de trazer os benefícios da energia elétrica, impulsionam a economia local, pois propiciam maiores possibilidades de emprego aos moradores das comunidades amazônicas, em razão do

Palavras-chave: Energia solar, sistema fotovoltaico, bombeamento de água.

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo defendeu-se o não investimento em energia solar fotovoltaica por conta de elevados custos, porém este cenário tem mudado, a energia solar fotovoltaica vem ganhando competitividade econômica em relação às outras fontes dado o crescente número de tecnologias que são desenvolvidos no setor e devido a forma abundante para captação de energia através do sol.

O custo da energia solar fotovoltaica depende basicamente dos seguintes fatores: irradiação solar disponível, desempenho e custo dos sistemas fotovoltaicos. De acordo com Pinho e Galdino (2014), o Brasil é abundante em recurso solar e, em muitas cidades, já ocorre a chamada paridade tarifária, graças à equiparação de custos entre a energia elétrica gerada por sistemas fotovoltaicos e a tarifa de energia elétrica convencional.

Neste sentido, a energia solar se mostra uma solução limpa, econômica e eficiente para regiões isoladas da maior floresta tropical do mundo. Em localidades onde há a necessidade de bombeamento de água e não há conexão com a rede elétrica, as opções são a bomba manual, a bomba acionada com motor diesel ou a gasolina e, mais recentemente, a bomba fotovoltaica.

A bomba manual, apesar da simplicidade de manutenção e baixo custo, não se aplica a grandes volumes de água bombeada. A bomba acionada por motor diesel ou a gasolina possui grande capacidade de bombeamento, contudo tem como desvantagens os problemas de suprimento e custo de combustível e a manutenção mais frequente.

Nesse contexto, o bombeamento solar surge como uma importante alternativa para garantir o acesso à água potável, pois apresenta alta capacidade de bombeamento com um sistema que requer pouca manutenção e um custo que vem se tornando cada dia menor, dado o crescimento da tecnologia do setor.

Faz-se necessário, portanto, um estudo de viabilidade econômica para instalação de um sistema de bombeamento de água usando energia solar. Este é um dos focos deste artigo, além de mostrar o passo a passo do dimensionamento de um sistema bombeamento utilizando energia fotovoltaica.

2. METODOLOGIA

2.1. Fundamentos para Dimensionamento do Sistema de Bombeamento

Para determinação de um sistema de bombeamento eficaz e das instalações elevatórias usa-se os fundamentos da Mecânica dos Fluidos, aprofundados nos conceitos de hidráulica, onde destaca-se a equação da continuidade ou conservação da massa, definição e classificação dos escoamentos, além das fórmulas para definição das perdas de carga do sistema. Uma breve revisão bibliográfica é apresentada como ponto de partida para obtenção de resultados eficientes.

2.1.1. Número de Reynolds

É possível verificar a existência de três regimes de escoamento. O escoamento laminar, turbulento e o escoamento de transição. O primeiro ocorre quando o fluido escoar como lâminas, que deslizam umas sobre as outras, sem mistura entre elas. O escoamento turbulento é o mais frequente, nele, as partículas movem-se segundo trajetórias erráticas, causando transferência de quantidade de movimento entre estas, causando flutuações de velocidades em torno de uma média. Já o escoamento de transição, ocorre entre os escoamentos laminar e turbulento.

2.1.2. Equação de Bernoulli e da Energia

Para escoamentos permanentes de fluidos incompressíveis e não viscosos, o princípio de Bernoulli estabelece que: um incremento em sua velocidade e, conseqüentemente, em sua energia cinética, causa um decréscimo na sua pressão ou na energia potencial.

2.1.3. Perdas de Carga em Sistema de Tubulação

A perda de carga de carga total é dada pela soma da perda de carga distribuída, a qual está relacionada aos trechos retos da tubulação, com a perda de carga localizada, a qual se trata de perdas menores e ocorre devido aos acessórios do sistema.

2.2. Fundamentos para o Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico para Bombeamento de Água

2.2.1. Arranjo Fotovoltaico

O arranjo fotovoltaico é a unidade de geração de energia para o sistema, sendo formada pela associação em série ou paralelo de módulos fotovoltaicos, que por sua vez são formados pela associação de células fotovoltaicas. Os módulos fotovoltaicos mais encontrados no mercado atualmente são de silício monocristalino e silício policristalino, sendo o primeiro de maior eficiência que o segundo, porém possui maior custo.

2.2.2. Dimensionamento dos Módulos Fotovoltaicos

Para o dimensionamento do número de módulos fotovoltaicos necessário para o funcionamento da bomba, calcula-se a potência consumida pela bomba. Além disso, vale ressaltar que esta potência consumida pela bomba nada mais será do que a potência fornecida pelo sistema fotovoltaico para a bomba funcionar na sua capacidade máxima, dado pela Eq. 1.

$$P_{cons} = \frac{P_h}{n_{bomba}} = \frac{\rho \cdot g \cdot \dot{Q} \cdot H_{bomba,u}}{n_{bomba}} \quad (1)$$

sendo que: P_{cons} é a potência consumida pela bomba, P_h é a potência hidráulica, n_{bomba} é eficiência da bomba, ρ é a densidade, g é a gravidade, $\dot{Q}$ é a vazão volumétrica e $H_{bomba,u}$ é a carga de bomba útil fornecida ao fluido.

Obtém-se então pela Eq. 2, a energia a ser fornecida pelo painel fotovoltaico, dado seu tempo de funcionamento.

$$E_{el} = P_{cons} \cdot t_{func} \quad (2)$$

sendo que: E_{el} é a energia a ser fornecida pelo painel fotovoltaico, P_{cons} é a potência consumida pela bomba e t_{func} é o tempo de funcionamento do painel solar.

Além disso, considera-se um fator de segurança de 25% excedendo da potência consumida pela bomba. Logo, tem-se com isso a Eq. 3.

$$E_{el} = 1,25 \cdot P_{cons} \cdot t_{func} \quad (3)$$

3. RESULTADOS

3.1. Vazão de Consumo e Capacidade do Reservatório

Este projeto foi idealizado e direcionado ao bombeamento de água para uma torre Salta- Z (tecnologia de interesse social que contempla o baixo custo como atrativo favorável à sua aplicação aliado a viabilidade técnica e operacional), que se utiliza da gravidade como energia para a efetivação do processo, no entanto vale ressaltar que o projeto não adentrara nas elaborações técnicas da torre Salta-Z, o projetado idealizado para uma residência de uma família ribeirinha, em Limoeiro do Ajurú, no nordeste – PA, que possui cinco membros. A Figura 1 ilustra a localização de Limoeiro de Ajurú-PA.

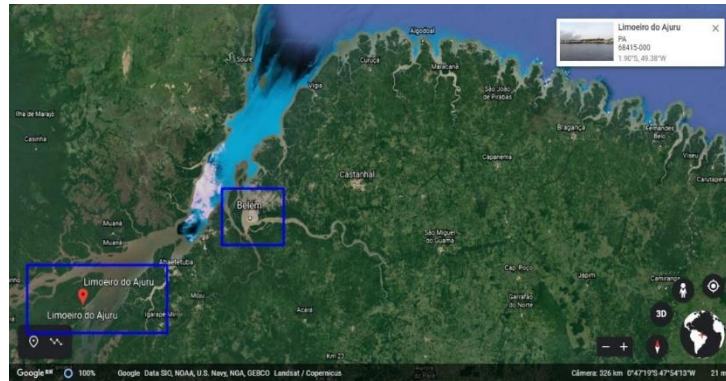


Figura 1: Localização de Limoeiro do Ajurú.

De acordo com a Abides (2015), o consumo médio diário de água por pessoa em casas populares ou rurais, é de 120 l/dia. Portanto, considerando uma família com 5 pessoas, este consumo é de 700 l/dia.

Desta maneira, a vazão de consumo dessa família ribeirinha é de 700 l/dia. Logo, o reservatório do sistema necessita ter capacidade para um consumo diário de 700 litros de água. Porém, devido o sistema precisar estar sempre abastecido, para não haver a falta de água, o reservatório deve ter sua capacidade total ao menos de 1,5 vezes o consumo diário da família.

Portanto, o reservatório precisa ter uma capacidade de 1050 l de água. Contudo, os reservatórios comercializados não possuem a capacidade exata de 1050 l, mas de 1000 l. Assim, define-se que a capacidade do reservatório será de 1000 litros.

3.2. Estimativa da Vazão de Funcionamento da Bomba

Considerando que quando a bomba estiver em funcionamento, esta deve fornecer 1000 l de água ao reservatório, de modo a suprir a capacidade do reservatório e, consequentemente, a necessidade diária da família. Para tanto, a bomba deve funcionar diariamente. Contudo, deve-se considerar que o seu funcionamento está sujeito ao dia, por conta da necessidade de fornecimento de energia aos painéis fotovoltaicos. Ressalta-se, ainda, que neste sistema não haverá armazenamento de energia solar em baterias. Logo, a bomba só funcionará enquanto os módulos fotovoltaicos estiverem fornecendo energia.

Assim, a bomba deve funcionar principalmente nos momentos de maior incidência de radiação solar durante o dia. De acordo com Campos e Alcantara (2016), a maior incidência de radiação solar no norte do Estado do Pará, durante todos os meses do ano, é de 9h às 15h. Com isso, estima-se que a bomba deverá funcionar durante o tempo de 6h, aproveitando a incidência da radiação solar durante os momentos de picos para abastecer o reservatório.

A vazão de operação da bomba é dada pela relação entre o volume do reservatório e o tempo de funcionamento da bomba. Levando-se em conta que a bomba funcione por 6h e forneça 1000 l de água diariamente, esta relação é dada por:

$$\dot{Q}_{min} = \frac{V_{res}}{t_{func}} = \frac{1000 \text{ l}}{6 \text{ h}} = \frac{1 \text{ m}^3}{63000 \text{ s}} \cong 4,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

em que $\dot{Q}_{min}$ é a vazão de operação da bomba (m^3/s), V_{res} é o volume do reservatório (m^3) e t_{func} é o tempo de funcionamento da bomba (s).

3.3. Diâmetro da Tubulação e Velocidade do Fluido nas Regiões de Sucção e Recalque

Foi escolhida uma tubulação de sucção de 2 pol. e de recalque de 1 pol., de modo que com o maior de diâmetro na entrada do sistema seja succionado um grande volume, o qual, com o menor diâmetro da tubulação de recalque, possa ser direcionado ao reservatório mais rapidamente.

Assim, tendo a tubulação de sucção tenha 2 pol. de diâmetro, este equivale a 0,0508 m e que a espessura do tubo seja de aproximadamente 0,0051 m. Dessa maneira, tem-se que o diâmetro interno do tubo na região de sucção é dado por:

$$D_{t_{sucção}} = 0,0508 - 2 \cdot (0,0048) = 0,0412 \text{ m} \quad (5)$$

Do mesmo modo procede para a região de descarga, considerando-se que nesta a tubulação possui 1pol. de diâmetro, equivalendo a 0,0254 m, sendo a espessura também de aproximadamente 0,0048 m. Logo:

$$D_{t_{recalque}} = 0,0254 - 2 \cdot (0,0048) = 0,0158 \text{ m} \quad (6)$$

Assim, é possível calcular a velocidade média do fluido na região de sucção e recalque, uma vez que já é possível fornecer à equação a vazão de operação da bomba e da área da seção transversal. Esta área está em função do diâmetro da tubulação. Portanto, para a região de sucção, tem-se:

$$V_{med_{sucção}} = \frac{4,63 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot \frac{0,0412^2}{4}} \cong 0,0347 \text{ m/s} \quad (7)$$

Para a região de recalque, tem-se:

$$V_{med_{recalque}} = \frac{4,63 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot \frac{0,0158^2}{4}} \cong 0,237 \text{ m/s} \quad (8)$$

3.4. Número de Reynolds e fator de atrito nas regiões de sucção e recalque do sistema

Para este cálculo considera-se a gravidade local sendo 9,81 m/s², o fluido em temperatura ambiente de 25°C, de modo que a massa específica seja da ordem de 997 kg/m³ e a viscosidade absoluta igual a 0,00089 N.s/m². Logo, tem-se:

$$Re_{sucção} = \frac{\rho \cdot V_{med_{sucção}} \cdot D_{t_{sucção}}}{\mu} = \frac{997 \cdot 0,0347 \cdot 0,0412}{0,00089} \cong 1602,74 \quad (9)$$

Para a região de descarga, tem-se:

$$Re_{recalque} = \frac{\rho \cdot V_{med_{recalque}} \cdot D_{t_{recalque}}}{\mu} = \frac{997 \cdot 0,237 \cdot 0,0158}{0,00089} \cong 4179,30 \quad (10)$$

Observa-se que na região de sucção o número de Reynolds está abaixo de 2300 e, portanto, o fluxo é caracterizado como sendo laminar. Já na região de recalque o número está acima de 4000, caracterizando o escoamento como turbulento e completamente desenvolvido.

3.5. Cálculo do Fator de Atrito

Para o cálculo do fator de atrito considera-se que a tubulação do sistema é de material plástico e, portanto, totalmente lisos, ou seja, sem rugosidade. Logo, tem-se que:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \cdot \log \log \left(\frac{6,9}{Re} \right) \quad (11)$$

Para a região de sucção:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \cdot \log \log \left(\frac{6,9}{1602,74} \right) \therefore f \cong 0,0552 \quad (12)$$

Para a região de recalque:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \cdot \log \log \left(\frac{6,9}{4179,30} \right) \therefore f \cong 0,0399 \quad (13)$$

3.6. Perdas distribuídas e perdas localizadas nas regiões de sucção e recalque do sistema

Para realizar este cálculo, é necessário saber o comprimento da tubulação nas referidas regiões e os componentes que nesta estão acoplados. Para a definição das alturas geométricas, fez-se o desenho esquemático do sistema de bombeamento movido à energia solar.

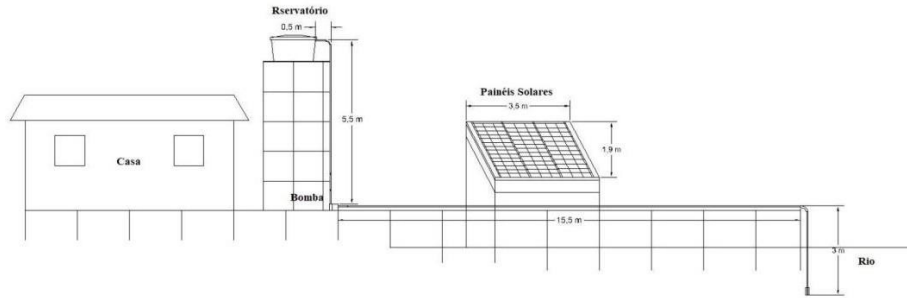


Figura 2: Desenho Esquemático do Sistema.

Para a região de sucção é conhecido o fator de atrito, o diâmetro do tubo, bem como velocidade e a gravidade local. O comprimento total do tubo nesta região é igual a 18,5m. Tem-se nesta região uma válvula de pé com crivo, um joelho de 90°, um registro de esfera e cinco uniões. Assim, os coeficientes adimensionais (K) para estes acessórios são, respectivamente, 23,7, 3,4, 0,8 e 0,6.

Já na região de recalque é também conhecido o fator de atrito, o diâmetro do tubo, bem como velocidade e a gravidade local. O comprimento total do tubo nesta região é igual a 6 m. Tem-se nesta região um joelho de 90°, uma válvula de retenção, um registro de esfera e uma união. Assim, os coeficientes adimensionais (K) para estes acessórios são, respectivamente, 1,5, 2,1, 0,3 e 0,1. Portanto, na sucção a perda total de carga é:

$$h_{L_{sucção}} = \left[\left(0,0552 \cdot \frac{18,5}{0,0412} + 23,7 + 3,4 + 0,8 \right) \frac{0,0347^2}{2 \cdot 9,81} \right] \cong 0,1701 \text{ m} \quad (11)$$

No recalque a perda total de carga é:

$$h_{L_{recalque}} = \left[\left(0,0399 \cdot \frac{6}{0,0158} + 1,5 + 2,1 + 0,3 \right) \frac{0,237^2}{2 \cdot 9,81} \right] \cong 1,1369 \text{ m} \quad (12)$$

3.7. Carga Útil da Bomba

Considerando-se as perdas totais do sistema, as quais incluem as perdas distribuídas e localizadas, bem como que as velocidades nas superfícies livres de entrada e saída do sistema são desprezíveis e que as pressões são atmosféricas, devido a reservatórios abertos, a carga útil é igual à diferença de elevação entre os dois reservatórios mais a perda. Logo, tem-se a Equação 5:

$$H_{bomba,u} = (z_s - z_e) + h_{L_{sucção}} + h_{L_{recalque}} \quad (13)$$

em que $H_{bomba,u}$ é a carga útil da bomba, z_s é a altura geométrica na região de saída, z_e é a altura geométrica na região de entrada, $h_{L_{sucção}}$ é a perda total de carga na sucção e $h_{L_{recalque}}$ é a perda total de carga no recalque.

A altura geométrica na região de saída refere-se à altura geométrica na região de recalque, sendo igual a 5,5 m, estando acima da linha neutra, a qual está ao nível da bomba. Enquanto que a altura geométrica na região de entrada refere-se à altura geométrica na região de sucção, sendo igual a -3m, devido estar abaixo da linha neutra.

Dessa maneira, tem-se que a carga útil da bomba, ou altura manométrica, será:

$$H_{bomba,u} = (5,5 - (-3)) + 0,1701 + 1,1369 \cong 9,80 \text{ m} \quad (14)$$

3.8. NPSH disponível

O NPSH disponível é calculado na região de sucção do sistema. Sendo assim, considera-se que a temperatura ambiente seja de 25°C, a pressão atmosférica na região de sucção da bomba, em m.c.a, é igual a 10,33 e pressão de vaporização da água em m.c.a, à mesma temperatura, é 0,336. São conhecidas a altura geométrica de sucção e perda de carga de sucção. Portanto:

$$NPSH_{disponível} = 10,33 + 3 - 0,336 - 0,1701 \cong 12,82 \text{ mca} \quad (15)$$

3.9. Potência da Bomba

São conhecidas a massa específica ρ , a gravidade local g , bem como a vazão mínima do sistema Q_{min} e a carga útil. Assim, calcula-se a potência hidráulica (P_h) que deve ser fornecida ao fluido:

$$P_h = 997 \cdot 9,81 \cdot 4,63 \cdot 10^{-5} \cdot 9,80 \cong 4,44 \text{ W} \quad (16)$$

Como calculado na seção 2.7 este sistema necessita de uma altura manométrica de 9,78 m. Assim, a eficiência estimada da bomba deve ser de 15%. Com isso, tem-se:

$$P_{cons} = \frac{4,44}{0,15} \cong 29,60 \text{ W} \quad (17)$$

Deste modo, a potência que deve ser consumida pela bomba, para um rendimento mínimo estimado de 15%, é de 29,60 W, o que equivale a aproximadamente a 0,040 cv. A partir disso, foi feito um levantamento das bombas disponíveis no mercado, de modo a verificar aquelas que mais se adequem ao sistema.

A Figura 2.9 apresenta as curvas do sistema com as curvas da bomba da marca Dancor, modelo CAM 2, de 70 W de potência.

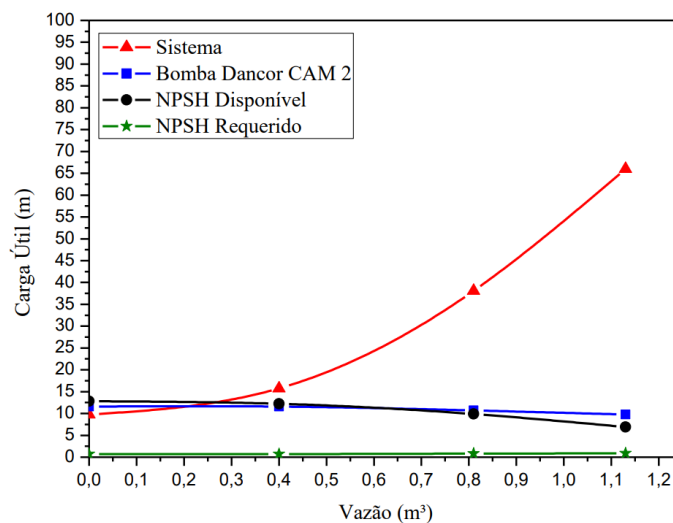


Figura 3: Curvas do sistema e da bomba CAM 2.

A Figura 3, indica que no ponto de operação do sistema, a bomba Dancor CAM 2 opera a uma vazão de aproximadamente 0,30 m³/h, o que corresponde a uma altura manométrica de aproximadamente 11,6 m. No ponto de operação não haverá cavitação, devido à curva de NPSH disponível não interceptar a curva de NPSH requerido. O ponto de operação do sistema está próximo das condições mínimas do sistema, permitindo com que o sistema funcione normalmente. A bomba Dancor CAM 2 possui potência de 75 W, a qual é somente 2,54 vezes maior que a potência que deve ser consumida pelo sistema em suas condições mínimas de operação.

3.10. Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico para Bombeamento de Água

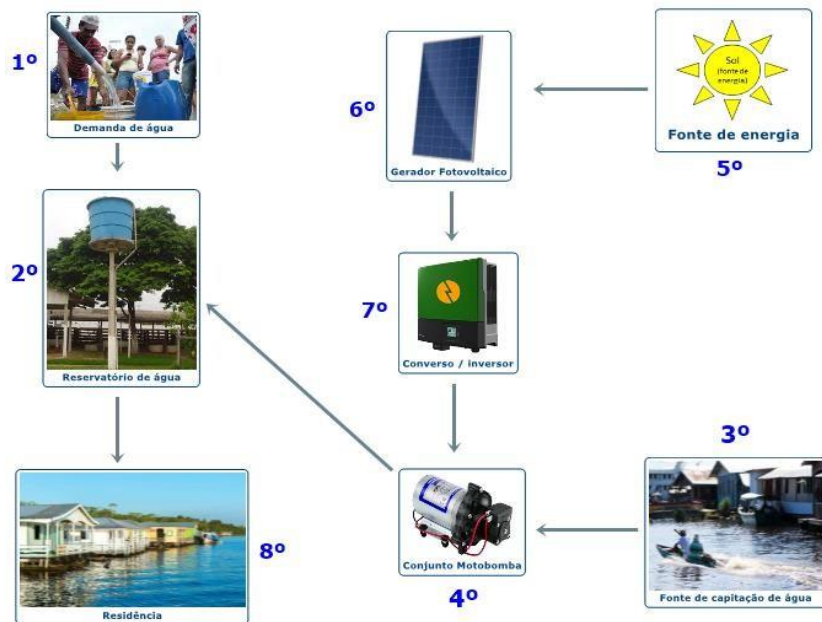


Figura 4: Fluxograma do Projeto.

A Figura 4 mostra o fluxograma do projeto, expondo as etapas em torno do processo de dimensionamento do sistema, desde a análise de demanda até o fornecimento de água até a família destinada.

3.10.1. Potência Consumida pela Bomba e Energia Fornecida pelo Sistema Fotovoltaico

A bomba escolhida para o sistema é a Dancor CAM 2, a qual possui uma potência de 75 W. Através desta, é possível estimar a energia elétrica que será consumida por esta bomba, considerando que os painéis fotovoltaicos devem funcionar por um período de 6 h. Portanto, tem-se que:

$$E_{el} = 75 \cdot 6 = 450 \text{ W} \quad (18)$$

A energia elétrica que deve ser consumida pela bomba é de 450 Wh. No entanto, é preciso levar em consideração um fator de 25% excedendo da potência consumida pela bomba, de modo que se dimensione o painel fotovoltaico com segurança. Sendo assim, tem-se:

$$E_{el} = 1,25 \cdot 75 \cdot 6 = 562,5 \text{ W} \quad (19)$$

Aplicando-se o fator de segurança, para permitir que o sistema funcione adequadamente a energia elétrica que deve ser consumida pela bomba por um tempo de 6h deve ser de 562,5 Wh. Esta energia consumida pela bomba não mais é que a energia que deve ser fornecida pelos painéis fotovoltaicos neste mesmo tempo.

Contudo, devido não haver armazenamento de energia em baterias, os painéis fotovoltaicos devem ser dimensionados conforme a necessidade imediata da bomba. Isto é, se os painéis forem dimensionados para fornecer a energia de 526,5 Wh, que seria o equivalente ao consumido pela bomba em 6h, somente 93,75 Wh seriam consumidos.

Deste modo, é necessário conhecer o potencial solar da região onde se localiza a residência da referida família ribeirinha. O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), através do fornecimento das coordenadas geográficas, é capaz de fornecer os dados relativos ao potencial solar da região, isto é feito a fim de se buscar o pior cenário energético para garantir o funcionamento do sistema proposto durante todos os meses do ano.

Consultando a CRESESB (2018), foi possível verificar o potencial solar da região onde se localiza a família (Limoeiro do Ajurú – PA).

Latitude: 1,896789° S
Longitude: 49,376654° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Limoeiro do Ajurú	Limoeiro do Ajurú	PA	BRASIL	1,901° S	49,349° O	3,1	4,79	4,78	4,87	4,96	5,01	5,15	5,21	5,45	5,59	5,53	5,38	5,03	5,15	,81
✓	Limoeiro do Ajurú	Limoeiro do Ajurú	PA	BRASIL	1,901° S	49,449° O	8,1	4,63	4,66	4,73	4,77	4,87	4,98	5,08	5,31	5,42	5,35	5,16	4,82	4,98	,80
✓	Limoeiro do Ajurú	Limoeiro do Ajurú	PA	BRASIL	1,801° S	49,349° O	11,1	4,84	4,74	4,89	4,89	5,00	5,08	5,18	5,43	5,61	5,54	5,39	5,04	5,13	,87

Figura 5: Potencial Solar da Região de Limoeiro do Ajurú - PA.

A Figura 5 mostra a irradiação solar diária média para todos os meses do ano e para diferentes raios de distâncias relativas ao ponto de referência escolhido. Neste caso, o pior cenário acontece para o ângulo de maior média anual, uma inclinação de 3° N, cuja irradiação solar é de 4,54 kWh/m².dia.

Este valor ocorre no mês de janeiro, podendo estar atrelado à questão de nesta época a região está sob o inverno amazônico, o que leva, conforme Campos e Alcantara (2016), a menor incidência de radiação.

O valor de 4,54 kWh/m² por dia equivale a aproximadamente 190 Wh/m².h. Ou seja, a cada m², durante 1h, há a incidência de radiação de aproximadamente 190 Wh. Este valor é pouco mais do que o dobro do valor referente ao consumo de energia elétrica pela bomba Dancor CAM 2, já considerando um fator de segurança de 1,25. Porém, existe ainda a questão de que no catálogo do fabricante da bomba Dancor CAM 2, há informação de que esta consome 0,19 kW/h. Não está claro se devido ao seu rendimento ou no caso de ser submetida a 127 V ou 220 V. Além do mais, a unidade kW/h informada, mesmo que se subentenda que seja consumo de energia, está equivocada, podendo levar a erro de interpretação. A informação correta deveria ser em kWh. Seja como for, dentre os demais cenários concernentes ao funcionamento da bomba Dancor CAM 2, aquele onde está consome 0,19 kWh (com unidade já corrigida) é o pior. Este valor equivale a 190 Wh, que é justamente o quanto há de irradiação solar no local em questão, como sendo seu pior índice. Isto, inclusive, mostra que a bomba Dancor CAM 2 necessita de 75 W para funcionar, o seu consumo de energia, em 1 h, de modo transformar energia elétrica em energia hidráulica, será de 75 Wh.

Contudo, como o fabricante informa que o seu consumo é de 190 Wh na altura manométrica máxima de 11,6m, o rendimento da bomba é, portanto, 39,48 %. Deste modo, por cautela, os módulos fotovoltaicos devem atuar na situação extrema, fornecendo, no mínimo, a energia elétrica de 190 Wh. Devido às possíveis perdas que pode ocorrer, como sujeira nos painéis, perdas no inversor, nos fios condutores e na própria bomba, por conta do efeito Joule, etc., deve ser adotado, também, o fator de segurança de 1,25 sobre o mínimo de energia que o painel deve fornecer, para que o sistema funcione com segurança. Logo, os módulos devem ser dimensionados para fornecer ao sistema a energia elétrica de aproximadamente 237 Wh.

4. CONCLUSÃO

Ainda que a matriz elétrica brasileira continue sendo a energia gerada a partir da tecnologia hidráulica, tem havido uma diminuição na participação desta fonte na geração de energia e o crescimento da energia geradas a partir da tecnologia eólica e solar.

Isto tem conferido à energia solar fotovoltaica vem ganhando competitividade econômica em relação às outras fontes, uma vez que os custos da energia solar fotovoltaica dependem basicamente dos seguintes fatores: irradiação solar disponível, desempenho e custo dos sistemas fotovoltaicos.

Neste sentido, neste projeto, o dimensionamento do Sistema Hidráulico (SH) mostrou que uma bomba Dancor CAM 2 de 75 W de potência é capaz de suprir a necessidade diária de uma família ribeirinha de Limoeiro do Ajurú – PA, com cinco membros e com um consumo diário médio de 720 litros.

Além disso, o dimensionamento do Sistema Fotovoltaico (SF) mostrou que, considerando o potencial de irradiação solar local, nas condições mais adversas, é capaz de suprir o consumo imediato e diário da bomba, de aproximadamente 237 Wh, com fator de segurança 1,25.

O custo total do sistema de bombeamento de água utilizando energia solar é da ordem de R\$ 4658,48. E tende a manter-se constante durante os anos, tendo pequenas oscilações. Já os sistemas de bombeamento que são movidos a diesel ou a gasolina, ainda que apresentem um custo inicial inferior ao sistema de bombeamento com energia solar, tende a aumentar o custo ao longo dos anos. Depois do segundo ano de operação já apresenta custo superior ao dimensionado neste projeto.

Portanto, este projeto mostrou que a aplicação da energia solar para bombeamento de água é viável e um grande investimento, pois dentre outras razões, o local onde o sistema será instalado, mesmo que em meio aos períodos chuvosos da região amazônica, apresenta irradiação solar satisfatória e as condições propícias para o desempenho adequado do sistema.

Com a água disponível no reservatório para a família ribeirinha de Limoeiro do Ajurú - PA, o próximo passo é seu tratamento que é feito pelas torres Salta-Z e a sua distribuição. Assim sendo, aliada ao sistema de bombeamento movido à energia solar, dimensionado neste projeto, uma excelente alternativa é a aplicação da torre Salta-Z, capaz de oferecer água de qualidade e pronta para o consumo.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia – PROCAD/Amazônia da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil e da Pró-Reitoria de Extensão (PROEX) da Universidade Federal do Pará.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Integração e Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em: <<https://abides.org.br/quanto-de-agua-voce-consome/>>.
- Campos, M.S., Alcanta, L.D.S., 2016. “Interpretação dos Efeitos de Tempo Nublado e Chuvoso Sobre a Radiação Solar em Belém/PA Para Uso em Sistemas Fotovoltaicos”. Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 31, n. 4 (suppl.), pp. 570-579.
- CRESESB - Centro de Referência em Energia Solar, 2004. Casa Solar Eficiente. Disponível em: <<http://www.CRESESB.cepel.br>>.
- Pinho, J.T., Galdino, M.A., 2014. “Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos”. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPTEL-DTE-CRESESB.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

PHOTOVOLTAIC SYSTEM DESIGN FOR WATER PUMPING

Fábio Nascimento Barbosa, emailsparafabio@gmail.com.br¹
Felipe Diniz da Silva, dinizfelipe95@gmail.com²
Alexandre Luiz Amarante Mesquita, alexmesq@ufpa.br^{1,2}
Andrey Maciel Araújo da Silva, andreymaciel468@gmail.com²
Sérgio Aruana Elarrat Canto, aruana@ufpa.br²
Fábio Antônio do Nascimento Setúbal, fabioans@ufpa.br²
Sérgio de Souza Custódio Filho, custodio@ufpa.com²
João Aberides Ferreira Neto, joaoafneto@ufpa.br²

¹Universidade Federal do Pará, NDAE, Campus de Tucuruí. Tucuruí-PA, 68.464-000

²Universidade Federal do Pará, ITEC, R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém-PA, 66.075-110

Abstract: Solar energy generation has been gaining economic momentum when compared to other renewable sources, for its abundant energy captation through the sun, as well as its diminishing project costs. Among the solar energy applications, water pumping using this energetic resource presents itself as a viable alternative, for it provides high capacity pumping with a low maintenance system at an even smaller cost, given its growing technology sector. In this context, amidst the need for water supply systems for the resident families of amazonic communities, the present paper aims to present the dimensioning of a water pumping system using solar energy. The system dimensioned in this study is based on a regional family home located in the city of Limoeiro do Ajurú – PA and takes into consideration the family's daily consumption flow rate calculus to define the water pump to be utilized, and through its potency defines the photovoltaic system and main components for the needed water pumping energy supply. The direct costs of equipments used for the system's installation and economic viability compared to diesel or gasoline based systems are also displayed. The solar energy water pumping application has been verified to be an efficient and valuable investment, because the system's installation place presents satisfactory solar irradiation and proper functioning conditions even amidst the amazonic region rainy periods. The introduction of such projects in the region brings forward the benefits of electric energy besides propelling the local economy, providing better employment possibilities for the local residents.

Keywords: solar energy, photovoltaic system, water pumping.