

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO ENGENHARIA MECÂNICA

**GIOVANI PINTO CARVALHO**

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA  
SOLAR NO CAMPUS PAULO VI - UEMA**

São Luís

2015

**GIOVANI PINTO CARVALHO**

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA  
SOLAR NO CAMPUS PAULO VI - UEMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Mecânica para o grau de  
bacharelado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Doc. Joaquim Teixeira Lopes

São Luís

2015

Carvalho, Giovani Pinto

Otimização de um sistema de bombeamento de água com energia solar no Campus Paulo VI- Universidade Estadual do Maranhão - UEMA /Giovani Pinto Carvalho – São Luís, 2015.

53 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Teixeira Lopes

1. Radiação solar.
2. Bombeamento.
3. Efeito fotoelétrico.
- 4 Poços artesianos I.Título

CDU:620.92(812.1)

**GIOVANI PINTO CARVALHO**

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM ENERGIA  
SOLAR NO CAMPUS PAULO VI – UEMA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Mecânica para o grau de bacharelado em  
Engenharia Mecânica.

Aprovado em:     /     /

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Joaquim Teixeira Lopes – UEMA – Orientador**

---

**Prof. Me. Paulo Sérgio Feitosa Barroso - UEMA - 1º Membro**

---

**Prof. Me. José de Ribamar Pestana Filho - UEMA - 2º Membro**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me ter me dado paciência e inteligência para fazer esse trabalho.

A minha mãe Angela de Fátima Pinto Carvalho e meu pai Tomas de Aquino Pereira Carvalho, por sempre estarem ao meu lado me dando apoio e acreditando em minhas conquistas.

Ao Professor Joaquim Teixeira Lopes, pela sabedoria e determinação com que me orientou durante a realização deste trabalho.

Aos meus amigos da Engenharia Mecânica que batalhamos todos os dias para chegarmos onde estamos com todos nossos esforços.

Aos funcionários da Biblioteca Central da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), pela colaboração na realização deste trabalho.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como finalidade estudar a viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico para bombeamento de água em poços convencionais, ou seja, analisar a viabilidade de implantação do sistema na Universidade Estadual do Maranhão, Campus Paulo VI. A metodologia utilizada para desenvolvimento do presente trabalho teve início com uma minuciosa revisão bibliográfica sobre bombeamento de água, utilizando energia alternativa e renovável. Após análise dos dados constatou-se que o sistema proposto supera o custo inicial em 13 anos, garantindo mais 12 anos de operação com custo apenas de manutenção. Garantido a viabilidade econômica e ecológica, tanto para as operações com altas e baixas nebulosidades.

Palavras-chaves: Radiação solar. Bombeamento. Efeito fotoelétrico. Poços artesianos.

## **ABSTRACT**

This work aims to study the feasibility of implementing a photovoltaic system for water pumping in conventional wells, ie analyze the feasibility of system deployment in Maranhão State University, Campus Paul VI. The methodology used for this study development began with a thorough literature review on water pumping, using alternative and renewable energy. After data analysis it was found that the proposed system exceeds the initial cost in 13 years, ensuring another 12 years of operation cost only maintenance. Ensuring economic and environmental sustainability, both for operations with high and low cloudiness.

Keywords: Solar radiation, pumping, photoelectric effect, artesian wells, Engineering.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Número de edifícios com microgeradores de energia solar no Brasil ..... | 16 |
| Figura 2 - Estados com maior número de geradores no momento .....                  | 17 |
| Figura 3 - Variação da radiação solar extraterrestre com o período do ano .....    | 19 |
| Figura 4 - Piranômetro .....                                                       | 21 |
| Figura 5 - Sistema básico de aquecimento de água por energia solar.....            | 24 |
| Figura 6 - Amostra de zonas metálicas de ligação.....                              | 26 |
| Figura 7 - Célula Monocristalina.....                                              | 27 |
| Figura 8 - Célula de Silício Policristalino .....                                  | 27 |
| Figura 9 - Silício Amorfo.....                                                     | 28 |
| Figura 10 - Células Fotovoltaicas Organicas.....                                   | 29 |
| Figura 11 - Painel Solar de Telureto de Cádmio .....                               | 31 |
| Figura 12 - Painel Solar de Seleneto de Cobre, Índio Gálio.....                    | 31 |
| Figura 13 - Painel Solar Híbrido .....                                             | 32 |
| Figura 14 - Bomba Submersa .....                                                   | 37 |
| Figura 15 - Bomba Submersível para esgoto .....                                    | 37 |
| Figura 16 - Bomba Autoaspirante.....                                               | 38 |
| Figura 17 - Bomba Periférica.....                                                  | 38 |
| Figura 18 - Bomba Centrífuga.....                                                  | 39 |
| Figura 19 - Bomba Injetora.....                                                    | 40 |
| Figura 20 - Poços convencionais da Universidade Estadual do Maranhão.....          | 46 |
| Figura 21 - Condições climatológicas média horárias .....                          | 47 |
| Figura 22 - Comparação de custo entre Custo solar e hidrelétrico. ....             | 48 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Dados Aspectos Climáticos em São Luís do Maranhão – UEMA ..... | 44 |
| Tabela 2 - Bombeamento Solar para 5h de Insolação .....                   | 45 |

## LISTA DE SIGLAS

|          |                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------|
| ABSOLAR  | Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica                    |
| ANEEL    | Agencia Nacional de Energia Elétrica                                   |
| ASTM     | American Society of Testing and Materials                              |
| CA       | Corrente Alternada                                                     |
| CC       | Corrente Continua                                                      |
| CdTe     | Telureto de Cádmio                                                     |
| CIS/CIGS | Seleneto de Cobre, Índio e Gálio                                       |
| CRESESB  | Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito |
| EUA      | Estados Unidos da América                                              |
| HJT      | Heterojunção                                                           |
| ICMS     | Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços                     |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                        |
| INMET    | Instituto Nacional de Meteorologia                                     |
| NASA     | National Aeronautics and Space Administration                          |
| NREL     | National Renewable Energy Laboratory                                   |
| OPV      | Células Fotovoltaicas Orgânicas                                        |
| UEMA     | Universidade Estadual do Maranhão                                      |
| WRC      | The World Radiation Center                                             |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |                                           |
|------------------|-------------------------------------------|
| kwh              | quilowatt-hora                            |
| %                | por cento                                 |
| kW               | quilowatt                                 |
| km <sup>2</sup>  | quilometro quadrado                       |
| m <sup>2</sup>   | metro quadrado                            |
| kg               | quilograma                                |
| R\$              | Reais                                     |
| W/m <sup>2</sup> | Watt por metro quadrado                   |
| $R$              | Radiação incidente no topo da atmosfera   |
| $R_o$            | Radiação constante de $1,495 \times 10^8$ |
| cos              | Cosseno                                   |
| $d_n$            | Dia Juliano                               |
| $G_T$            | Radiação Solar extraterrestre             |
| $G_{SC}$         | Constante solar 1367 W/m <sup>2</sup>     |
| $n$              | Número do dia do ano variando de 1 a 365  |
| $G_{on}$         | Radiação Solar extraterrestre             |
| $H_o$            | Energia da radiação solar extraterrestre  |
| $\phi$           | Latitude                                  |
| $\delta$         | ângulo de declinação                      |
| $w_s$            | ângulo horário do pôr do sol              |
| sin              | seno                                      |

|         |                                                                                                                                                  |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I_t$   | Intensidade da radiação total na superfície inclinada                                                                                            |
| $I_b$   | Intensidade da radiação direta numa superfície horizontal                                                                                        |
| $R_b$   | Razão entre a intensidade da radiação direta sobre uma superfície inclinada e a intensidade e/ou radiação direta sobre uma superfície horizontal |
| $I_d$   | Intensidade da radiação difusa                                                                                                                   |
| $\beta$ | Inclinação da superfície                                                                                                                         |
| $\rho$  | albedo                                                                                                                                           |
| V       | Volts                                                                                                                                            |
| W       | Watts                                                                                                                                            |
| AMT     | Altura manométrica                                                                                                                               |
| PC      | Perda de carga                                                                                                                                   |
| PI      | Profundidade de instalação                                                                                                                       |
| DT      | Distância do poço à descarga                                                                                                                     |
| DN      | Desnível da boca do poço à descarga                                                                                                              |
| AC      | Acessórios convertidos em metros                                                                                                                 |
| FPC     | Fator de perda de carga                                                                                                                          |
| Wp      | Watt-pico                                                                                                                                        |
| °C      | grau Celsius                                                                                                                                     |
| hPa     | hectopascal                                                                                                                                      |
| m/s     | metro por segundo                                                                                                                                |
| L/dia   | Litros por dia                                                                                                                                   |

## SUMÁRIO

|          |                                                                        |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                     | <b>14</b> |
| 2.1      | Energia Solar .....                                                    | 14        |
| 2.2      | Radiação solar extraterrestre .....                                    | 18        |
| 2.3      | Variação da radiação solar extraterrestre ao longo do ano .....        | 19        |
| 2.4      | Radiação solar direta e difusa .....                                   | 20        |
| 2.5      | Radiação solar extraterrestre sobre uma superfície horizontal .....    | 22        |
| 2.6      | Radiação solar incidente sobre uma superfície inclinada da terra ..... | 22        |
| 2.7      | Sistema básico de aquecimento de água por energia solar .....          | 24        |
| 2.8      | Energia Solar Fotovoltaica .....                                       | 25        |
| 2.8.1    | Células Fotovoltaicas .....                                            | 26        |
| 2.8.2    | Painéis Fotovoltaicos .....                                            | 30        |
| 2.8.3    | Tipos de Sistemas fotovoltaicos .....                                  | 32        |
| 2.8.4    | Vantagens e Desvantagens da Energia Solar .....                        | 34        |
| 2.9      | Bombas d'água .....                                                    | 36        |
| 2.9.1    | Dimensionamento de Bombas .....                                        | 40        |
| 2.10     | Bombeamento de água .....                                              | 41        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                       | <b>44</b> |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E ANÁLISES EXPERIMENTAIS .....</b>                       | <b>46</b> |
| 4.1      | Aspectos Climáticos .....                                              | 46        |
| 4.2      | Comparações de custos do sistema de bombeamento de água .....          | 47        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO E SUGESTÃO .....</b>                                      | <b>49</b> |
| 5.1      | Conclusão .....                                                        | 49        |
| 5.2      | Sugestões de continuidade do trabalho .....                            | 50        |
|          | REFERÊNCIAS .....                                                      | 51        |

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo OLIVEIRA (2013), Devido à necessidade de aumento do consumo de energia elétrica e as discussões sobre preservação do meio ambiente, em âmbito mundial, com destaque sobre o aquecimento global, o uso de fontes alternativas de energia elétrica, como alternativa ao uso de combustíveis fósseis, que são poluentes e não renováveis, tem se tornado cada vez mais importante dos pontos de vista tecnológico, econômico e político. Com esta necessidade, surgiu o conceito de geração distribuída (GD) de energia elétrica, onde os geradores distribuídos são conectados às linhas de distribuição e são caracterizados por estarem instalados próximos das unidades consumidoras e por serem de pequena e média potência.

Desde a última década, a utilização de energia solar tem atraído, com maior intensidade, a atenção de vários pesquisadores por tratar-se de uma fonte limpa, disponível gratuitamente, inesgotável na escala humana e por seu aproveitamento pode causar pequenos impactos ambientais. Levando a Alemanha, China e Portugal ao ponto mais alto, na utilização desse recurso energético, com a utilização de sistema autônomo, ligados ou não, a rede elétrica. A conversão de energia solar tem sido aplicada no bombeamento de água e na geração de energia elétrica. O bombeamento d'água é de especial interesse, seja para consumo humano ou animal, seja para irrigação. Neste trabalho apresentamos uma proposta para utilização da energia fotovoltaica, para bombeamento de água, nos poços convencionais da Universidade Estadual do Maranhão, Campus Paulo VI, utilizando uma energia economicamente e ecologicamente viável.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nos tópicos que se seguem, serão abordados sobre energia solar e sua utilização tanto na parte térmica para aquecimento do ambiente e principalmente na parte elétrica que envolve o uso das placas fotovoltaicas para a geração da energia para o bombeamento de água dos poços. Além de conhecer um pouco sobre alguns tipos de bombas.

### **2.1 Energia Solar**

O Brasil é um dos poucos países no mundo, que recebe uma insolação (número de horas de brilho do Sol) superior a 3000 horas por ano. E na região Nordeste conta com uma incidência média diária entre 4,5 a 6 kWh. Por si só estes números colocam o país em destaque no que se refere ao potencial solar (Costa, Heitor, 2015). Sabendo-se disso poderia utilizar com mais frequência à energia solar que é uma fonte de energia alternativa e renovável proveniente da luz e do calor do Sol.

A Energia Solar pode ser transformada em energia térmica (método indireto que a absorção da luz solar é feita através de estações de captação que concentram a energia solar) ou elétrica (método direto resultante do contato da luz solar com as células fotovoltaicas, geralmente feitas de silício, gerando a corrente elétrica). As duas principais formas de aproveitamento da Energia solar são a geração de energia elétrica e o aquecimento solar de água.

Normalmente, a energia solar é utilizada em locais mais isolados, secos e ensolarados. Em Israel, aproximadamente 70% das residências possuem coletores solares, outros países com destaque na utilização da energia solar são os Estados Unidos, Alemanha, Japão e Indonésia. No Brasil, a utilização de energia solar está aumentando de forma significativa, principalmente o coletor solar destinado para aquecimento de água. (FRANCISCO, 2015)

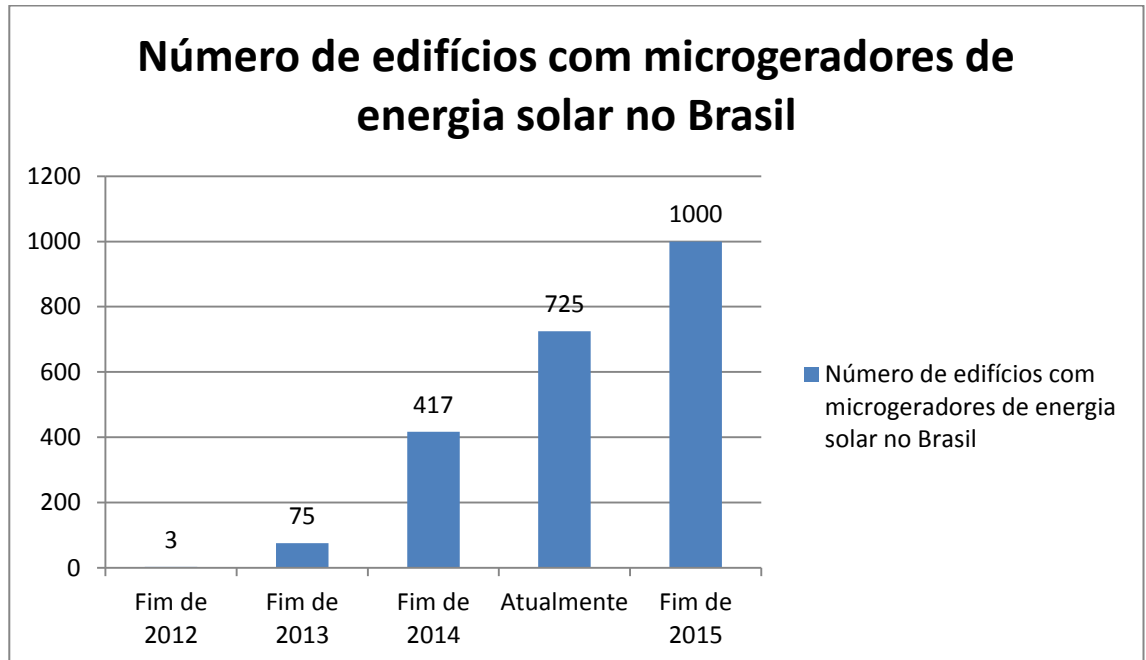
Em termos de manancial e disponibilidade, a resposta definitiva para os problemas energéticos da humanidade nasce todas as manhãs: em menos de uma hora incide sobre a terra mais energia proveniente do sol do que todo o consumo de energia de toda a população do planeta em um ano. A conversão direta da energia solar em energia elétrica, denominada de geração fotovoltaica, é a forma mais eficiente de transformar luz em eletricidade, sem peças móveis, sem produzir ruído ou qualquer outro tipo de emissão durante a operação. (RÜTHER, Ricardo)

Em janeiro de 2013, a Norma Resolutiva 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabeleceu regras para a micro (até 100 kW) e a mini geração (entre 100 kW e 1.000 kW). Permitiu, em tese, que consumidores possam gerar sua própria energia, e trocar o excedente por créditos, que dão desconto em futuras contas de luz. Mas não alavancou o uso desta fonte energética.

Segundo a própria Aneel, o número de sistemas deste tipo implantados passou de 8 em janeiro a março de 2013 para 725 entre abril e junho de 2015. Deste total, 681 são sistemas fotovoltaicos, 4 biogás, 1 biomassa, 11 solar/eólica, 1 hidráulico e 27 eólicos. São números insignificantes quando comparados, por exemplo, com a Alemanha — que dispõe de mais de um milhão de sistemas instalados nos telhados das residências.

Logo abaixo um gráfico do número de edifícios com microgeradores de energia solar no Brasil do fim de 2012 ao fim de 2015 (provavelmente):

Figura 1 - Número de edifícios com microgeradores de energia solar no Brasil

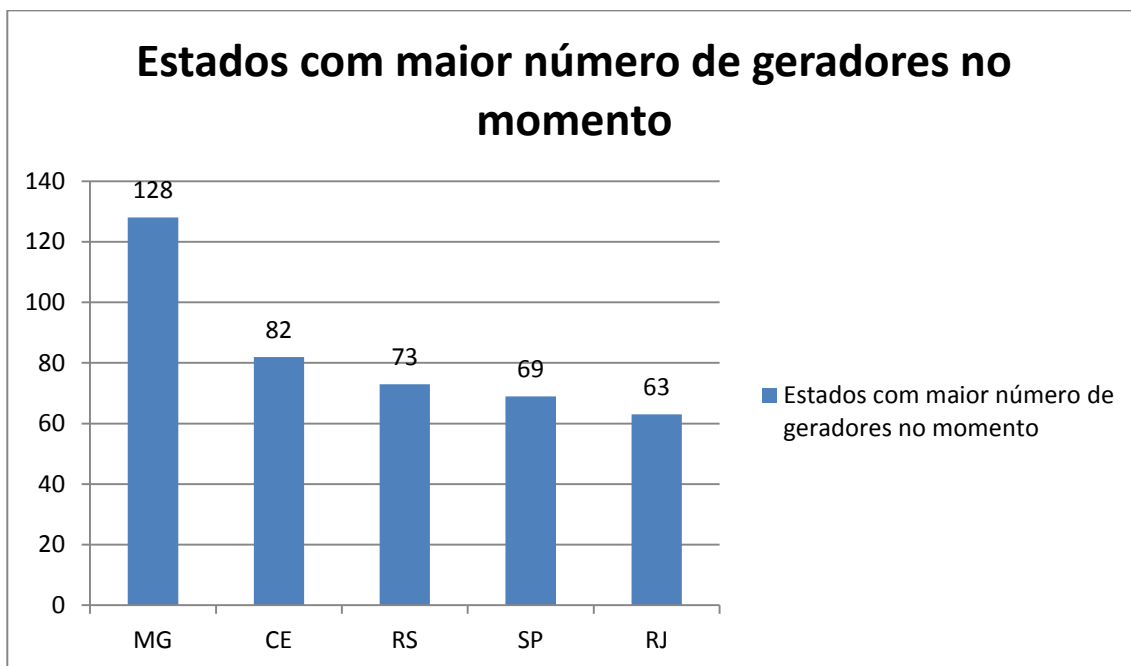


Fonte: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/pequenos-negocios-recorrem-a-energia-solar-com-financiamento-subsidiado.html>

Segundo a figura 1 podemos ver que no fim de 2012 só tinha 3 edifícios com microgeradores de energia solar e ao passar dos anos vem-se aumentando a quantidade deles. No ano seguinte subiu para 75 e em 2014 que ocorreu um aumento muito considerado de microgeradores passando para 417 no fim desse ano.

Os Estados do Brasil com maior número de geradores no momento são Minas Gerais, Ceara, Rio Grande do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro. Logo na próxima folha tem-se a figura 2 mostrando a quantidade de geradores em cada estado.

Figura 2 - Estados com maior número de geradores no momento



Fonte: <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/pequenos-negocios-recorrem-a-energia-solar-com-financiamento-subsidiado.html>

O potencial de geração solar no Brasil é enorme e pode bem ser exemplificado na comparação com a geração hidrelétrica: se o lago de Itaipu, que atende à usina de mesmo nome e que gera cerca de 20% da eletricidade consumida em nosso país, fosse coberto com módulos solares fotovoltaicos, a energia que seria produzida anualmente por esse gigantesco gerador solar de 1350 km<sup>2</sup> poderia atender a mais de 40% do consumo elétrico brasileiro. (RÜTHER, Ricardo)

A instalação de cada metro quadrado de coletor solar, em média, evita a inundação de 56 m<sup>2</sup> de terras férteis com novas hidrelétricas, permite economizar aproximadamente 55 kg de gás de cozinha por ano, ou 66 litros de óleo diesel por ano, ou ainda, proporcionar uma economia em torno de 215 kg de lenha por ano. (OLIVEIRA, Andréa)

Nos últimos 12 meses, o custo da energia ficou 60% mais caro no Brasil, segundo o IBGE. Mas a conta do hotel para cachorros Vila dos Cães, em Itapeverica da Serra, passou de R\$ 1.300 por mês para apenas R\$ 210 (ABSOLAR, 2015). Essa diferença de preços se deu pela instalação de painéis solares que saíram por R\$ 80 mil, entretanto os donos só desembolsaram R\$ 14 mil.

Isso se deve pelo fato do restante ser subsidiado por uma linha de crédito do Banco do Brasil a juros menores por se tratar de um projeto que reduz o impacto ambiental do negócio.

## 2.2 Radiação solar extraterrestre

A radiação extraterrestre é a radiação lida acima da atmosfera terrestre, esta radiação não é influenciada pelas nuvens existentes na atmosfera (BARREIRA, RIBEIRA, 2006). Nos anos 50, os valores da intensidade da radiação solar extraterrestre eram apenas estimados, pelo fato das medidas serem realizadas na superfície da terra. Já nos anos 70, com a evolução dos balões atmosféricos e aeronaves especiais, foi realmente possível medir a intensidade da radiação solar fora da atmosfera. Muitos experimentos foram realizados com diferentes instrumentos de medida, e deles resultaram o valor de  $1353 \text{ W/m}^2 + 1,5\%$ , sendo aceito pela *American Society of Testing and Materials* (ASTM) e pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). (LOPES, 2004)

Nos anos 80, através de novas medidas realizadas, passou-se a recomendar o valor de  $1367 \text{ W/m}^2 + 1\%$ , reconhecido pelo *The World Radiation Center* (WRC).

As variações na radiação total emitida pelo sol são inferiores a 1,5%. Pode-se dizer, com razoável precisão, que a radiação incidente no topo da atmosfera depende apenas da distância entre o Sol e a Terra, que pode ser aproximada por:

$$R = R_o \left[ 1 - 0,0167 \cos \left( \frac{360d_n}{365} \right) \right] \quad (2.1)$$

Onde:

$$R_o = 1,495 \times 10^8 \text{ Km}$$

$d_n$  é o dia juliano.

### 2.3 Variação da radiação solar extraterrestre ao longo do ano

O movimento da Terra em volta do sol não é uma circunferência, mas sim uma elipse. Isto faz com que a radiação extraterrestre não seja constante ao longo do ano, variando com as estações do ano.

A dependência da radiação solar extraterrestre ao longo do ano, sobre uma superfície perpendicular aos raios do sol, é descrita com aproximação pela equação 2.2. (Ismail, 2002):

$$G_T = G_{SC} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \quad (2.2)$$

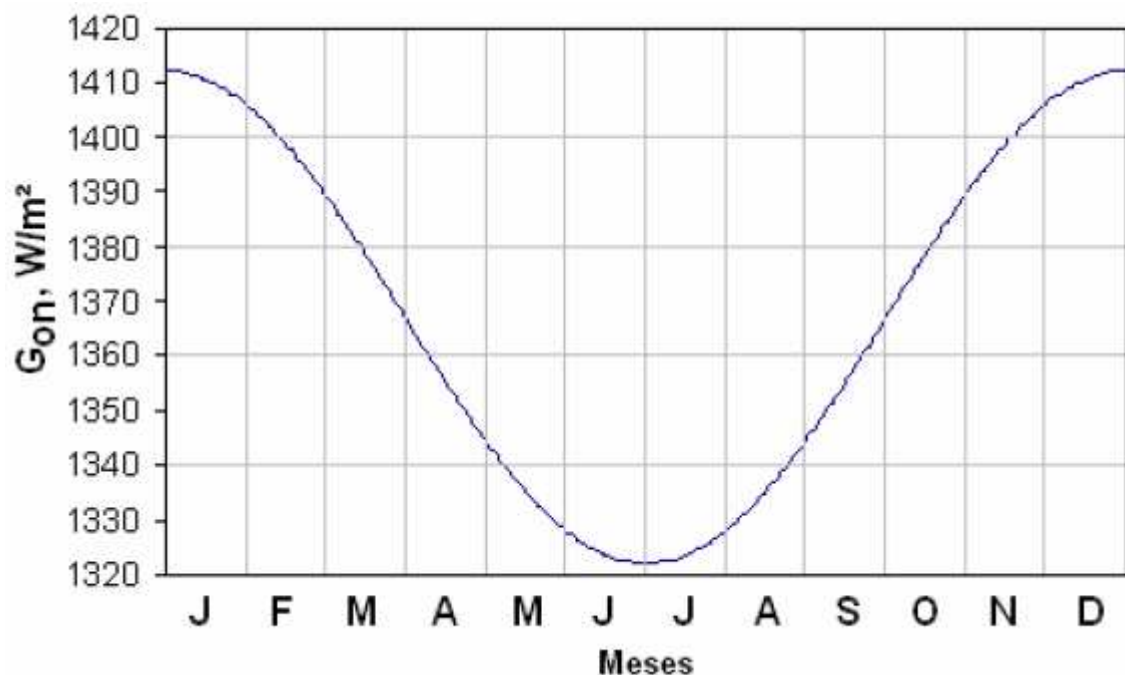
Onde:

$G_T$  é a radiação solar extraterrestre;

$G_{SC}$  é a constante solar ( $1367 \text{ W/m}^2$ );

$n$  é o número do dia do ano variando de 1 a 365.

Figura 3 - Variação da radiação solar extraterrestre com o período do ano



Fonte: Duffie e Beckman, 1991. Pág. 7.

Na figura 3 a radiação extraterrestre é dada por  $G_{on}$  que para autores Duffie e Beckman(1991) é o mesmo  $G_T$  citado anteriormente.

## 2.4 Radiação solar direta e difusa

A radiação proveniente do sol, ao atravessar a atmosfera, é submetida à ação de seus componentes. A radiação solar, em decorrência da interferência da atmosfera, em parte é absorvida (ação do ozono, oxigênio, vapor de água e etc) e em parte dispersa (através da ação de moléculas dos elementos químicos presentes, gotas de água, poeira em suspensão, etc) [Melo, 2003]. A partir destes fenômenos, o estudo da radiação solar incidente na superfície da terra divide-se em duas partes distintas: a radiação solar direta, que é definida pela parcela da radiação que continuou seu caminho sem ser espalhada pela atmosfera, e a radiação solar difusa, parcela da radiação que sofreu modificações em sua trajetória ao atravessar a atmosfera. A soma das parcelas direta e difusa é denominada radiação global (Lopes, 2004).

Em tempo claro, as proporções entre estas duas radiações variam no decorrer do dia dependendo da altura do sol e das quantidades de água, gás carbônico e poeira contidas na atmosfera. Nesta Condição, segundo Palz (1981), a radiação direta é 10 vezes superior à radiação difusa quando o sol está próximo do zênite, mas a difusa torna-se quase igual à direta quando o sol está próximo do horizonte. Quando o tempo está nublado, a radiação difusa é sempre superior à direta.

O Instrumento utilizado para medição da radiação solar é o piranômetro. Instrumento que registra os valores da radiação em intervalos de tempo determinados e, em geral, são armazenados em valores horários ou diários. Na próxima folha tem uma figura de um piranômetro.

Figura 4 - Piranômetro



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Piran%C3%B3metro>

Na medida da radiação global, o piranômetro é colocado sobre uma base horizontal, que recebe a energia solar de todo o hemisfério, ou seja, de todas as direções.

Na medição da radiação difusa, o piranômetro deve ser protegido da luz solar direta por um pequeno disco ou cinta que mantém uma sombra constantemente sobre o sensor.

O Instrumento próprio para medir a intensidade total das radiações diretas liberadas pelo Sol e recebidas pela Terra é chamado de Pireliômetro. Ele é composto de duas lâminas de platina, uma enegrecida pela ação solar e outra por uma corrente elétrica de intensidade conhecida, de modo que, quando ambas apresentam a mesma temperatura, é possível avaliar a quantidade de calor produzida pela corrente, sendo exatamente igual àquela recebida pela outra lâmina enegrecida pelos raios solares. Para se medir deve-se colocar o instrumento diretamente em direção do sol.

## 2.5 Radiação solar extraterrestre sobre uma superfície horizontal

Saber a intensidade da radiação solar recebida sobre uma superfície durante determinado intervalo de tempo é essencial para um bom dimensionamento de sistemas que utilizam energia solar. A energia da radiação solar extraterrestre recebida durante um dia, sobre uma superfície paralela no plano horizontal da superfície da terra, é determinada através da equação 2.3. (Ismail, 2002)

$$H_o = 3600G_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{369n}{365} \right) \right] \times \left[ \left( \frac{2w_s}{15} \right) \sin \phi \sin \delta + \left( \frac{24}{\pi} \right) \cos \phi \cos \delta \sin w_s \right] \quad (2.3)$$

Onde:

$H_o$  é a energia da radiação solar extraterrestre;

$\phi$  é a latitude;

$\delta$  é o ângulo de declinação e  $w_s$  é o ângulo horário do pôr do sol.

## 2.6 Radiação solar incidente sobre uma superfície inclinada da terra

A intensidade de radiação que atinge um ponto na Terra depende muito da posição solar, como já foi dito esta posição depende no dia e da hora. Além de está relacionado com a inclinação e orientação da superfície. Como a maioria dos dados coletados está sobre a superfície horizontal, torna-se necessário estimar a intensidade da radiação solar recebida numa superfície inclinada.

A equação 2.4 utiliza o modelo de céu isotrópico, ou seja, a intensidade da radiação difusa é considerada uniforme em todas as direções, em um intervalo de 1 hora tem-se:

$$I_t = I_b R_b + \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2.4)$$

Onde:

$I_t$  é a intensidade da radiação total na superfície inclinada;

$I_b$  é a intensidade da radiação direta numa superfície horizontal;

$R_b$  é a razão entre a intensidade da radiação direta sobre uma superfície inclinada e a intensidade e/ou radiação direta sobre uma superfície horizontal;

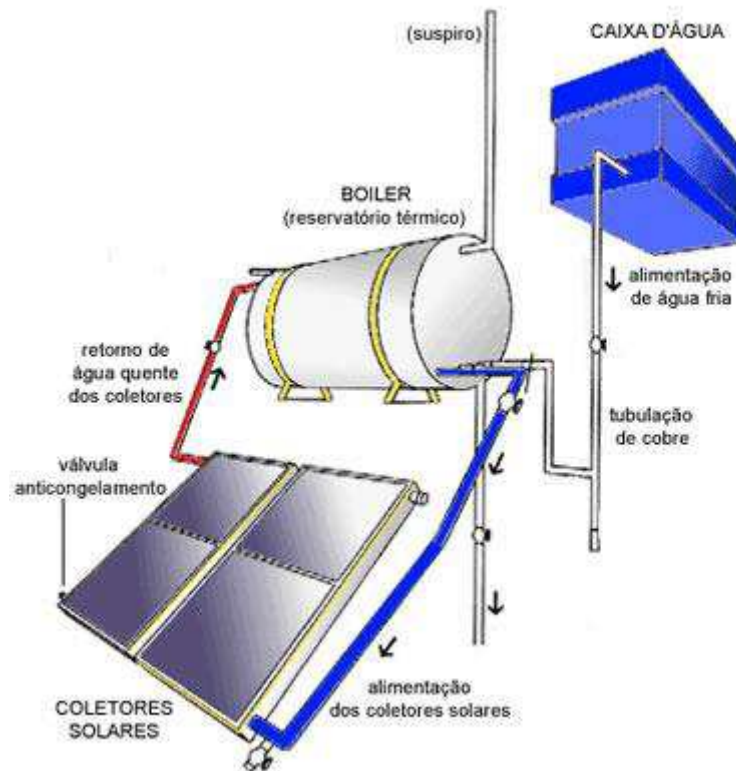
$I_d$  é a intensidade da radiação difusa;

$\beta$  é a inclinação da superfície;

$\rho$  é o albedo.

## 2.7 Sistema básico de aquecimento de água por energia solar

Figura 5 - Sistema básico de aquecimento de água por energia solar



Fonte: <http://www.brasilecola.com/fisica/aquecimento-agua-por-energia-solar.htm>

Um sistema básico de aquecimento de água por energia solar é composto por placas coletoras solares e um reservatório de água conhecido como Boile. As placas coletoras são responsáveis pela absorção da radiação solar e converter a maior quantidade dessa radiação disponível em calor, transferindo esse calor com o mínimo de perdas para o resto do sistema. A energia térmica absorvida pelas placas é transmitida para a água que circula no interior de suas tubulações de cobre.

Segundo CAVALCANTE o reservatório térmico ou Boiler é um recipiente para armazenamento de água aquecida. São cilindros de cobre ou de aço inoxidável, porém isolados termicamente com poliuretano sem CFC (Cloro-fluor-carbono), para diminuir ao máximo as perdas de calor pelo processo de condução térmica. Dessa forma, a água permanece aquecida e pronta para o consumo a qualquer hora do dia ou da noite. A caixa de água fria alimenta o reservatório, mantendo-o sempre cheio.

A água circula entre os coletores e o reservatório graças a um processo chamado de termofissão. Nesse processo, a água dos coletores, que é mais quente, é menos densa que a água do reservatório, portanto, a água fria mais densa empurra a água quente para o reservatório, gerando a circulação.

A circulação da água também pode ser feita através de moto bombas em um processo chamado de circulação forçada ou bombeado, e são normalmente utilizados em piscinas e sistemas de grandes volumes.

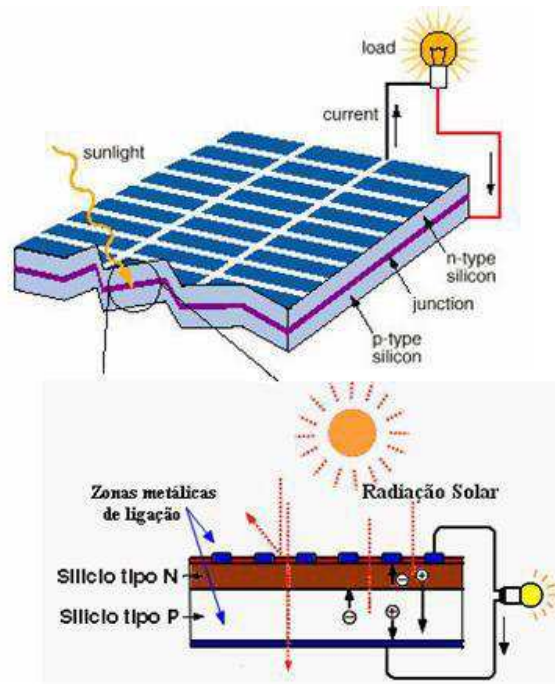
Com a utilização desse sistema solar térmico pode-se fornecer água quente para: o aquecimento central, aquecimento de piscinas, aplicações industriais e água quente sanitária. Fazendo uma máxima poupança energética com um sistema solar adequado.

## **2.8 Energia Solar Fotovoltaica**

Os sistemas fotovoltaicos são capazes de gerar energia elétrica através das chamadas células fotovoltaicas. As células fotovoltaicas são geralmente montadas em módulos ou painéis solares fotovoltaicos e são capazes de transformar a radiação solar diretamente em energia elétrica através do chamado “efeito fotovoltaico”, presente em alguns materiais, sendo o mais utilizado o silício.

O Efeito fotovoltaico ocorre quando a luz solar é absorvida pela célula fotovoltaica. A energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que então ganham a capacidade de movimentar-se. O movimento dos elétrons, por sua vez, gera a corrente elétrica. Devido ao campo elétrico gerado no interior de cada célula, os elétrons são forçados a fluir da camada P para a camada N, gerando-se assim um fluxo de elétrons.

Figura 6 - Amostra de zonas metálicas de ligação



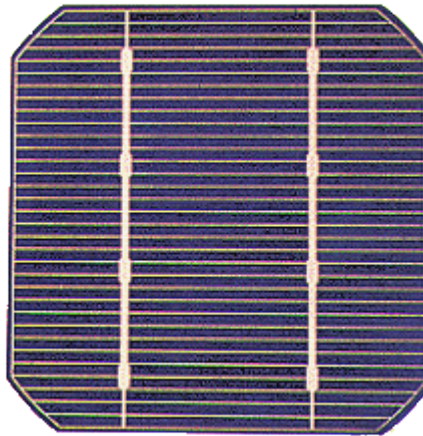
Fonte: <https://apenergiasrenovaveis.wordpress.com/solar/energia-solar-fotovoltaica-como-se-produz/>

### 2.8.1 Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas, que no seu conjunto formam um painel, têm como função converter diretamente a energia solar em eletricidade. Existem três tipos:

**Monocristalina:** Possuem um rendimento elétrico relativamente elevado aproximadamente 16% e sobe cerca de 23% em laboratório, mas as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e cara. Eles são feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro, (lingotes de silício de forma cilíndrica), este é fatiado como um "salame" fazendo assim lâminas de silício individuais, que são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. Cada célula fotovoltaica circular tem seus "4 lados" cortados fora para otimizar o espaço disponível no painel solar monocristalino e aproveita melhor a área do painel.

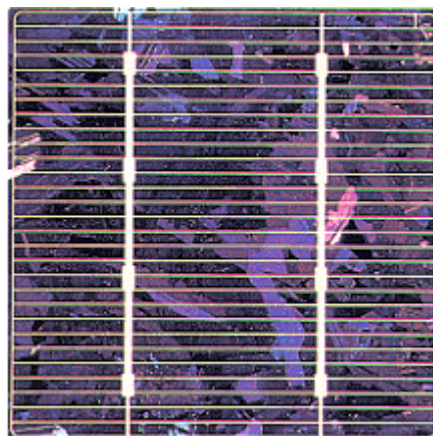
Figura 7 - Célula Monocristalina



Fonte: CRESESB (2014)

Policristalinas: Estas são mais baratas que as monocristalinas por necessitarem de menos energia na sua fabricação, apresentam um rendimento elétrico inferior entre 11% e 13%, devido à imperfeição do cristal que as compõem. E em laboratório o rendimento elétrico chega a 18%. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos cristais (dai o nome policristalino). Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar esta formação múltipla de cristais.

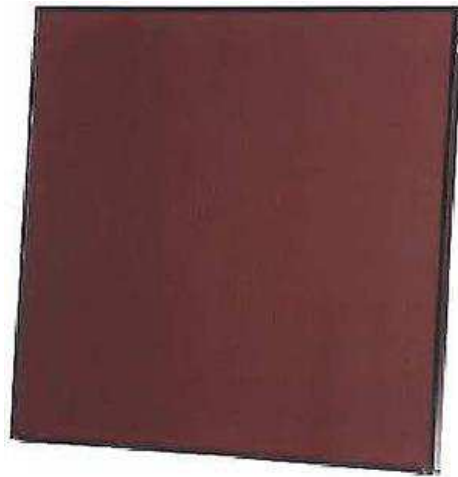
Figura 8 - Célula de Silício Policristalino



Fonte: CRESESB (2014)

Silício amorfo: São as células que apresentam o custo e o rendimento mais reduzido (8% a 10% de rendimento e 13% em laboratório). As células de silício amorfo são películas muito finas, o que permite serem utilizadas como material de construção, tirando ainda o proveito energético.

Figura 9 - Silício Amorfo



Fonte: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>

Existe também outro tipo de Célula fotovoltaica à base de polímeros que são conhecidas como células solares orgânicas.

#### CÉLULAS FOTOVOLTAICAS ORGÂNICAS (OPV)

No momento mostra rendimentos baixos, em comparação com o silício, mas tem um certo número de características interessantes: Eles são flexível, leve e barato. O NREL (National Renewable Energy Laboratory, EUA) anunciou que o mais recente desenvolvimento da energia fotovoltaica empresa Konarka atingiram um recorde de 8,3 por cento de eficiência energética, um avanço bastante significativo se pensarmos agora esta tecnologia não chegar a mais de um discreto 5 por cento.(JULIO, 2010)

Ao contrário das células solares de silício, as células solares orgânicas são feitas com plásticos, o que as torna leves, flexíveis e transparentes. Essas células utilizam a eletrônica orgânica, um ramo da eletrônica que lida com polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas, para absorção

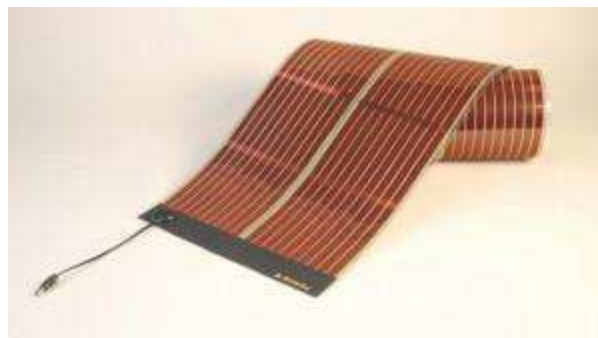
de luz e transporte de carga para a produção de eletricidade a partir da luz solar pelo efeito fotovoltaico.

A célula solar de polímero orgânico foi idealizada há muitos anos como uma tecnologia fotovoltaica flexível, de baixo custo, feita utilizando processos de impressão (roll to roll), máquinas simples e materiais abundantes. Hoje são poucas as empresas que conseguiram levar a produção de células fotovoltaicas (OPV) para uma escala industrial. No Brasil existe a CSEM Brasil, em Belo Horizonte, que está desenvolvendo esta produção com tecnologia principalmente suíça.

Assim, em vez dos painéis solares rígidos e retangulares, as películas fotovoltaicas podem ser aplicadas no revestimento de prédios, aeroportos, estádios e casas, fachadas, janelas, aparelhos eletrônicos, como celulares, e até mesmo em veículos. Outra aplicação também seria: deixar milhares de pedaços de plástico(OPV) boiando nas águas de usinas hidrelétricas.

Além de outras aplicações inovadoras, essas características permitem uma redução significativa nos custos de instalação, responsáveis por até 70% do custo total dos sistemas fotovoltaicos tradicionais. (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2013)

Figura 10 - Células Fotovoltaicas Orgânicas



Fonte: <http://www.concienciaeco.com/2010/12/07/el-futuro-de-las-celulas-fotovoltaicas-organicas/>

### 2.8.2 Painéis Fotovoltaicos

O painel solar é o principal componente de um sistema de energia solar e é formado por um conjunto de células fotovoltaicas que geram energia através da luz do sol. Essa integração das células para formar um painel ou módulo, disponibiliza com mais facilidade potências mais elevadas de energia.

Existem três tipos de Painéis:

Painéis de baixa voltagem ou baixa potência: A voltagem encontra-se entre 1.5 e 6 V e a sua potência é de alguns miliwatts, é frequente o uso deste tipo de módulos em calculadoras e relógios.

Pequenos painéis: Possuem uma potência entre 1 e 10 W, com uma tensão de 3 a 12 V e são utilizados em jogos, rádios, pequenas bombas de água.

Grandes painéis: Suas potências variam de 10 a 60 W e tensão de 6 ou 12 V, é utilizado em resposta às necessidades de elétricas de luz e refrigeração de casas.

Alguns Painéis Solares fabricados com outros tipos de matérias:

Painel Solar de Telureto de Cádmio (CdTe): Telureto de cádmio é a única tecnologia de painéis solares de película fina que superou o custo/eficiência de painéis solares de silício cristalino em uma parcela significativa do mercado mundial de painéis solares. A eficiência de painéis solares com base na tecnologia de telureto de cádmio opera normalmente na faixa de 9-11%.

Figura 11 - Painel Solar de Telureto de Cádmio



Fonte: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>

Painéis Solares de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS/CIGS): Em comparação com as outras tecnologias de filme-fino acima, as células solares CIGS mostraram o maior potencial em termos de eficiência. Estas células solares contêm menos quantidades do cádmio (material tóxico que é encontrado em células solares de CdTe). A produção comercial de painéis solares CIGS flexível foi iniciada na Alemanha em 2011. Os índices de eficiência para painéis solares CIGS normalmente operam na faixa de 10-12% e já existem alguns sendo vendidos no Brasil passando dos 13% (Portal Solar).

Figura 12 - Painel Solar de Seleneto de Cobre, Índio Gálio



Fonte: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>

Painel Solar Híbrido (HJT): Existe uma "nova" tecnologia no mercado conhecida por Heterojunção. Comercialmente falando, a eficiência dos painéis que utilizam esta tecnologia é de 20%. O processo de fabricação, com algumas diferenças, é similar ao dos painéis fotovoltaicos monocristalinos, porém, possuem uma passivação com camada de Silício Amorfo (a-Si), dentre outras diferenças.

Colocando de uma forma simples, este painel produz mais energia por metro quadrado e também funciona muito bem com temperaturas mais altas, desta forma, esta tecnologia é ideal para o Brasil, mas infelizmente ainda não está disponível no mercado.

Figura 13 - Painel Solar Híbrido



Fonte: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>

### 2.8.3 Tipos de Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em dois grandes grupos: sistemas isolados (off-grid) e sistemas conectados à rede (grid-tie). Os sistemas isolados são aqueles que não se integram a rede elétrica e geralmente são utilizados em locais remotos ou onde o custo de acesso a rede é maior que o custo do próprio sistema. Normalmente estes sistemas utilizam bateria para armazenar a energia. Entretanto os sistemas conectados a rede servem como qualquer outra

forma de geração de energia que utilizamos a partir da rede elétrica e são utilizados como substitutos destas outras fontes de energia. Nesta não há necessidade de armazenamento.

Os sistemas isolados ou autônomos para geração de energia são caracterizados por não se conectar a rede elétrica e abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia. Além de serem construídos com um propósito local e específico de demanda energética para suprir as necessidades dos habitantes. Podem ser usadas em sistemas de bombeamento de água, eletrificação de cercas, geladeiras para armazenar vacinas, estações replicadoras de sinal, postes de luz, etc.

A energia produzida pelo Sistema Isolado é armazenada em baterias que garantem o abastecimento em períodos sem sol.

Os sistemas isolados de energia solar fotovoltaica, de maneira simplificada, são compostos de quatro componentes:

- Painéis solares ou placas solares: Geram a energia elétrica que abastece as baterias. Transforma a radiação solar em corrente elétrica contínua. Um sistema pode ter apenas um painel ou vários interligados entre si.
- Controladores de carga: Garantem o correto abastecimento das baterias evitando sobrecargas e descargas profundas, aumentando sua vida útil.
- Inversores: Tem a função de transformar corrente contínua em corrente alternada, e levar a tensão, por exemplo, de 12V para 127V. Em alguns casos pode ser ligado a outro tipo de gerador ou à própria rede elétrica para abastecer as baterias.
- Baterias: Armazenam energia elétrica para ser utilizada nos momentos em que o sol não esteja presente e não haja outras fontes de energia.

Os sistemas fotovoltaicos de conexão à rede são caracterizados por estarem integrados à rede elétrica que abastece a população. Diferente dos sistemas isolados que atendem a um propósito específico e local, estes sistemas também são capazes de abastecer a rede elétrica com energia (produzida a mais do que a necessária do consumo da residência) que pode ser utilizada por qualquer consumidor da rede.

Caso o proprietário do sistema produza mais energia do que consome, a energia produzida fará com que o medidor gire ao contrário. Se produzir menos do que consome, o medidor deverá girar mais devagar. Para isso devesse ter um medidor de fluxo de energia adequado para esse propósito.

#### 2.8.4 Vantagens e Desvantagens da Energia Solar

As principais vantagens são:

- É uma energia limpa, pois a geração, a captação, transformação e aproveitamento não envolvem nenhum tipo de poluição;
- É abundante e gratuita;
- Manutenção mínima: os módulos solares não sofrem nenhum tipo de desgaste nem consomem matéria-prima, no processo de captação e transformação de energia. A manutenção se restringe apenas à realização de limpezas, quando houver incrustações de material (poeira, folhas secas, mofos) que possam afetar a transparência do vidro dos módulos e a sua sensibilidade;
- Vida útil prolongada com estimativa de uns 25 anos;
- Permite a incorporação de módulos adicionais no sentido de aumentar a potência instalada;

- É resistente a condições climáticas extremas.
- A energia solar é excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão.

As principais Desvantagens são:

- No período da noite não ocorre à produção de energia;
- Na fabricação dos módulos necessita de tecnologia muito sofisticada e investimento elevado;
- O rendimento real de um painel é reduzido;
- A resposta às variações de procura é baixa;
- Raramente são competitivos do ponto de vista econômico;
- As formas de armazenamento da energia solar são pouco eficientes quando comparadas, por exemplo, aos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), e a energia hidroelétrica (água);
- Locais em latitudes médias e altas (Ex.: Finlândia, Islândia, Nova Zelândia e Sul da Argentina e Chile) sofrem quedas bruscas de produção durante os meses de Inverno devido à menor disponibilidade diária de energia solar;
- Locais com frequente cobertura de nuvens (Londres) tendem a ter variações diárias de produção de acordo com o grau de nebulosidade.

## 2.9 Bombas d'água

Indicadas para transferir água de um lugar para o outro, as bombas d'água são interligadas a canos, responsáveis por essa passagem. A peça é recomendada para a transferência de um poço a um reservatório, para uso de água não potável, ou de poços convencionais a caixas d'água, para ingestão ou preparo de alimentos. Em casos de inundações, a máquina também cumpre a função de realizar a sucção da chuva usando bombas adequadas para água suja ou turva, escoando a água acumulada a um local adequado.

Existem no mercado as bombas submersas, centrífugas, autoaspirantes, periféricas e injetoras. A seguir têm as principais características dos diferentes modelos de bomba d'água.

Submersas: Ficam submersos na água, divididos em dois grupos chamados de submersível e submersa. A bomba submersível realiza o trabalho por um determinado período (que varia de acordo com o fabricante), mas deve ser retirada da água após o seu uso, ser secada e guardada. Por isso, essa bomba é indicada para casos de inundações, coleta de amostras de águas subterrâneas e drenagens em lugares com sedimentos, como lama, fibras e partículas abrasivas. Já as submersas são produzidas para permanecer dentro da água. Os modelos podem ficar a, no máximo, 20 metros de profundidade - valor que varia de produto para produto. Para controlar o volume de água dentro do reservatório, é indicada a instalação de uma boia de nível.

Figura 14 - Bomba Submersa



Fonte: <https://www.walmart.com.br/categoria/ferramentas/bombas-submersas/?fq=C%3A889%2F942%2F1898%2F>

A bomba submersível sempre deve trabalhar submersa e, jamais, a seco. Mas isto nem sempre acontece e muitos usuários acabam por usar a bomba a seco, o que é errado. Este procedimento provoca problemas como queima de um ou mais motores de estágio da bomba, ocasionando menor vazão e pressão de bombeamento, alerta Bruno Bertoni, técnico da empresa de monitoramento ambiental Ag Solve. Outro procedimento incorreto é a utilização desse equipamento em poços contaminados, pois a bomba submersível não pode ser descontaminada. Ela é considerada descartável.

Figura 15 - Bomba Submersível para esgoto



Fonte: <https://www.sulzer.com/pt/Products-and-Services/Pumps-and-Systems/Submersible-Pumps/Submersible-Heavy-Duty-Pumps>

Autoaspirante: modelo de bomba que trabalha acima de solo, indicado para poços ou lagos de até sete metros de profundidade. Esse é o único modelo que não exige instalação de válvula de retenção, responsável por reter a água para que não retorne para dentro do poço, pois o acessório já vem embutido no produto. A bomba autoaspirante também atua em duas importantes frentes: transfere grandes quantidades de volumes de água e proporciona ótima pressão.

Essa bomba funciona através de um escorvante interno, que utiliza o vácuo, retira o ar do sistema gerando pressão na entrada da bomba, garantindo assim uma maior durabilidade e tempo de funcionamento do equipamento.

Figura 16 - Bomba Autoaspirante



Fonte: <http://www.meritocomercial.com.br/bombas-auto-aspirante/d13>

Periférica: modelo que também trabalha acima do solo, recomendado para locais de até sete metros de profundidade. Essa bomba necessita da instalação de válvula de retenção para a água não retornar para dentro do poço. Apresenta melhor desempenho com baixo volume de água e tem alta pressão.

Ideal para transferência de água limpa e isenta de sólidos como: cisternas, rios e reservatórios, no abastecimento de residências, indústrias e no campo em pequenas irrigações.

Figura 17 - Bomba Periférica



Fonte: <http://intechmachine.com.br/Produto.aspx?id=27>

Centrífuga: bomba utilizada em regiões secas, ou seja, acima do solo. O produto trabalha em locais de até sete metros de profundidade e também exige a instalação da válvula de retenção. Diferentemente da bomba periférica, a centrífuga proporciona alto volume de transferência de água a uma baixa pressão.

A Bomba Centrífuga é utilizada principalmente para a circulação e transferência de limpeza de líquidos, quimicamente não agressivos a água e outros. É apropriada para o abastecimento de água e irrigação, a circulação de água em sistemas de ar condicionado, bem como para utilização em equipamentos auxiliares.

Figura 18 - Bomba Centrífuga



Fonte: <http://www.leogroup.com.pt/a10-centrifugal-pump.html>

Injetora: é uma bomba centrífuga horizontal convencional com um injetor instalado nas tubulações de sucção e de retorno, submerso na lâmina de água do poço. Devido à potência e à capacidade de aumentar a sucção da água, essa bomba atinge profundidades de até 20 metros. Além disso, apresenta baixo rendimento e conseqüente maior custo operacional por utilizar motores elétricos de maior potência do que uma bomba submersa de igual vazão e pressão.

Figura 19 - Bomba Injetora



Fonte: <http://www.bombasemcuritiba.com.br/moto-bombas-injetoras-assistencia-vendas-em-curitiba/>

### 2.9.1 Dimensionamento de Bombas

Para se dimensionar uma bomba são necessárias as seguintes condições:

- Diâmetro do poço;
- Se o poço é ou não revestido;
- Onde estão posicionados os filtros;
- Nível estático (nível da água no poço em repouso);
- Nível dinâmico (nível da água no poço em operação);
- Vazão produzida;
- Profundidade de instalação;
- Diâmetro das tubulações;
- Distância entre o poço e o reservatório;
- Desnível entre o poço e o reservatório;
- Altura manométrica total (soma dos desníveis geométricos entre o nível dinâmico até o descarte acrescido das perdas de carga na tubulação);
- Tensão de trabalho;
- Comprimento do cabo (distância entre a profundidade de instalação e o painel).

Formula para se calcular a altura manométrica (AMT):

$AMT = \text{Nível dinâmico} + \text{Desnível entre poço e reservatório} + \text{Perda de carga na tubulação}$

Calcula-se a Perda de carga pela formula abaixo:

$$PC = (PI + DT + DN + AC) \times \left(\frac{FPC}{100}\right) \quad (2.5)$$

Onde:

$PC$  = Perda de carga (m);

$PI$  = Profundidade de instalação;

$DT$  = Distância do poço à descarga;

$DN$  = Desnível da boca do poço à descarga;

$AC$  = Acessórios convertidos em metros;

$FPC$  = Fator de perda de carga.

## 2.10 Bombeamento de água

Para se entender melhor o bombeamento de água, foram analisados alguns trabalhos que utilizavam painéis solares policristalinos ou monocristalinos e observando a eficiência de cada um dos painéis. Além de sua capacidade de bombeamento com a utilização dos mesmos painéis solares.

Segundo a dissertação de NIEDZIALKOSKI (2013) que avaliava o desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de

bombeamento de água. O volume médio diário de água bombeada pelos dois sistemas variou entre 3.536,46 e 4.182,55 litros, sendo suficiente para atender as necessidades básicas de uma pequena propriedade rural. A vazão de água bombeada em função dos níveis de irradiação solar e também da energia consumida pela moto bomba. Quando considerada a relação entre vazão e irradiação, o sistema monocristalino mostrou-se mais eficiente, porém, quando considerada a relação entre vazão e energia consumida, o sistema policristalino foi o que bombeou um volume maior de água. A vazão de água bombeada pela moto bomba foi mais suscetível à variação da tensão quando comparada com a variação da corrente, sendo que o aumento da tensão também provocou aumento no volume de água bombeada. A eficiência dos painéis fotovoltaicos monocristalino e policristalino foi de 9,40% e de 6,57%, respectivamente. O sistema policristalino apresentou maior eficiência global e menor custo por litro de água bombeado.

Em um trabalho realizado por ANDRADE, et all (2008) utilizando um motor de indução trifásico cujo motor foi capaz de bombear 7.900 litros por dia a uma altura manométrica total de 35 m e 12.000 litros por dia, a uma altura manométrica total de 18m superando as expectativas do projeto e o conjunto Conversor CC-CA, mais a moto-bomba apresentou um custo final inferior a 25% do valor do sistema que utiliza motor CC. E eles concluíram devido o sistema não requerer bateria, somente bombeará água enquanto houver Irradiação solar suficiente para justificar a vazão, todo excedente de energia elétrica do sistema, será armazenada em forma de energia potencial gravitacional, armazenando-se a água excedente em um reservatório elevado.

De acordo com MOREIRA, Carlos (2012) em seu trabalho do Sistema fotovoltaico monocristalino para bombeamento de água, o volume de água bombeado pelo sistema é suficiente para as necessidades básicas de uma pequena propriedade rural. O volume médio diário de água bombeada pelos vários arranjos testados durante os quatro meses variou entre 1.100 e 2.500 litros. Com a utilização de reservatórios maiores pode-se reduzir ou mesmo eliminar o tempo de “energia ociosa”, aumentando esse volume com o acréscimo de cerca de 20% no tempo gasto para o bombeamento. A energia consumida pela carga apresentou pouca variação entre os vários arranjos testados. As bombas aproveitaram a energia

necessária para a realização do bombeamento e potências superiores a sua capacidade não tiveram influência no volume bombeado. O sistema de bombeamento com 2 painéis efetivamente apresenta volume maior de água, no entanto a utilização de apenas 1 painel pode ser uma solução econômica se o volume de água for de até 1.500 L diários.

Para SÁ (2010) os sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água podem ter outras aplicações, mas estas se mostram muito vantajosas para o abastecimento residencial, especialmente se for considerada apenas uma habitação. Para este caso é importante frisar que a utilização de bombas projetadas para uso em sistemas fotovoltaicos é muito mais indicada, tanto do ponto de vista econômico quanto operacional, do que a utilização de um inversor e uma bomba alimentada por motor de indução monofásico.

Odehet al. (2006) compararam a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água com sistemas de bombeamento a diesel para sistemas de 2,8 kWp até a 15 kWp e concluíram que sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água de médio porte, acima de 11 kWp, além de serem alternativas viáveis, podem tornar-se economicamente rentáveis.

Com todos esses resultados obtidos pelo uso da Energia fotovoltaica para o bombeamento de água. Podemos concluir que é eficaz a sua utilização nesse trabalho que se seguiu.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para desenvolvimento do presente trabalho consistiu em levantamento da literatura sobre radiação solar, placas fotovoltaicas e a quantidade de poços que abastecem a Universidade Estadual do Maranhão, Campus Paulo VI, tratamentos dos dados e análise econômica.

Pode-se ressaltar que a intensidade da radiação solar, Temperatura Ambiente, Umidade Relativa do ar, Pressão Atmosférica e Velocidade do vento, para, o período 20 de outubro 2015 das 07:00 às 16:00h, foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme tabela 1. Os resultados obtidos bem como as discussões pertinentes a produtividade, análise econômica, eficiência, e análise de variância (ANOVA) foram-nos decisivos para o estudo da eficiência e viabilidade econômica.

Tabela 1- Dados Aspectos Climáticos em São Luís do Maranhão – UEMA

| Data       | Tempo (h) | Temp. Amb. (°C) | Umidade (%) | Pressão (hPa) | Vento (m/s) | Radiação (W/m <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------|-----------------|-------------|---------------|-------------|------------------------------|
| 20/10/2015 | 07        | 26,5            | 75          | 1007,7        | 2,3         | 102,53                       |
| 20/10/2015 | 08        | 27,4            | 72          | 1008,4        | 2,9         | 263,28                       |
| 20/10/2015 | 09        | 27,9            | 68          | 1009,0        | 3,0         | 270,44                       |
| 20/10/2015 | 10        | 29,3            | 64          | 1009,1        | 3,3         | 438,06                       |
| 20/10/2015 | 11        | 29,1            | 65          | 1008,5        | 3,5         | 453,06                       |
| 20/10/2015 | 12        | 30,3            | 63          | 1007,8        | 3,3         | 603,61                       |
| 20/10/2015 | 13        | 29,8            | 66          | 1006,7        | 3,0         | 505,00                       |
| 20/10/2015 | 14        | 29,6            | 68          | 1006,1        | 3,7         | 450,83                       |
| 20/10/2015 | 15        | 29,3            | 68          | 1005,8        | 3,6         | 459,72                       |
| 20/10/2015 | 16        | 29,1            | 68          | 1005,8        | 3,9         | 368,61                       |

Fonte: INMET (2015)

Células Fotovoltaicas são os elementos responsáveis pela conversão direta da luz solar em eletricidade. Podem ser fabricadas usando-se diversos tipos de materiais semicondutores, sendo o silício o mais utilizado. Uma célula fotovoltaica possui baixa tensão e corrente de saída, por isso, para obter tensões e correntes adequadas é feito o agrupamento de várias células formando um Módulo Fotovoltaico – ou painel fotovoltaico.

No presente trabalho será utilizado um Kit, com uma placa solar tipo 2x Painel Solar Fotovoltaico de 90Wp, uma bomba Anauger P100 e uma caixa d'água com capacidade de 10.000 litros, com um custo inicial do sistema de R\$4833,24 e vazão variando 1.200 a 8.600 L/dia. Como registrado na tabela 2.

Tabela 2 - Bombeamento Solar para 5h de Insolação

| Kit                                                                   | Bomba               | Painel                                | Altura Monométrica Máxima (m) | Vazão diária(L/dia) | Tipo                 |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| <u>Kit Bombeamento Solar Anauger P100 - Até 4.600 L / dia (110Wp)</u> | <u>Anauger P100</u> | 2x Painel Solar Fotovoltaico de 55Wp  | 40                            | 650 a 4.600         | Poço                 |
| <u>Kit Bombeamento Solar Anauger P100 - Até 8.600 L / dia (180Wp)</u> | <u>Anauger P100</u> | 2x Painel Solar Fotovoltaico de 90Wp  | 40                            | 1.200 a 8.600       | Poço                 |
| <u>Kit Bombeamento Solar Anauger R100 - Até 4.600 L / dia (110Wp)</u> | <u>Anauger R100</u> | 2x Painel Solar Fotovoltaico de 55Wp  | 40                            | 650 a 4.600         | Reservatório         |
| <u>Kit Bombeamento Solar Anauger R100 - Até 8.600 L / dia (190Wp)</u> | <u>Anauger R100</u> | 2x Painel Solar Fotovoltaico de 95Wp  | 40                            | 1.200 a 8.600       | Reservatório         |
| <u>Kit Bombeamento Solar SHURFLO 8000 (90Wp)</u>                      | <u>Shurflo 8000</u> | 1x Painel Solar Fotovoltaico de 90Wp  | 14                            | 2.115 a 2.450       | Superfície Flutuante |
| <u>Kit Bombeamento Solar SHURFLO 8000 (140Wp)</u>                     | <u>Shurflo 8000</u> | 1x Painel Solar Fotovoltaico de 140Wp | 42                            | 1.700 a 2.450       | Superfície Flutuante |
| <u>Kit Bombeamento Solar SHURFLO 2088 (140Wp)</u>                     | <u>Shurflo 2088</u> | 1x Painel Solar Fotovoltaico de 140Wp | 14                            | 2.910 a 3.960       | Superfície Flutuante |
| <u>Kit Bombeamento Solar SHURFLO 2088 (180Wp)</u>                     | <u>Shurflo 2088</u> | 2x Painel Solar Fotovoltaico de 90Wp  | 35                            | 1.980 a 3.960       | Superfície Flutuante |
| <u>Kit Bombeamento Solar SHURFLO 9325 (180Wp)</u>                     | <u>Shurflo 9325</u> | 2x Painel Solar Fotovoltaico de 90Wp  | 70                            | 1.500 a 2.100       | Poço                 |

Fonte: Solar Brasil (2015)

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES EXPERIMENTAIS

Neste capítulo analisa-se o desempenho de um sistema solar, para bombeamento de água, de poços localizados na Universidade Estadual do Maranhão, Campus Paulo VI, como mostra a figura 20 com variação de alguns parâmetros. Essa parte do presente trabalho procurou discutir os resultados, evidenciando os mesmos e comparando quando possível com dados da literatura. Os tratamentos dos dados e análise econômica foram finalizados com a elaboração de um programa para simulação do sistema propostos.

Figura 20 - Poços convencionais da Universidade Estadual do Maranhão



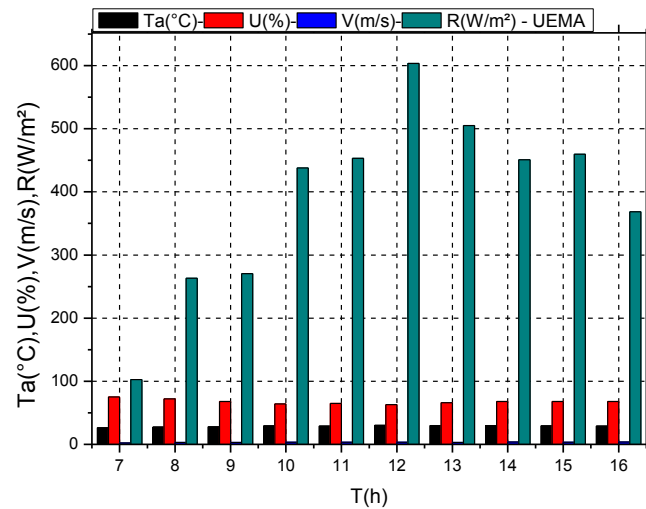
Fonte: Carvalho (2015)

### 4.1 Aspectos Climáticos

Para o dimensionamento de um sistema de bombeamento solar, em um dado local, pode-se utilizar apenas como dado de radiação solar os dias característicos representativos de cada dia, mês ou ano. No presente trabalho, para a obtenção dos dias característicos de radiação solar global e de temperatura ambiente, utilizamos a base de dados diários das estações do Instituto Nacional de Meteorologia / INMET, com dados dispostos em tabelas e gráficos, onde estão registrados as variáveis meteorológicas do dia 20 de outubro de 2015. A Fig. 21 e a Tab. 1 mostram as variações da radiação solar, temperatura ambiente, umidade do ar e velocidade do vento, no período de estudo tomados a cada uma hora entre 7:00 e 16:00h ao longo

do dia. Na avaliação de cada grandeza meteorológica que apresentou maior valor instantâneo, A radiação solar  $603,61\text{W/m}^2$ , temperatura ambiente  $30,3^\circ\text{C}$ , velocidade do vento  $3,90\text{ m/s}$  e umidade relativa de  $75\%$ , O menor valor instantâneo para radiação solar  $102,53\text{W/m}^2$ .

Figura 21 - Condições climatológicas média horárias

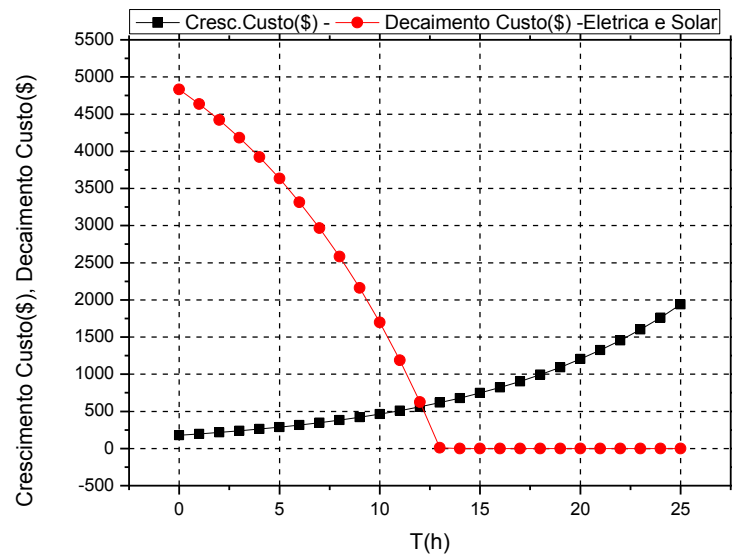


Fonte: Carvalho (2015)

## 4.2 Comparações de custos do sistema de bombeamento de água

Na análise econômica é imprescindível a comparação de custo do sistema de bombeamento de água a energia, com o sistema alimentado por eletricidade convencional, em 25 anos de operação. Sistema nas mesmas condições utilizando energia elétrica convencional (hidrelétrica) para R\$ 0,57 o valor do kWh, já acrescidos os tributos de 12% de ICMS cobrados pela Companhia Energética do Maranhão, com taxa de variação de preço da ordem de 10% ao ano. Como mostra a figura 22.

Figura 22 - Comparação de custo entre Custo solar e hidrelétrico.



Fonte: Carvalho (2015)

Para análise econômica do sistema de bombeamento de poços localizados na Universidade Estadual do Maranhão, consideramos o custo inicial de R\$ 4.833, 24. Com os dados apresentados graficamente na figura 22, podemos afirmar que, após 13 anos de operação do Sistema do Presente Trabalho, o custo será zero, quando comparado com o Sistema Elétrico (Hidrelétrica), considerando no SE, uma correção percentual de 10% ao ano.

## **5 CONCLUSÃO E SUGESTÃO**

### **5.1 Conclusão**

Mostram-se possível a contribuição relativa à proposta de bombeamento de poços convencionais, utilizando a energia solar como fonte primária e a energia mecânica e elétrica como fontes secundárias. Os resultados obtidos teoricamente com os valores simulados, representam um avanço alcançado por este trabalho, permitindo uma economia durante 13 anos. A avaliação das contribuições da presente pesquisa, como uma das formas de bombeamento de água, só podem ser feitos no decorrer de sua utilização por parte da comunidade.

No presente trabalho, além de atingirmos os objetivos iniciais, chegamos as seguintes conclusões: Primeiramente o custo do sistema de bombeamento de água para poços convencionais, obtido pelo Sistema apresentado no presente trabalho é menor, quando comparado com o processo de bombeamento elétrico;

Outra conclusão observada foi que após 13 anos de operação do sistema apresentado no presente trabalho, o custo tende para zero, quando comparado com um sistema exclusivamente elétrico;

E por fim, concluiu-se que os sistemas exclusivamente fotovoltaicos quando comparado com o sistema elétrico convencional, apresenta vantagens economicamente e ecologicamente viáveis.

## **5.2 Sugestões de continuidade do trabalho**

Evidentemente que este trabalho deixou de abordar vários aspectos relacionados com o bombeamento de água em poços convencional, e abriu novas questões que poderão e deverão ser objetos de estudos posteriores. Algumas destas questões estão citadas abaixo:

- a) Para aumentar a eficiência do Sistema do Presente Trabalho, propõe-se estudos das coordenadas solares e geográficas do local de implantação das placas fotovoltaica;
- b) Estender a proposta de bombeamento de água para famílias de baixa renda, na ilha de Upaon - Açú;
- c) Estudo para utilização da energia Fotovoltaica não utilizada, na operação do bombeamento de água, como iluminação domiciliar;
- d) Como desenvolvimento de trabalho complementar, propõe-se analisar as distribuições de Radiação Solar na Superfície Terrestre para dias nublados, na Ilha de Upaon - Açú.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Henrique Pereira de, et all. **Sistema de bombeamento de água com energia solar fotovoltaica utilizando motor de indução trifásico**. Universidade Federal do Ceará. 2008.

BARREIRA, Hugo Emanuel; RIBEIRO, Oliveira. **Implementação de um sistema de calculo para sistemas de energia solar**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2006.

BERTONI, Bruno. **Uso inadequado da bomba elétrica submersível danifica o equipamento**. AgSolve, 2008. Disponível em: <<http://www.agsolve.com.br/dicas-e-solucoes/uso-inadequado-da-bomba-eletrica-submersivel-danifica-o-equipamento>>. Acesso em: 12 set. 2015.

**Bombas submersas e equipamentos**. Consultpocós artesianos. Disponível em: <<http://consultpocos.com.br/servicos/bombas-submersas-e-equipamentos/>>. Acesso em: 12 set. 2015.

**Bombas submersas**. Hidrovector, 2015. Disponível em: <<http://www.hidrovector.com.br/bombas-submersas.asp>>. Acesso em: 11 set. 2015.

**Brasil entra para elite mundial da eletrônica orgânica**. Inovação Tecnológica, 2013. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=brasil-entra-elite-mundial-eletronica-organica#.VKNLG9wrLIU>>. Acesso em: 11 nov. 2015

CAVALCANTE, Kleber G. **“Aquecimento da Água por Energia Solar”**; Brasil Escola. Disponível em <<http://www.brasile scola.com/fisica/aquecimento-agua-por-energia-solar.htm>>. Acesso em 10 set. 2015.

**Como Funciona um Aquecedor Solar**. SOLETROL. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php>>. Acesso em: 11 set. 2015.

COSTA, Heitor Scalabrini. **Por que a energia solar não deslancha no Brasil**. Carta Capital, 2015. Disponível em: <<http://www.cartacapital.com.br/blogs/outras-palavras/por-que-a-energia-solar-nao-deslancha-no-brasil-3402.html>>. Acesso em: 05 set. 2015.

DUFFIE, J. A. e Beckman, W. A., 1991. **Solar Enginnering of Thermal Processes**, John Wiley & Sons, Inc. New York.

**Energia Solar Fotovoltaica**. CRESESB, 2014. Disponível em: <[http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=321](http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321)>. Acesso em: 06 nov. 2015.

**Energia Solar Fotovoltaica**. Neosolar, 2014. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica>>. Acesso em: 17 ago. 2015.

**Energia Solar Térmica.** Energias Renováveis. Disponível em: <<https://apenergiasrenovaveis.wordpress.com/solar/energia-solar-termica/>>. Acesso em: 16 set. 2015.

FRANCISCO, Wagner De Cerqueria E. **"Energia Solar"**; Brasil Escola. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/geografia/energia-solar.htm>>. Acesso em: 10 set. 2015.

**Funcionamento painéis solares térmicos para aquecimento.** Portal Energia, 2009 Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/funcionamento-paineis-solares-termicos-para-aquecimento/>>. Acesso em: 16 set. 2015.

JULIO. **El Futuro de Las Células Fotovoltaicas Orgánicas.** Revista digital sobre cultura ecológica, 2010. Disponível em: <<http://www.concienciaeco.com/2010/12/07/el-futuro-de-las-celulas-fotovoltaicas-organicas/>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

LOPES, Joaquim Teixeira. **Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido.** Dissertação (Mestrado profissional em Engenharia Mecânica / Refrigeração e Condicionamento Ambiental). Universidade Estadual de Campinas. São Paulo 2004.

MELO, Vítor Flávio de. **Estudo do comportamento da radiação solar na região sul da Save.** Trabalho de Licenciatura em Física. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo. 2003.

MERLIN, Leroy. **Conheça os diferentes tipos de bombas d'água,** 2014. Disponível em: <<http://www.leroymerlin.com.br/dicas/conheca-os-diferentes-tipos-de-bombas-dagua?xdtoken=curitiba>> Acesso em: 01 set. 2015.

MOREIRA, Carlos Alberto Machado. **Sistema fotovoltaico monocristalino para bombeamento de água.** Energia na Agricultura, Botucatu, vol. 27, n.3, 2012, p.31-47.

NIEDZIALKOSKI, Rosana Krauss. **Desempenho de painéis solares mono e poli cristalinos em um sistema de bombeamento de água.** 2013. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2013.

ODEH, I.;YOHANIS, Y.G.;NORTON, B. **Economic viability of photovoltaic water pumping systems.** Solar Energy, v. 80, p.850–860, 2006.

OLIVEIRA, Andréa. **As vantagens da energia solar e sua utilização** [S.l.]: Cursos CPT, 2012. Disponível em: <<http://www.cpt.com.br/cursos-energiaalternativa/artigos/as-vantagens-da-energia-solar-e-sua-utilizacao>>. Acesso em: 19 ago. 2015.

OLIVEIRA, Leonardo Ruffeil de. **Desenvolvimento de um microinversor monofásico para sistema fotovoltaico conectado na rede elétrica de baixa tensão.** Dissertação (Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo 2013.

**Pequenos negócios recorrem à energia solar com financiamento subsidiado.** ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), 2015. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/pequenos-negocios-recorrem-a-energia-solar-com-financiamento-subsidiado.html>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

**Piranômetro.** Wikipedia, 2015. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Piran%C3%B3metro>> Acesso em: 07 out. 2015.

**Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares.** Portal Energia. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituientes-de-paineis-solares/>>. Acesso em: 10 set. 2015.

RÜTHER, Ricardo. **Energia solar fotovoltaica, solução para o Brasil** [S.l.]: Recicla inovação, 2015. 36. ed. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/recicla-inovacao/36/artigo297800-1.asp>>. Acesso em: 24 ago. 2015.

SÁ, Daniel Augusto Pereira de. **Sistema Fotovoltaicos para bombeamento de água.** Projeto de Graduação para Engenharia Eletrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2010.