

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
THIAGO BENINCÁ TRENTINI

**PAINEL FOTOVOLTAICO HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E
ELÉTRICA**

CASCADEL – PR
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
THIAGO BENINCÁ TRENTINI

**PAINEL FOTOVOLTAICO HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E
ELÉTRICA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Professor Orientador: Profº. Me. Eng. Mec.
Roberson Roberto Parizotto.**

CASCADEL – PR

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
THIAGO BENINCÁ TRENTINI

PAINEL FOTOVOLTAICO HÍBRIDO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Professor Me. Roberson Roberto Parizotto.

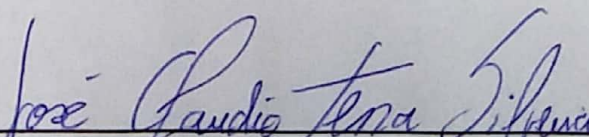
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Roberson Roberto Parizotto
Centro universitário FAG
Engenharia Mecânica



Prof. Geovane Duarte Pinheiro
Centro universitário FAG
Engenharia Controle e Automação



Prof. Jose Claudio Terra Silveira
Centro universitário FAG
Engenharia Mecânica

Cascavel – PR, 05 de Dezembro de 2017.

EPÍGRAFE

“Os únicos limites das nossas realizações de amanhã são as nossas dúvidas e hesitações de hoje.”

Franklin Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Existem pessoas que palavras não bastam para agradecê-las, pessoas que estarão sempre ao meu lado durante os momentos felizes, difícil e tristes na vida.

Agradeço a Deus pela dádiva da vida, por todos os momentos que tem me concedido, agradeço aos meus pais, minha família e namorada por compartilhar de toda a minha caminhada, me apoiando, incentivando e que nunca deixaram eu desistir. Dedico essa vitória a nós pois é deles tanto quanto minha o meu sucesso.

Agradeço aos amigos que adquiri durante este curso, que foram mais de apenas colegas, mais sim pessoas que levarei para vida, pessoas que me entenderem e compartilharam de todos os desafios e vitórias ao meu lado.

Agradeço meu professor orientador Professor, Mestre Roberson Roberto Parizotto por todo seu tempo, dedicação, apoio e confiança na realização deste trabalho.

E pôr fim aos participantes da minha banca julgadora, e todos professores que me acompanharam durante toda a caminhada da minha graduação os quais são responsáveis por todo o meu sucesso.

RESUMO

Em um cenário onde o fornecimento de energia elétrica tornou-se um ponto preocupante, podemos encontrar um grande incentivo na conscientização da humanidade ao uso racional de energia elétrica. Os painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica são umas das principais fontes de geração de energia renováveis, eles são formados com um conjunto de células feitas de materiais semicondutores como o silício que possuem particularidades em absorver energia solar, essa interação resulta em um campo elétrico, que por si estimula o aquecimento dos painéis ocorrendo uma perda de eficiência no mesmo. O sistema híbrido para geração de energia retira esse acentuação de calor dos painéis, utilizando-o em aquecimento de água para o uso residencial e como consequência melhorando a eficiência e vida útil do sistema

Palavra chaves: Energia solar, Sistema híbrido, Painei fotovoltaico, Fontes renováveis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectral da radiação solar	18
Figura 2. Distribuição do potencial energético no planeta Terra	18
Figura 3. Total Diário da irradiação Global Hozirontal.....	19
Figura 4. Consumo de energia elétrica na rede Brasil nos últimos 12 anos.....	25
Figura 5. Sistema interligado a rede elétrica	27
Figura 6. Sistemas Autônomos	27
Figura 7. Coletor Solar Plano Fechado	33
Figura 8. Coletor Solar Plano Aberto.....	33
Figura 9. Reservatório térmico	34
Figura 10. Célula Fotovoltaica.....	36
Figura 11. Tecnologia fotovoltaicas.....	38
Figura 12. Diferente Configurações de coletores	40
Figura 13. Sistema de geração solar Híbrido/água, (Térmica e Elétrica)	41
Figura 14. Sistema de geração solar flutuante	41
Figura 15. Sistema de geração solar Híbrido/ar, (Térmica e Elétrica) para conforto térmico	42
Figura 16. Influência da temperatura no painel (I-V)	43
Figura 17. Localização da estação meteorológica e painéis fotovoltaicos	44
Figura 18. Vista panorâmica estação meteorológica.....	45
Figura 19. Micro estação Meteorológica	46
Figura 20. Módulo Fotovoltaico	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Capacidade de Geração do Brasil – Empreendimentos operando.....	23
Tabela 2. Capacidade de Geração do Brasil – Empreendimentos em construção ...	23
Tabela 3. Capacidade de Geração do Brasil – Empreendimentos à construir	24
Tabela 4. Consumo médio residencial por região e UF (KWh/mês).....	26
Tabela 5. Exemplo de classificação de sistema fotovoltaicos	28
Tabela 6. Consumo diário de água quente nas edificações	31
Tabela 7. Número médio de pessoas por residência	32
Tabela 8. Relação da eficiência de painéis solares.....	37
Tabela 9. Irradiação solar no Plano Inclinado	47
Tabela 10. Especificações técnicas do módulo fotovoltaico.....	50

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Potência máxima de geração por m ²	20
Equação 2. Consumo de água quente	34
Equação 3. Eficiência de painéis Fotovoltaicos.....	36
Equação 4. Relação da temperatura com eficiência das células	43
Equação 5. Produção necessária do sistema fotovoltaico para suprir o consumo....	48
Equação 6. Potência Requerida pelo sistema fotovoltaico.....	48
Equação 7. Performance Ratio.	51
Equação 8. Quantidade de Painéis Fotovoltaico	51
Equação 9. Correção da Potência Produzida do Pannel Fotovoltaico.	51
Equação 10. Consumo diário de água.	52
Equação 11. Primeira Lei da Termodinâmica sem calor.	53
Equação 12. Total de água quente disponível por dia.	54
Equação 13. Vazão mássica.....	54
Equação 14. Diâmetro da tubulação	55
Equação 15. Coeficiente de Reynolds	55
Equação 16. Nusselt	56
Equação 17. Comprimento característico da tubulação	56
Equação 18. Coeficiente de transferência Térmica.....	57
Equação 19. Calor útil disponível	57
Equação 20. Taxa de transferência de calor por convecção.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica;
A-Si:	Painel solar fotovoltaico silício amorfo;
CA ou AC:	Corrente Alternada;
CC:	Corrente Contínua;
CdTe:	Telureto de Cádmio;
CEPEL:	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica;
CRESESB:	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito;
CO ₂ :	Dióxido de carbono;
EPE:	Empresa de Pesquisa Energética;
GWh:	Gigawatts-hora;
HJT:	Painel solar fotovoltaico Híbrido;
H ₂ O:	Água;
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
Kg/s:	Quilograma por segundo;
KJ/dia:	Quilogramas joules por dia;
Km:	Quilômetros;
Kpa:	Quilopascal
Kw:	Quilowatt;
Kw.h:	Quilowatt por hora;
Kw/m ² .ano:	Quilowatt por metro quadrado por ano;
Kw/m ² .dia:	Quilowatt por metro quadrado dia;
L/dia:	Litros por dia;
Mc-Si:	Painel solar fotovoltaico multi cristalino;
MJ/m ² .dia:	Megajoule por metro quadrado dia;
Mono-Si:	Painel solar fotovoltaico monocristalino;
Mw:	Megawatt;
NAD:	Número de Dias Autônomos;
NBR:	Norma Brasileira (ABNT);
Nm:	Newton metro;
NOCT:	Normal Operating Cell Temperature;

P _{max} :	Potência nominal máxima;
PME:	Programa de Mobilização Energética;
P-Si:	Painel solar fotovoltaico polisílico;
STC:	Standard Test Conditions;
TFPV:	Células fotovoltaicas de película fina;
W/m ² :	Watt por metro quadrado;
W/m ² /nm:	Watt por metro quadrado por newton metro;
°C:	Grau Celsius;
°F:	Graus Fahrenheit;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 ENERGIA SOLAR	17
2.1.1 A Radiação solar	17
2.1.2 Irradiação solar no Brasil.....	19
2.2 ENERGIA SOLAR ELÉTRICA.....	20
2.2.1 Consumo médio de energia elétrica.....	24
2.2.2 Classificação do sistema	26
2.2.3 Componentes	29
2.2.4 Viabilidade do sistema.....	29
2.3 ENERGIA SOLAR TÉRMICA	30
2.3.1 Componentes	33
2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICAS.....	34
2.4.1 Células fotovoltaicas	35
2.4.2 Tipos de Painéis solares fotovoltaicos.....	36
2.5 SISTEMA HÍBRIDO.....	39
2.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	42
2.6.1 Efeito da temperatura nos painéis.....	42
3 METODOLOGIA	44
3.1 LOCALIZAÇÃO	44
3.1.1 Micro estação Meteorológica.....	46
3.2 CÁLCULO DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA NO SISTEMA DE BAIXA TENSÃO LIGADO A REDE.....	47
3.2.1 Dados:	47
3.2.2 Irradiação Solar	47

3.2.3 Produção necessária do sistema fotovoltaico.	47
3.2.4 Potência Requerida pelo sistema fotovoltaico.	48
3.2.5 Seleção do painel.....	48
3.2.6 Quantidade de painéis.....	50
3.2.7 Correção da Potência produzida	51
3.3 CÁLCULO DE AQUECEDOR POR ÁREA DE PAINEL DISPONÍVEL	52
3.3.1 Dados	52
3.3.2 Consumo diário de água quente	52
3.3.3 Reserva de água quente	53
3.3.4 Total de água quente disponível/dia.....	54
3.3.5 Vazão mássica	54
3.3.6 Diâmetro da tubulação	55
3.3.7 Coeficiente de Reynolds.....	55
3.3.8 Número de Nusselt.....	56
3.3.9 Comprimento característico da tubulação	56
3.3.10 Coeficiente de transferência de calor por convecção	57
3.3.11 Calor útil disponível	57
3.3.12 Calor necessário para aquecer a água.....	58
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
4.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXOS 1	63
ANEXOS 2	64

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o futuro do planeta e a degradação ambiental crescem juntamente com os avanços tecnológicos e possui indispensáveis busca de cada vez mais conforto e praticidade pela humanidade. Um grande reflexo dessa insana evolução é um uso desenfreado e descontrolado de fontes de energia existente.

De acordo com EXAME (2017), as projeções do World Energy Council (conselho mundial de energia), mostram que até 2060 a demanda de energia no planeta irá dobrar e se tornará inviável os avanços tecnológicos em uso de matrizes de geração poluentes, onde as fontes alternativas de produção de energia destacam-se nos meios sociais e econômicos com ênfase na energia solar como a favorita entre elas.

O Brasil por ter uma imensa parte territorial localizada na região intertropical possui um grande aproveitamento da luz solar durante todo o ano, tornando um grande aliado dos sistemas de geração de energia térmica e elétrica com base na conversão da luminosidade do sol (PEREIRA, 2006).

A geração de energia solar pode ser feita no local que se consome, tornando a implantação praticamente independente, onde teremos um melhor aproveitamento do sistema reduzindo as perdas decorrentes da transmissão, e isolamos parcialmente tributação impostas pelo governo. Essa geração distribuída foi regulamentada no Brasil em 2017 pela Resolução Normativa N° 482 da ANEEL permitindo que todas as pessoas possam gerar sua própria energia e pagar apenas a entre o que consomem e o que produzem (HIPÓLITO, 2015)

Considerando o desempenho dos painéis fotovoltaicos as maiores pesquisas de campo têm sido principalmente focadas na redução das perdas óticas e elétricas, mas já apontado que a temperatura afeta no rendimento do mesmo (PINHO e GALDINO, 2014).

Fabricantes de painéis fotovoltaicos apresentam parâmetros de testes de seus produtos destacando as potências de saída através do STC na qual o painel opera a 25°C com irradiação solar a ângulo em 45° onde não podemos considerar esses parâmetros na prática. Em um cenário real a temperatura tipicamente está situada entre 20°C à 40°C maior da temperatura ambiente (OVERSTRAETEM e MERTENS, 1996).

A P_{max} , potência nominal máxima de produção de energia em painéis fotovoltaicos, é relatada pelos fabricantes sendo seguido os parâmetros padrões de teste do STC na ficha de dados do equipamento, a qual é considerada para dimensionamentos pode facilmente tender a erro do projetista subdimensionando a planta a ser instalada já que o painel perde aprox. 0,5% da sua potência máxima por grau acima dos 25°C (PORTAL SOLAR, 2017).

Conforme Hipólito (2015), o desenvolvimento do painel solar híbrido, é uma tecnologia capaz de gerar tanto eletricidade quanto água quente própria para consumo em um só painel, promovendo cerca de 80% da conversão da radiação solar incidida sobre o painel em energia útil, pelo aumento da eficiência na geração de eletricidade reduzindo a temperatura da célula e aproveitamento do calor retirado para produção de energia térmica otimizando o sistema, reduzindo espaço utilizado na instalação e aumentando a vida útil do equipamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Verificar se uma usina de micro geração fotovoltaico para o fornecimento de energia elétrica suprimindo a necessidade média de consumo de eletricidade no Paraná pode ser tornar um grupo híbrido, podendo fornecer energia térmica e elétrica em um mesmo módulo atendendo as exigências para os sistemas térmicos e elétricos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Entender o processo de geração de energia solar;
- Apresentar aperfeiçoamentos de um sistema fotovoltaicos para geração de energia elétrica existentes;
- Verificar a possibilidade de uso do sistema sendo um módulo híbrido.

1.2 JUSTIFICATIVA

Mostrar perante as situações ecológicas como energia solar contribui beneficadamente para o ecossistema e ainda podendo ser uma ótima opção econômica para o consumidor. Assim o trabalho apresentará um sistema híbrido com painéis fotovoltaicos para geração de energia térmica e elétrica, buscando o melhor rendimento no equipamento.

O aproveitamento da radiação solar incidente sobre painéis de silício na geração de energia elétrica implica em 4 a 17% de toda a energia disponível nos raios solares dissipando os mais de 80% em forma de calor e reflexão no painel, o que demonstra pontos de possíveis melhoramento no sistema.

Segundo García e Muñiz (2015), a energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia renovável inesgotável e limpa, pode-se aproveitar dela no mesmo lugar que se produz, e no futuro a sustentabilidade se dará pelo uso das energias renováveis

pois não ocasiona efeitos negativos em seu entorno e os impactos ambientais provocados são muito menores do que das energias convencionais.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A adequação de sistemas de geração elétrica a partir de painéis fotovoltaico para o fornecimento de calor e eletricidade no mesmo modulo consegue atender os requisitos mínimos conforme normativas?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa deste estudo está baseada em levantamentos feitos a partir de uma revisão bibliográfica ou fontes seguras como: artigos científicos, jornais, revistas, sites de internet, monografia, teses, entre outros, que segundo Lakatos e Marconi, afirmam que:

A pesquisa bibliográfica trata do levantamento, seleção e documentação de toda bibliografia já publicada sobre o assunto que está sendo pesquisado, em livros, revistas, jornais, boletins, monografias, teses, dissertações, material cartográfico, entre outros, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o mesmo [...] (LAKATOS E MARCONI, 1987, P.66).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA SOLAR

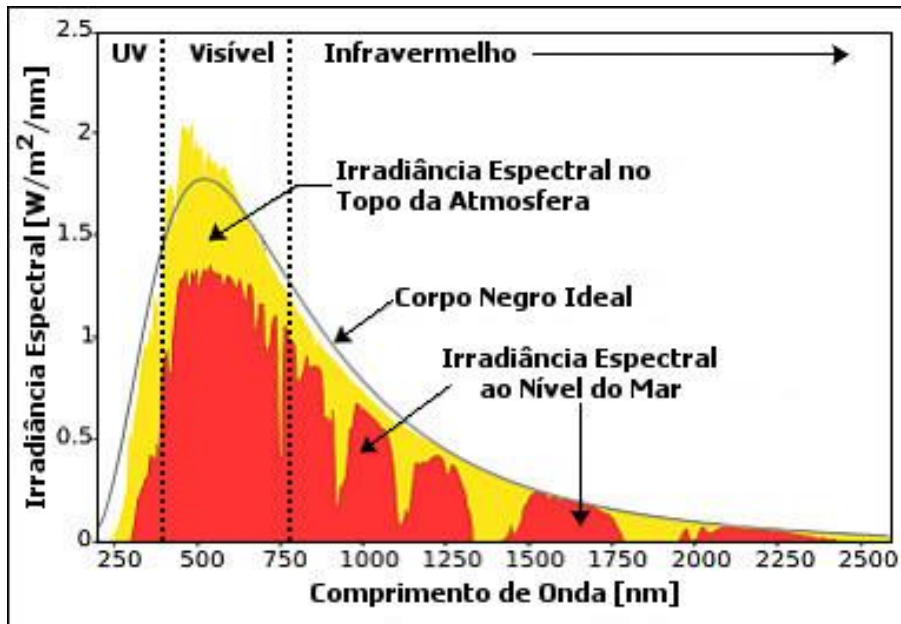
Termo referente à energia proveniente da luz e do calor do sol. O qual pode ser considerada tão intensa. O Núcleo do sol pode alcançar temperaturas perto de quarenta milhões de graus centígrados se expondo para sua superfície em até sessenta mil graus centígrados (HINRICHS, 2010). Em proporções quantitativas o astro rei tem 696.342km de raio com margem de erro de 65km comparando com a terra que tem 6.371km do raio médio (MENICONI, 2012). Anualmente a radiação solar proporciona um fornecimento para superfície terrestre de $1,5 \times 10^{18}$ kWh conforme Figura 2 (CEPEL, 2015).

2.1.1 A Radiação solar

O topo da atmosfera é atingido por uma radiação solar denominada de insolação aonde possui em torno de 9% de radiação ultravioleta, cerca de 40% de radiação do visível e 50% radiação infravermelha (HINRICHS, 2010). Parte dessa radiação ultravioleta é absorvida pelos gases de nitrogênio, oxigênio e ozônio que estão presentes na atmosfera. Da radiação total que passa pela atmosfera ainda 19% são absorvidas pelas nuvens e gases e 31% são refletidos de volta para o espaço. O restante atinge a superfície e ainda são parcialmente absorvidos (HINRICHS, 2010). O que é refletido é absorvido parcialmente pelo CO_2 e H_2O e irradiado de volta para terra gerando o chamado efeito estufa, efeito muito julgado mas ao mesmo tempo muito importante, pois mantém a temperatura da terra relativamente alta, providenciando um clima apto na qual é possível existir vida na terra.

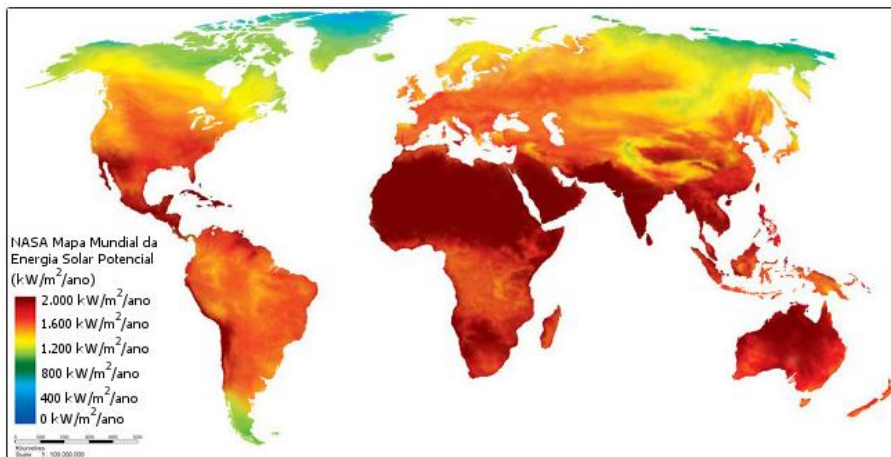
A radiação que atinge o topo da atmosfera, chamado de insolação tem uma potência de 1360W/m^2 denominado de constante solar, conforme Figura 1 (HINRICHS, 2010).

Figura 1. Espectral da radiação solar



Fonte: Geodesign (2016).

Figura 2. Distribuição do potencial energético no planeta Terra



Fonte: Geodesign (2016).

O uso dessa energia solar pode ser feito por três processos: térmico, elétrico e químico (COMETTA, 1978). Processo térmico: basicamente é uma diferença de temperatura, onde a radiação solar conduz o calor até o painel, reservatório ou frasco como em aquecimento do ambiente ou água, evaporação, destilação, fornos. Já o processo elétrico consiste em processos que a radiação solar já é transformada diretamente em energia elétrica como encontramos em geradores termoelétricos e

fotovoltaicos. Por fim o processo químico consiste na utilização da energia solar em processos como fotólise e a fotossíntese

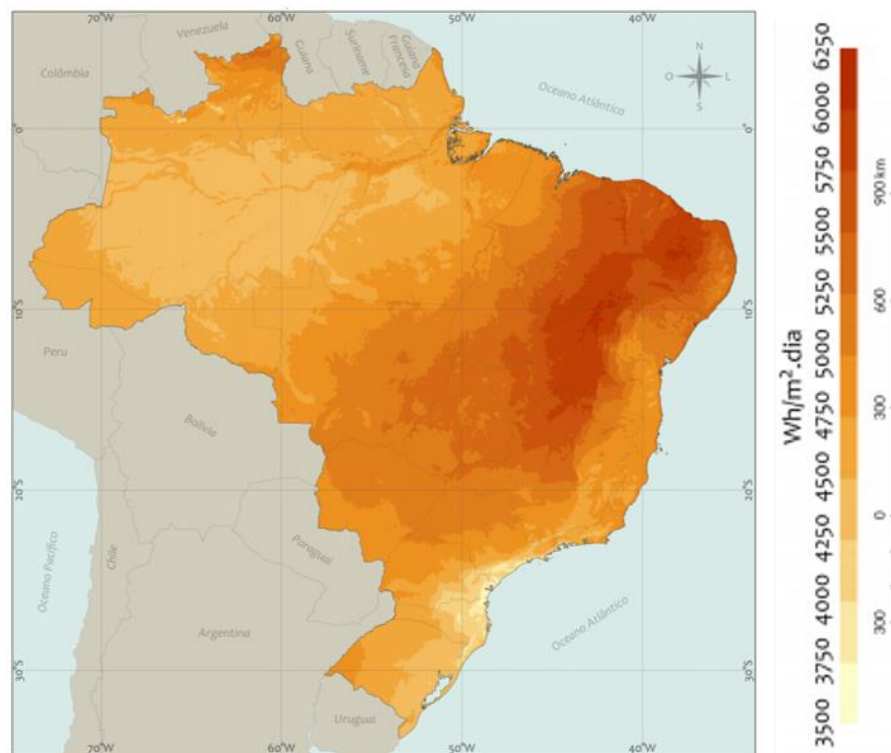
2.1.2 Irradiação solar no Brasil

A incidência global média anual no território brasileiro ocorre no Norte do estado da Bahia com um clima semi-árido com baixa precipitação pode chegar a aproximadamente 300mm/ano e a mais baixa cobertura de nuvens no País, no entanto o litoral de Santa Catarina ocorre menor irradiação solar global por precipitações bem distribuídas ao longo do ano. (Atlas Brasileiro de Energia Solar ,2017).

Ainda segundo O Atlas Brasileiro de Energia Solar, o valor de irradiação global que incidente nas quaisquer regiões do Brasil, ainda são superiores de grande parte de países da União Europeia onde projetos para aproveitamento de recursos solares já sofrem com grandes impulsos e incentivos do governo e órgãos competentes

Segundo CEPEL diariamente incide entre 4.500Wh/m² a 6.300 Wh/m² no país conforme Figura 3.

Figura 3. Total Diário da irradiação Global Horizontal



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

Após verificar-se a irradiação solar diária média mensal (kWh/m².dia) no plano horizontal que estará sujeito a edificação, no site do CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito, com isso calcula-se a Potência máxima de geração no dia pela irradiação do local por m².

$$P_t = \frac{P_{m_c}}{\phi_h} \quad (1)$$

Onde:

PT = Potência máxima de geração por m² no dia (Kwp)

Pm_c = Potência média mensal consumida durante o ano (KW.h);

Ø_h = Irradiação diária média mensal (Kwh/m².dia)

2.2 ENERGIA SOLAR ELÉTRICA

A palavra energia origina-se de um vocabulário grego, aonde energia, significa: forças em ação. Conforme, Branco (1930) nas industriais, na construção civil, no transporte e em moradias a quantidade de energia consumida cada vez é maior, tornando-se hoje um parâmetro que pode se medir o grau de desenvolvimento do local.

Ainda Branco (1930) que informa que a utilização de várias formas de energia, alavanca o desenvolvimento populacional. Aonde trouxe como consequência o seu uso irracional e o seu desperdício exagerado, gerando efeitos nocivos para o meio ambiente.

Energia Provem da diferença de potencial elétrico entre dois pontos. Com isso, acontece uma excitação dos elétrons entre eles criando uma corrente elétrica. Essa energia pode ser gerada de diversos processos os mais bem vistos na forma de energia renováveis.

Esse conceito de energias renováveis surgiu a poucas décadas, no momento em que evolução econômica estourou e o uso da eletricidade foi indispensável.

No Brasil possuímos inúmeros métodos de geração de energia limpa e inesgotáveis usadas em diversas áreas de trabalho. Conforme Nogueira (2011, p.6):

O sistema energético brasileiro configura-se como um dos maiores, mais diversificados e mais integrados em todo o mundo. Reúne milhares de unidades produtoras, que convertem diferentes energias primárias disponíveis na natureza, em vetores energéticos aptos para o uso final, colocados à disposição de milhões de consumidores mediante amplos sistemas de transporte, armazenamento e distribuição, cobrindo praticamente todo o território nacional.

A energia eólica que provem dos ventos foi descoberto milhares de anos atrás como uma fonte de geração de trabalho, porém foi na década de 70 que começou a ser aproveitada para gerar eletricidade. O primeiro equipamento chamado aerogerador foi instalado em 1976 na Dinamarca, chegando no Brasil apenas em 1992 em Fernando de Noronha (ANEEL, 2006).

O Brasil hoje já está na lista dos maiores produtores de energia eólica do mundo. Em 2014 foi o quarto colocado no ranking mundial de expansão de potência eólica instalada, aproximadamente 2.686Mw contribuindo com aproximadamente 4,3% da produção nacional da energia elétrica (ANEEL, 2006).

A energia Termoelétrica, definida em Instalações industriais usadas para geração de energia a partir do fornecimento de qualquer fonte de calor, como: produtos fósseis, vegetal ou mineral. Resumida em uma geração de energia com base no fornecimento de trabalho proveniente da queima de um produto, podendo usar fontes renováveis como, o gás natural, biomassa, óleo, carvão e bagaço, passando a ter viabilidade como um método do uso do não aproveitado na produção de eletricidade, adquirindo um espaço de aproximadamente 25,15% como um todo na geração da potência energética no Brasil (TOLMASQUIM, 2016).

A energia proveniente do biogás é produzida a partir da matéria orgânica proveniente de dejetos por bactérias, ocorrendo a conversão da energia química devido a decomposição dos resíduos, que são aglomeradas e transformadas em energia mecânica pela combustão de um motor gerador ou até mesmo por meio da queima direta em caldeiras.

Descoberta por Luis Pasteur, no século XIX, na qual foi demonstrada com uma mistura de estrume e água. Esse processo anaeróbio é composto por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfúrico, monóxido de carbono, aminas e oxigênio, podendo sofrer alteração devido à pressão e temperatura durante a fermentação (PRATI, 2010).

No Brasil o interesse pelos biodigestores começou na década de 70 com a crise do petróleo, primeiramente instalada na granja do Torto em Brasília estimulando a ou Programa de Mobilização Energética – PME iniciado pelo o governo afim de incentivar sua instalação pelos produtores rurais.

As Hidrelétricas são as principais fontes de energia elétrica do Brasil são provenientes da geração por energia hidráulicas, fornecendo entorno de 65% de toda produção do país pelo aproveitamento da energia cinética contida no fluxo de massa de água. As usinas hidrelétricas transformam através de rotação das pás da turbina que posteriormente geram geradores em energia elétrica, Conforme Tabela 1 (GOMBATA, 2016).

Devido ao armazenamento de uma grande massa de água as hidrelétricas mesmo se enquadrando na geração de energias renováveis tem um grande impacto na biosfera no local na qual são instaladas devido a enormes inundações e barragem direta da passagem da fauna pela rota fluvial sendo incrivelmente invasivas.

Quase todas as fontes de energia, são fontes indiretas da energia solar. Sem o sol não teríamos ventos para energia eólica, não existiria os processos químicos para energia da biomassa, mas diretamente podemos utilizar o sol para gerar energia a partir de painéis fotovoltaicos.

No Brasil, com a busca incessante por novas gerações de energia limpa, e um grande mercado de expansão no desenvolvimento dessa energia pois abrangemos apenas 1% da produção nacional, sendo encontrada na maioria das vezes na forma de micro geradores aonde cada um parcialmente independe de um terceiro e da concessionaria, gerando sua própria energia com um sistema regulamentado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL com painéis solares no próprio prédio de seu estabelecimento (ANEEL, 2006).

O Brasil possui no total 4.677 empreendimentos em operação, totalizando 152.178.390 KW de potência instalada, e está prevista um aumento para os próximos anos 24.547.602 KW (ANEEL, 2017).

Tabela 1. Capacidade de Geração do Brasil – Empreendimentos operando

EMPREENDIMENTO EM OPERAÇÃO				
TIPO	QUANT.	POTÊNCIA OUTORGADA (KW)	POTÊNCIA FISCALIZADA (KW)	%
Central Geradora hidrelétrica	608	529,723	530,394	0,35
Central Geradora Eólica	424	10.393.738	10.393.742	6,83
Pequena Central hidrelétrica	436	4.989.487	4.978.243	3,27
Central Geradora Solar Fotovoltaica	44	27.761	23.761	0,02
Usina Hidrelétrica	219	101.138.278	93.216.340	61,25
Usina Termoelétrica	2.944	42.831.351	41.045.910	26,97
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,31
Total	4.677	161.900.338	152.178.390	100

Fonte: ANEEL (2017).

Tabela 2. Capacidade de Geração do Brasil – Empreendimentos em construção

EMPREENDIMENTO EM CONSTRUÇÃO					
TIPO			QUANT.	POTÊNCIA OUTORGADA	%
				(KW)	
Central Geradora hidrelétrica			3	4.048	0,04
Central Geradora Eólica			162	3.795.500	33,12
Pequena Central hidrelétrica			29	374.791	3,27
Central	Geradora	Solar	37	1.063.400	9,28
Fotovoltaica					
Usina Hidrelétrica			6	1.922.100	16.77
Usina Termoelétrica			31	2.950.506	25.75
Usina Termonuclear			1	1.350.000	11.78
Total			269	11.460.345	100

Fonte: ANEEL (2017).

Tabela 3. Capacidade de Geração do Brasil – Empreendimentos à construir

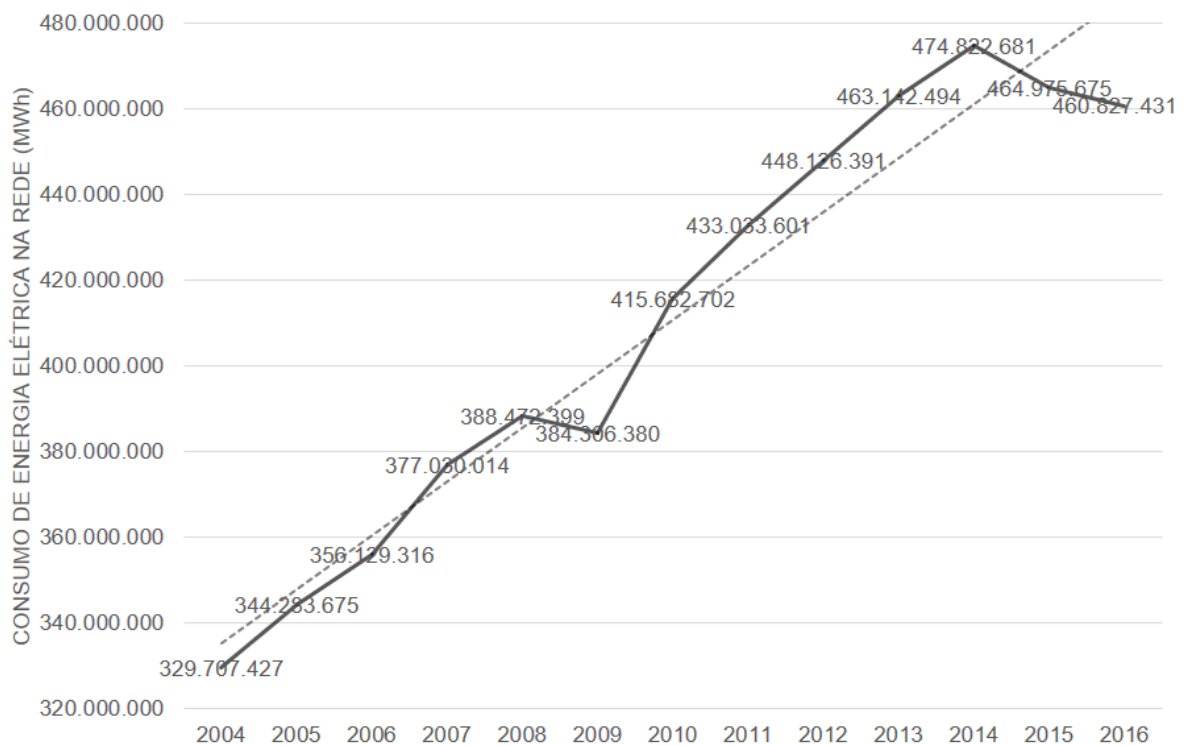
EMPREENHIMENTO À CONSTRUIR			
TIPO	QUANT.	POTÊNCIA OUTORGADA (KW)	%
Central Geradora hidrelétrica	40	31.881	0,24
Central Geradora Undi-elétrica	1	50	0
Central Geradora Eólica	167	3.800,450	29,04
Pequena Central hidrelétrica	125	1.627.750	12,44
Central Geradora Solar Fotovoltaica	74	1.919.997	14,65
Usina Hidrelétrica	8	731,540	5,59
Usina Termoelétrica	133	4.978.589	38,04
Usina Termonuclear	548	13.087.257	100

Fonte: ANEEL (2017).

2.2.1 Consumo médio de energia elétrica

Conforme EPE, (2017) O consumo nacional de energia no território Brasileiro caiu (0,9%) em 2016 com um total de 460.800 GWh puxado por um decréscimo de (-2,9%) das indústrias. Isoladamente o consumo residencial exibiu um aumento de (+2,6%) com destaque para região Sudoeste (+3,3%) e Sul (+5,4%).

Figura 4. Consumo de energia elétrica na rede Brasil nos últimos 12 anos



Fonte: Adaptado epe (2017).

O consumo médio residencial de energia elétrica no Brasil foi de 159,8KWh/mês em 2016, mas há uma grande variação entre região e estados colocando a região Norte como maior consumidora seguida pela região Sul, Conforme Figura 4.

No estado do Paraná o consumo médio é de 157,1KWh/mês com uma redução de 2,4% considerando o ano de 2015, conforme Tabela 4 (EPE, 2017).

Tabela 4. Consumo médio residencial por região e UF (KWh/mês)

	2012	2013	2014	2015	2016	$\Delta\%$ (2016/2015)
Brasil	158,9	163,0	167,2	161,5	159,8	-1,0
Subsistemas elét.	158,9	163,0	167,2	161,4	159,8	-1,0
Regiões geográficas	158,9	163,0	167,2	161,4	159,8	-1,0
Norte	160,5	167,1	179,4	183,5	183,1	-0,2
Nordeste	108,9	117,8	121,0	120,8	121,3	0,4
Sudeste	179,8	181,1	183,1	174,5	171,3	-1,8
Sul	178,5	181,6	190,3	177,4	177,1	-0,1
Paraná	168,0	169,8	172,9	161,0	157,1	-2,4
Santa Catarina	199,1	201,8	212,9	200,2	201,7	0,7
Rio Grande do Sul	176,7	181,3	194,1	180,0	182,1	1,2
Centro-Oeste	168,7	173,7	180,0	176,9	175,1	-1,0

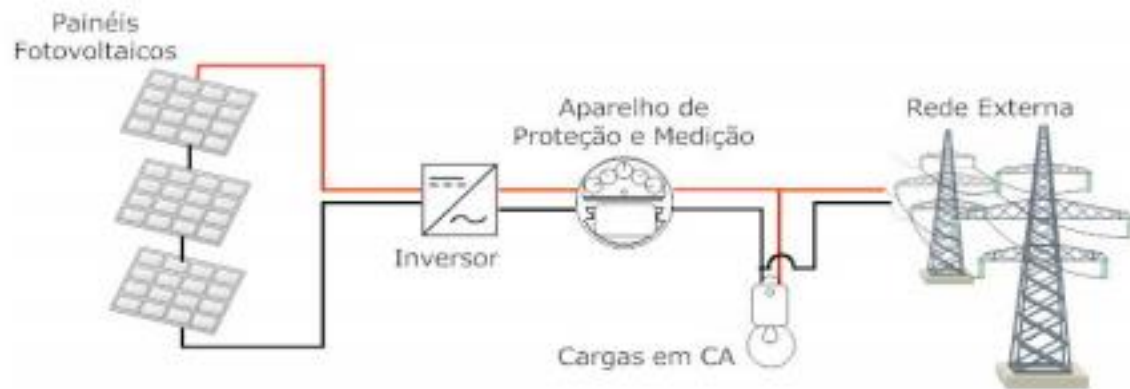
Fonte: Adptado EPE (2017)

2.2.2 Classificação do sistema

Os sistemas com potencias de geração igual ou até 75 KW são considerados Microgeradores, Acima de 75 KW até 5 MW são Minigeradores (ANEL REN 687, 2015).

Quando interligados com o sistema de fornecimento de eletricidade pode ser um sistema Isolados aonde não possui qualquer conexão com o sistema pública ou conectadas no qual são efetivamente conectados tendo uma comunicação com o mesmo, podendo ainda ser considerado um sistema puro aonde utiliza-se somente o a geração da energia fotovoltaica ou hibrido, que é associado a outro tipo de geração ou comunicação com a concessionaria. (ABNT, 2008).

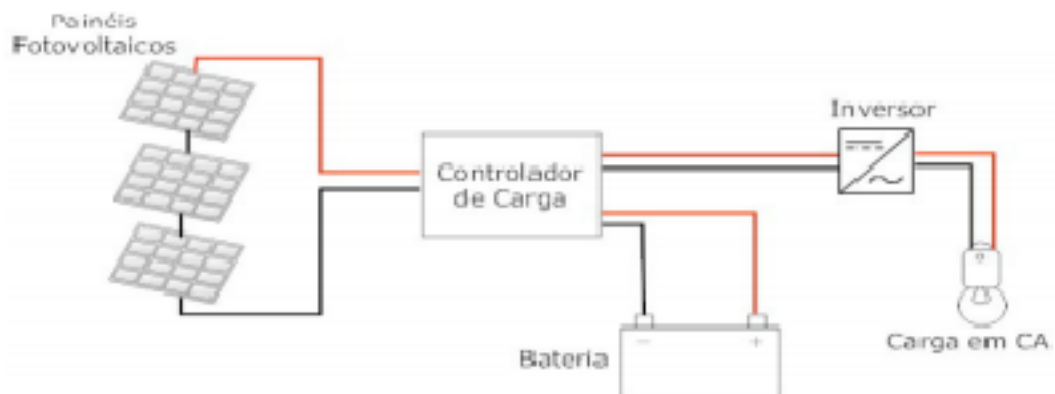
Figura 5. Sistema interligado a rede elétrica



Fonte: CRESESB (2006).

Em sistemas *ONGrid* a concessionária poderá cobrar no faturamento mensal do consumidor um custo de disponibilidade do sistema elétrico em um valor em moeda equivalente a: 30kWh em sistemas monofásico ou bifásico a dois condutores; 50kWh se for bifásico três condutores ou 100kWh em redes trifásicas. (ANEEL, 2010).

Figura 6. Sistemas Autônomos



Fonte: CRESESB (2006).

Tabela 5. Exemplo de classificação de sistema fotovoltaicos

TIPO DE SEISTEMA		ALIMENTAÇÃO DOS CONSUMIDORES	ACUMULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	COMPONENTES BÁSICOS	APLICAÇÕES TÍPICAS
Sistemas isolados	Puros	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio, etc
		Tensão Alternada	Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica, etc
	Híbridos	Tensão contínua	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial, etc.
		Tensão Alternada	Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletrificação rural, bombeamento, telecomunicação, uso industrial, iluminação, etc.
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão Alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública, etc.
	Híbridos	Tensão Alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública, etc.
			Sim	Inversor e gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimentos ininterruptos de energia, etc

Fonte: ABNT NBR (2008).

2.2.3 Componentes

Um sistema fotovoltaico necessita de quatro componentes: Pannel solar, aonde é bombeado a energia para o sistema, podendo estar ligados em paralelo ou em série conforme o uso no sistema; Controladores de carga, funcionam como uma válvula evitando sobrecargas exageradas na bateria, melhorando sua vida útil e desempenho usado apenas em sistemas autônomos; Inversores, considerado o centro do sistema é responsável por transformar a energia de 12v na forma continua (CC) vinda da bateria em energia alternada (AC) 110V ou 220V em casos de sistemas conectados à rede também são responsáveis pela sincronia entre ela e o sistema de geração fotovoltaico; Bateria, responsável por armazenar a energia elétrica para o sistema funcionar em períodos que não estiver havendo a geração quando o sistema for autônomo e não usar desse benefício direto da companhia. Conforme Figura (NEOSOLAR, 2016).

Para o Projeto efetivo de um sistema de geração solar primeiramente é levantado os dados de consumo diário pelo estabelecimento

2.2.4 Viabilidade do sistema

Parâmetros seguidos para evidenciar se energia solar é um bom investimento economicamente viável recorremos a sistema de análise onde avaliamos os custos do investimento quanto os benefícios recorrentes do mesmo. (COSTA, 2000 e FADIGAS, 1993).

As perguntas a serem cogitadas mais comuns no estudo de viabilidade referem-se, da taxa de retorno, a relação custo/benefício, o do tempo de retorno e do custo da vida útil do equipamento, mas nem sempre a decisão é necessariamente excludente entre os requisitos a serem questionados pois as mesmas se tratam de diferentes situações de investimentos.

Estudantes de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas desenvolveram um programa computacional chamado de UNIVOLT, aonde foram reunidos os principais dados técnicos desenvolvendo uma análise econômica indicando a relação custo/benefício e o valor que poria ser economizado. (José Adriano Marini; Luiz Antônio Rossi).

A metodologia “NAD” (Número de Dias Autônomos) que se constitui em um sistema de geração autônomos com armazenamento de energia baseada em um cálculo utilizando a radiação solar média do mês menos favorável, assim assegurando o atendimento de energia diária requerida.

A energia gerada varia em função do ângulo de inclinação do Sol, em painéis fixo deve-se calcular o ângulo com maior incidência durante o decorrer de todo o ano

A capacidade da bateria é determinada em decorrência da frequência do dia de menor radiação (Dias nublados durante o transcorrer do ano).

O método mais difundido para dimensionamento é do número de dias de menor radiação.

2.3 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Uso da energia proveniente do sol, em forma de calor que podem ser usadas para aquecimento de piscinas, uso domésticos, grandes empresas e outros, sempre respeitando o potencial do coletor em consideração.

A definição de um sistema de calefação com o uso solar é um processo de aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos com o uso de coletores solares, reservatórios térmicos, aquecimentos auxiliares, acessórios e suas interligações hidráulicas que podem ser por circulação natural ou forçada. (ABNT 15569, 2008).

Conforme a norma de projeto e execução de instalações prediais de água quente, padroniza que a temperatura máxima permitida seja de 70°C e o ponto de utilização a 42°C com pressão estática inferior a 400Kpa, sendo obrigatório o uso de misturadores para uso humano, onde deve ser evitada a possibilidade de inversão de água quente no sistema frio, ou vice-versa e uma pressão dinâmica da tubulação inferior a 5Kpa com velocidade superior a 3m/s.

O consumo diário de água quente, é estimado em tabelas pré-determinadas (NBR 7198).

Tabela 6. Consumo diário de água quente nas edificações

EDIFICAÇÃO	CONSUMO DIÁRIO (LITROS)
Alojamento provisório	24 per capita
Apartamento	60 per capita
Casa popular ou rural	36 per capita
Escola (internato)	45 per capita
Hospital	125 por leito
Hotel (s/cozinha e s/ lavadeira)	36 por hóspede
Lavanderia	15 por Kg de roupa seca
Quartel	45 per capita
Residêncial	45 per capita
Restaurante e similares	12 por refeição

Fonte: ABNT NBR (1993).

O número de pessoas varia com o projeto no qual está sendo executado, mas para valores experimentais encontramos números médio em fontes como o IBGE

Tabela 7. Número médio de pessoas por residência

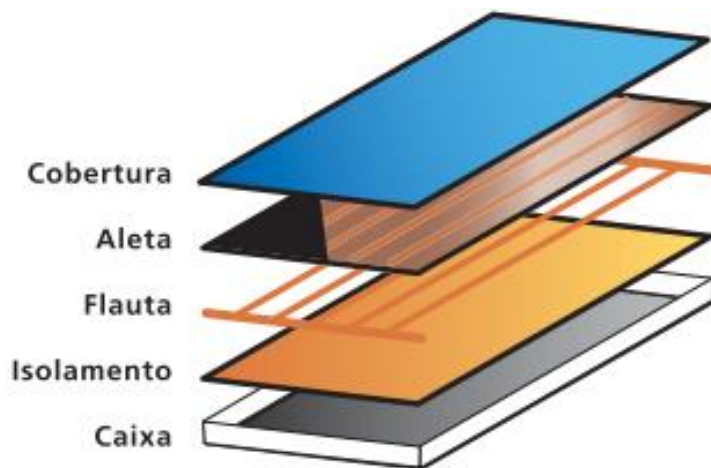
UNID. DA FEDERAÇÃO	Nº MÉDIO DE PESSOAS	HOMENS (%)	MULHERES (%)
Rondônia	3,0	67,9	32,1
Acre	3,4	56,1	43,9
Amazonas	3,4	55,9	44,1
Roraima	3,0	56,8	43,2
Pará	3,2	62,9	37,1
Amapá	3,5	59,9	40,1
Tocantins	3,0	62,4	37,2
Maranhão	3,4	59,5	40,5
Piauí	3,0	62,8	37,2
Ceará	3,1	62,4	37,6
Rio Grande do Norte	3,0	59,7	40,3
Paraíba	3,0	60,6	39,4
Pernambuco	3,0	59,2	40,8
Alagoas	3,2	59,1	40,9
Sergipe	2,9	62,7	37,3
Bahia	2,9	58,2	41,8
Minas Gerais	2,8	64,1	35,9
Espírito Santo	2,8	61,5	38,5
Rio de Janeiro	2,7	55,6	44,4
São Paulo	2,9	62,3	37,7
Paraná	2,8	64,1	35,9
Santa Catarina	2,7	64,9	35,1
Rio Grande do Sul	2,6	59,7	40,3
Mato Grosso do Sul	2,8	63,6	36,7
Mato Grosso	2,8	61,9	38,1
Góiais	2,8	63,2	36,8
Distrito Federal	2,9	54,7	45,3

Fonte: Adptada IBGE (2013).

2.3.1 Componentes

Coletores solar: é o equipamento responsável por absorver ou tirar o calor a radiação solar aquecendo podemos encontrar com maior abundância os modelos de coletores fechados planos mais usados para fins sanitários com uma capacidade superior a 80°C contemplado com isolamento térmico, aletas pintadas de negro, cobertura transparente e vedações e os abertos planos para aquecimento de piscinas geralmente em mangueira para temperaturas até 50°C sem um revestimento específico (CEPEL, 2016).

Figura 7. Coletor Solar Plano Fechado



Fonte: Procel (2010).

Figura 8. Coletor Solar Plano Aberto



Fonte: JF Aquecedores (2008)

Reservatório térmico: tem função de armazenar e manter a água aquecida pelos coletores solares, dimensionado com base na demanda diária do consumo de água quente definido pela NBR 10185/2013

$$C_{aq} = CP \quad (2)$$

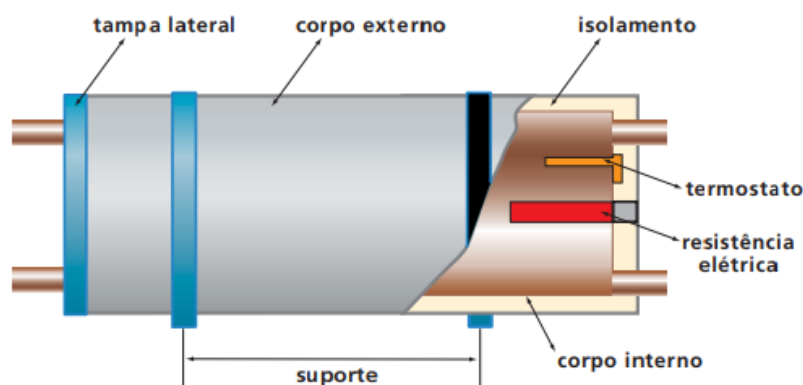
Onde:

C_{aq} = Consumo de água quente (L/dia);

C = Consumo diário "per capita" (L/dia);

P = População.

Figura 9. Reservatório térmico



Fonte: Porcel (2010).

2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICAS

A energia fotovoltaica é obtida através da conversão de radiação solar em energia elétrica por meio de materiais semicondutores. Aonde a radiação solar incidente sobre a placa libera fótons que empurrão os elétrons existentes para fora do equipamento. Esse fenômeno é conhecido por Efeito Fotovoltaico

2.4.1 Células fotovoltaicas

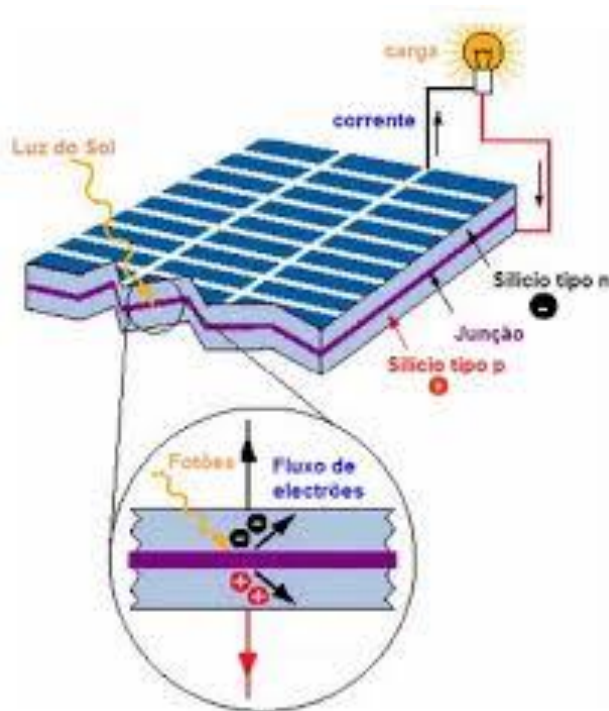
O efeito fotovoltaico foi descoberto por um físico Frances em 1939, conhecido como Edmund Becquerel que ao observar certos materiais expostos a luz, observou-se que eram capazes de produzir corrente elétrica. Porém somente em 1954 foi produzido a primeira célula fotovoltaica com eficiência de conversão, a partir disto iniciaram-se pesquisas na área com foco principal em aplicações espaciais (ONUDI, 2014). Através da conversão direta da luz por meio do efeito fotovoltaico é possível se obter a energia elétrica (CRESESB, 2006).

Na produção de células são utilizados materiais semicondutores que tem como características a presença de bandas de Valencia onde possuem elétrons e outras bandas vazias chamadas de bandas de condução. As células fotovoltaicas trabalham com o seguinte princípio, onde os fótons incidentes colidem com os átomos dos materiais semicondutores, assim fazendo com que os elétrons sejam deslocados, porém se os elétrons forem retidos antes de voltarem a seus orbitais atômicos, podem ser aproveitados como corrente elétrica (COMETTA, 1978).

A maioria das células fotovoltaicas são produzidas utilizando o silício, pois possui grande disponibilidade na natureza e um bom rendimento. Seus átomos possuem quatro elétrons na camada de Valencia fazendo ligação com os elétrons do átomo vizinho, criando assim uma rede cristalina com oito elétrons na camada de Valencia, resultando em uma estrutura má condutora, para isto é utilizado a dopagem uma técnica onde são colocados outros elementos para aumentar a condutividade do material (CRESESB, 2006).

A partir do silício puro, introduzindo-se átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, então será formada a junção (pn), ambos esses materiais são eletricamente neutros quando separados, onde o silício tipo (n) possui elétrons em excesso já o tipo (p) possui ausências em excesso, porém com a união (pn) os semicondutores criam um campo elétrico, como uma bateria (CRESESB, 2006).

Figura 10. Célula Fotovoltaica



Fonte: ENERGIATCSOLAR (2010).

2.4.2 Tipos de Painéis solares fotovoltaicos

Podemos encontrar um leque enorme de opções de painéis solar fotovoltaicos, mas com o avanço do mercado e inovações tecnológicos existe uma grande diferença de valores e eficiência entre eles.

Quando falamos em eficiência do painel, estamos falando em porcentagem de conversão efetiva da energia solar em energia elétrica em metro quadrado do painel por hora, assim quando maior a sua eficiência menos equipamentos serão necessários calculado pela Equação: (LINHARES, 2016).

$$\eta = \frac{P}{A} * \frac{1}{10} \quad (3)$$

Onde:

η = Eficiência do painel em %;

P = Potencia fornecida pela painel;

A = Área total do painel.

Tabela 8. Relação da eficiência de painéis solares

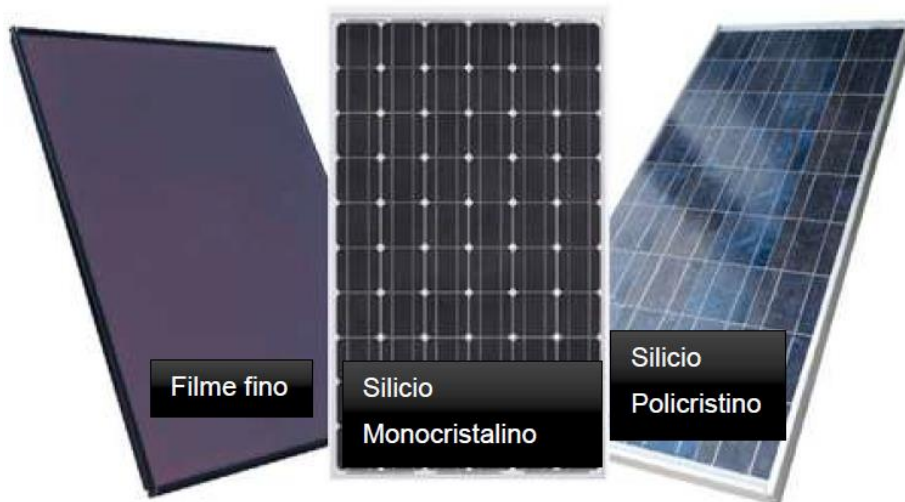
EFICIÊNCIA	% PAINEIS PRODUZIDOS	CLASSIFICAÇÃO
>=16%	≈ 10%	Peineis mais eficientes
15% - 15,9%	≈ 30%	Acima da média de eficiência
14% - 14,9%	≈ 30%	Eficiência OK
13% - 13,9%	≈ 20%	Abaixo da média da eficiência
<13%	≈ 10%	Os painéis menos eficientes

Fonte: PORTALSOLAR (2017).

Ainda por Linhares (2016), quase 80% de todos painéis solares do mundo são baseados em uma variação de silício onde quanto mais puro e bem alinhada sua composição maior é a eficiência do painel que por consequência mais alto será o seu valor efetivado em aproximadamente 45% devido a essa variação, relatando que a eficiência não é a única preocupação a se considerar como descrito nos modelos mais utilizados abaixo:

Painel solar fotovoltaico de silício monocristalino (mono-Si) pode ser considerado a tecnologia mais antiga e mais cara com as maiores eficiências, variando entorno de 14 a 21% com uma vida útil maior de 30 anos vindo com garantia de mercado por 25 anos. Esse painel pode ser facilmente reconhecido por sua cor uniforme de um azul escuro ou quase preto, quando com proteção antirreflexo, cinza ou azul acinzentado com cantos arredondados conforme a Figura abaixo. Esse painel é feito apenas de um único cristal por um processo conhecido de Czochralsiki de forma arredondada aonde este é fatiado fazendo assim laminas de silício individuais tendo como suas células as medidas padrão de mercado 10x10xm, 12,5x12,5cm e 15x15cm. (LINHARES, 2016).

Figura 11. Tecnologia fotovoltaicas



Fonte: Exsolar (2017).

Painel solar fotovoltaico de silício polisifício (p-Si) ou multi-cristalino (mc-Si) tem como a principal diferença do painel monocristalino o método utilizado na fundição do cristal, sendo no poli fundidos em bloco quadrados mantendo a formação de múltiplos cristais que posteriormente são fatiados em laminas como nos painéis monocristalinos sendo ligeiramente menos eficiente entre 13 a 16,5% por não ser um único cristal menos puro, mas podendo aproveitar melhor seu material reduzindo significativamente no valor. Sua vida útil está na faixa dos 30 anos tendo garantia de 25 anos da fábrica. Como tamanhos padrões de mercado, temos as células em 10x10cm, 12,5x12,5cm e 15x15cm nas cores azul com tratamento antirreflexo ou cinza prateado mais simples conforme a Figura abaixo. (LINHARES, 2016).

Painel solar de filme Fino (TFPV) possuem várias camadas finas de material fotovoltaico que se classificam em quatro substrato conforme sua composição: Silício amorto (a-Si) com um baixa produção de energia aproximada em 6 a 9% por ser de baixo custo usado em situações de pequenas escalas, como calculadoras de bolso; Telureto de Cádmio (CdTe) considerado a melhor tecnologia de painéis de película fina com baixo custo e uma eficiência entre 9 a 11% muito usada em grandes instalações como usinas ou campos solares; Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (Cis / CIGS) A mais eficiente das placas de filme fino podendo alcançar até 13%, muito usada em painéis flexíveis, tendo um desenvolvimento promissor por ainda estar em fase de pesquisa. (LINHARES, 2016).

Painel Solar Híbrido (HJT), a mais nova tecnologia do mercado conhecida como Heterojunção possui uma grande semelhança com os painéis de Silício Amorfo (a-Si) mais com avanços tecnológicos acarretando na sua eficiência em até 23% que aguenta altas temperaturas tornando-se uma das melhores opções, é encontrado na forma arredondado na cor quase preta com tratamento antirreflexo com o tamanho padrão de 15,6x15,6cm mais ainda não está disponível para o mercado Brasileiro. (LINHARES, 2016).

2.5 SISTEMA HÍBRIDO

O sistema Híbrido seria a junção de duas funções em um único módulo onde encontra-se a energia proveniente do sol sendo convertida em energia elétrica e térmica.

Um Painel fotovoltaico converte entre 4 a 17% da radiação solar incidente em energia elétrica (LISBOA, 2010). Podendo dizer que além das perdas por reflexão, mais da metade da radiação é dissipada em forma de calor, o que pode acarretar em um alto acréscimo nas temperaturas do painel perdendo aproximadamente 0,5% a cada grau acima dos 25°C, além de poder causar danos na estrutura das células fotovoltaicas ou até o modulo como um todo (CHOW, 2010).

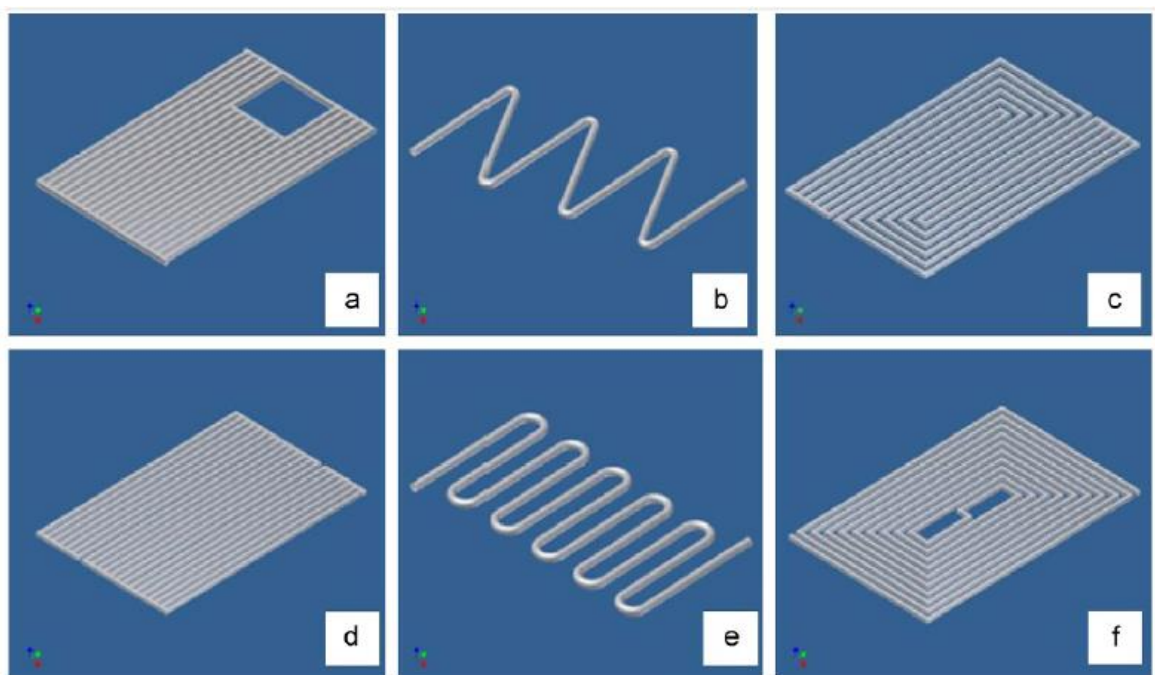
Ainda por CHOW (2010), os primeiros estudos para a tecnologia híbrida começaram a ser documentada na década de 1970, onde pesquisadores apresentaram a ideia da utilização de ar ou água no processo de resfriamento dos painéis, tentando restringir o maior aquecimento na temperatura máxima de operação dos painéis.

Na década de 1980, BHARGAVA; GARG; AGARWAL (1991), trabalharam em um estudo analítico experimental de um sistema híbrido aonde concluíram que em termos de performance total que coletores com dois vidros de isolamentos são melhores que os simples provando a teoria de resfriamento dos painéis.

Bergene e Lovvik na década de 1990 detalharam um coletor híbrido com o uso de água para arrefecimento conseguindo uma eficiência total do sistema entre 60% e 80%. Além disso mostraram que fatores como quantidade de água no tanque de armazenamento influenciam na sua temperatura final, contudo tanques muito grandes não alcançavam a temperaturas ideias para uso (BERGENE; LOVVIK, 1995).

Conforme CHOW (2010), ele citou um estudo em Zondag, onde modelos de sistemas híbridos com água foram desenvolvidos para análise da eficiência total, com isso obteve-se curva de eficiência de nove diferentes configurações de coletores dispondo as posições dos tubos, configurações dos mesmos, tipos de células, os quais apresentaram uma eficiência térmica entre 52% e 65% destacando os módulos de silício monocristalino como os de maiores desempenhos elétricos e o fluxo espiral para a melhor transferência térmica .

Figura 12. Diferente Configurações de coletores



Fonte: Adptado Ibrahim (2009).

(a) Fluxo direto; (b) fluxo em serpentina; (c) fluxo em serpentina paralela; (d) fluxo modificado de serpentina paralela; (e) fluxo oscilatório; (F) fluxo espiral.

MARQUES (2010), em seu estudo, analisou a viabilidade dos coletores para aplicação de aquecimento de água e micro geração elétrica, neste estudo três diferentes painéis foram avaliados sendo primeiro composto por a placa e tubos sem cobertura, segundo com cobertura na placa e tubos e terceiro apenas com os tubos e células transparentes.

Ainda por MARQUES (2010), seu estudo mostrou que os melhores coletores para desempenho térmico do sistema foram com tubos cobertos conservando um isolamento do sistema, já a melhor eficiência de geração de energia elétrica ocorreu

nas placas e tubos sem cobertura tendo uma melhor dissipação do calor retirado pelos coletores, no terceiro com menor desempenho nos dois quesitos o painel e tubos transparentes.

Devido ao potencial de produção de energia hoje já podemos encontrar estudo em painéis fotovoltaicos com resfriamento por água tubulado (Híbridos), sistema de circulação de ar direta ou indireta, e troca térmica direta com água (Sistemas flutuantes de geração).

Figura 13. Sistema de geração solar Híbrido/água, (Térmica e Elétrica)



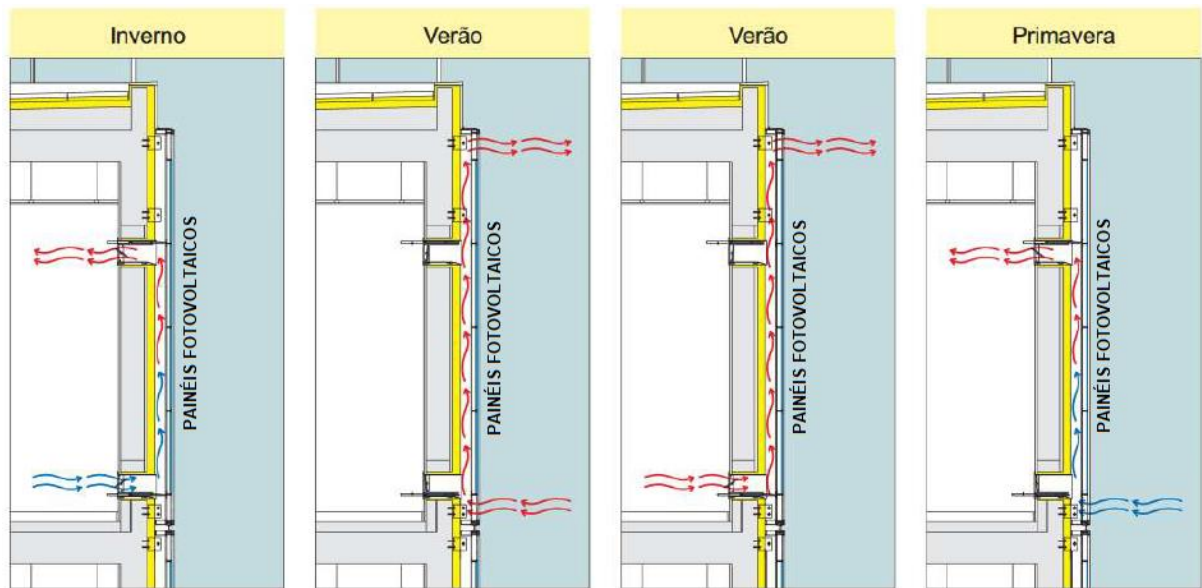
Fonte: Hipolito (2016).

Figura 14. Sistema de geração solar flutuante



Fonte: Brasken e Ciel & Terre Brasil (2017).

Figura 15. Sistema de geração solar Híbrido/ar, (Térmica e Elétrica) para conforto térmico



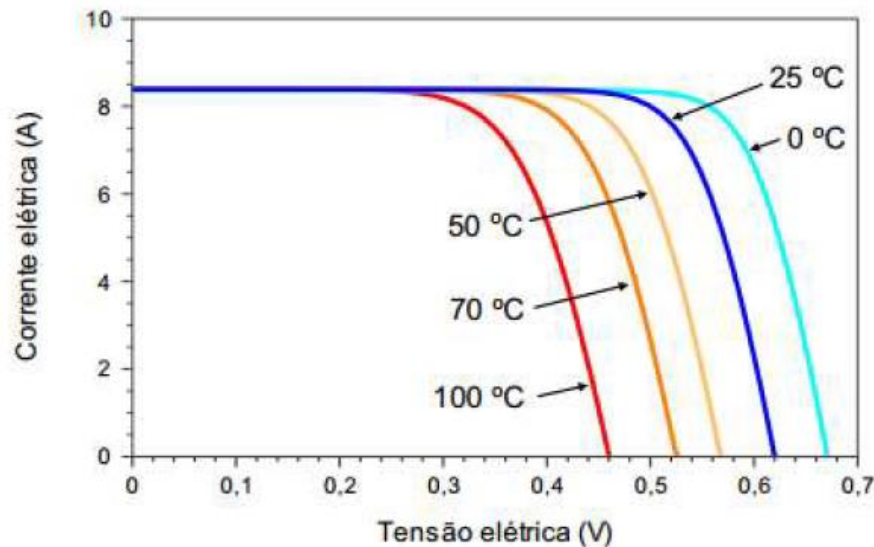
Fonte: Adptado Gonçalves, 2011

2.6 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

2.6.1 Efeito da temperatura nos painéis

Com o aumento da temperatura das células há uma evidente diminuição no nível de tensão, por consequência, o ganho de corrente é insignificante resultando em uma alteração na potência de saída do painel ocasionando uma perda da sua eficiência (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 16. Influência da temperatura no painel (I-V)



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Um painel fotovoltaico dependendo do tipo de tecnologia na sua construção e sua condição de trabalho converte de 4 à 17% da radiação solar em eletricidade assim mais de 30% dessa energia depositada pela irradiação solar é convertida em calor (GHENSEV, 2006).

Segundo Gnoato (2005), na região de Cascavel – PR a temperatura de operação da placa chega em 51°C, temperatura semelhante ao NOCT assim como as características dos painéis apresentados pelo fabricante, mas apresentando um rendimento 25% menor que a fornecida em condições de trabalho na STC.

Essa diminuição na eficiência das células foi estudada por diversos autores que chegaram na conclusão que existe um padrão linear no efeito da temperatura sobre o rendimento dos módulos. Esse padrão foi descrito em 1975 por Evans.

$$\eta = \eta_r [1 - \beta(T_{\text{cel}} - T_r)] \quad (4)$$

Onde:

η = Eficiência da célula corrigida. (%);

η_r = Eficiência da célula na temperatura referência. (adm);

β = Coeficiente da temperatura; (mW°C);

T_{cel} = Temperatura da célula. (°C);

T_r = Temperatura de referência. (°C);

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO

A Análise foi desenvolvida em um modo experimental utilizando parâmetros para suprir a necessidade de consumo médio de uma família da região sul usando um sistema de baixa tensão Bifásico ligado à rede.

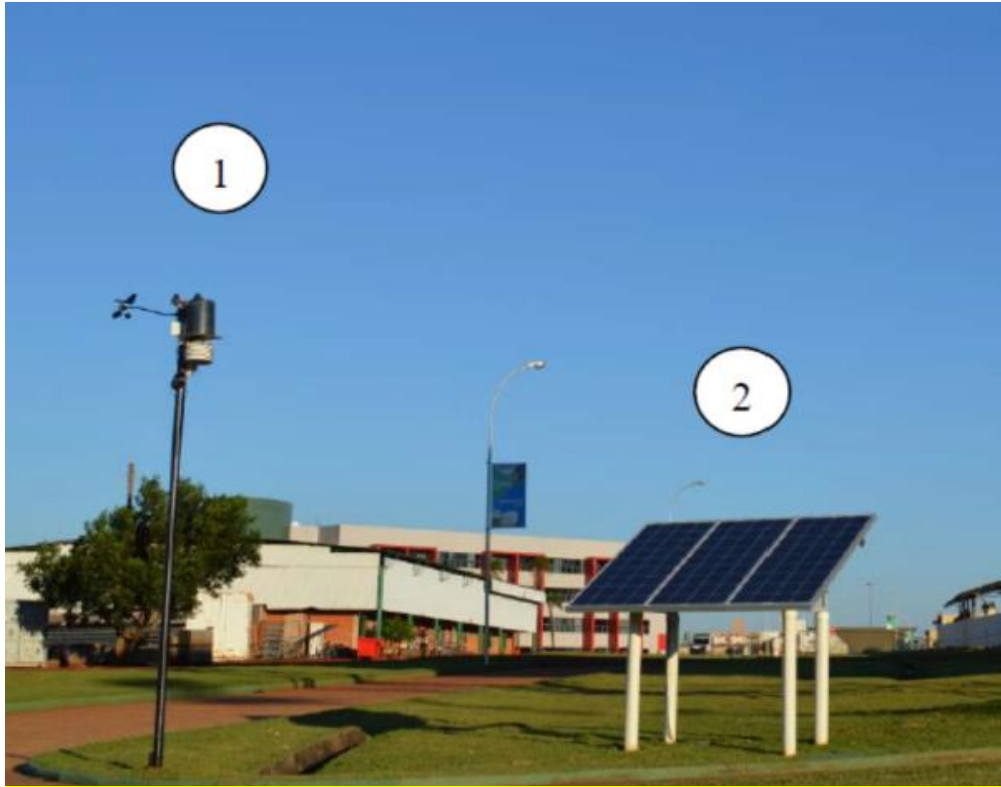
Base de dados do local e painéis foram utilizando conforme a estação meteorológica do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz no Bloco das Engenharias, localizado no município de Cascavel, Paraná nas coordenadas geográficas $24^{\circ} 57'$ Latitude Sul (S) e $53^{\circ} 27'$ Longitude Oeste (W) com altitude média de 781 acima do nível do mar

Figura 17. Localização da estação meteorológica e painéis fotovoltaicos



Fonte: Adaptado Google Maps (2017).

Figura 18. Vista panorâmica estação meteorológica



Fonte: Adaptada de Debastiani (2013).

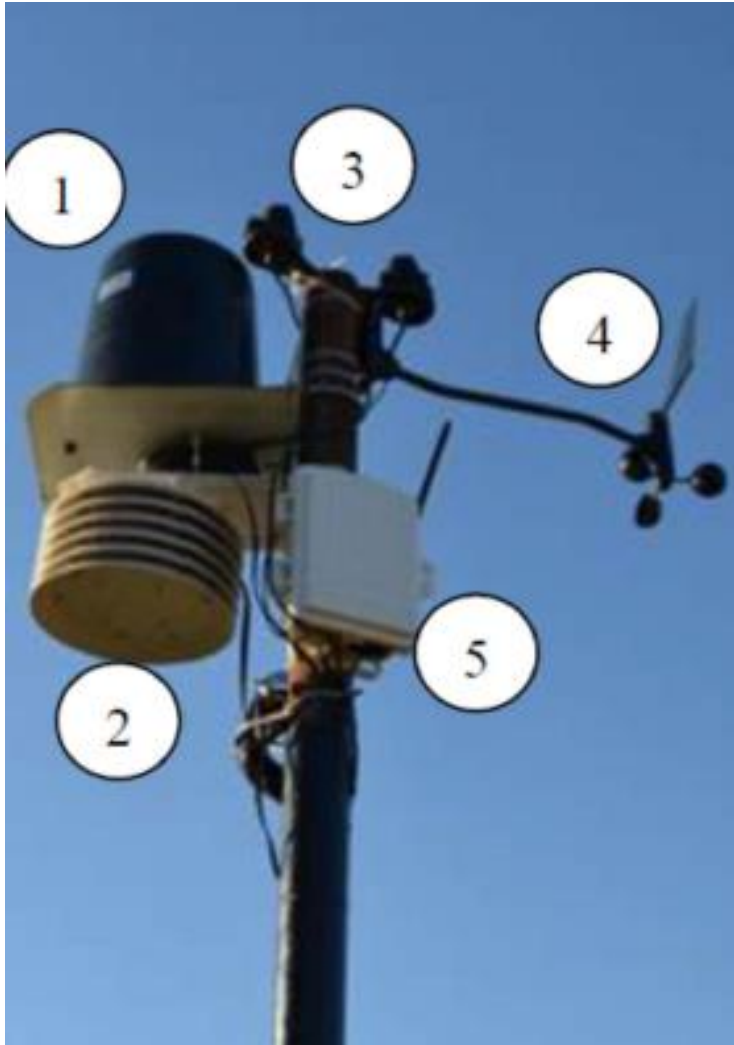
A estação contempla:

Um micro estação meteorológica (1) da marca Davis Instruments com conjunto de sensores integrados (ISS) modelo Vantage PRO2 6162, instalado a 3 metros de altura em uma torre confeccionada em alumínio tubular.

Um módulo fotovoltaico (2) com painéis da marca BYD voltada para o norte geográfico no qual foi executado as adequações para análise do seu funcionando como um sistema híbrido para geração de energia.

3.1.1 Micro estação Meteorológica

Figura 19. Micro estação Meteorológica



Fonte: Adaptada de Debastiani (2013).

A micro estação contém: (1) senso de chuva – pluviométrico modelo 7852: Rain Collectos, 0,2mm; (2) sensor de temperatura, sensor de umidade e sensor de pressão atmosférica modelo 7859; (3) Sensor de radiação solar e da radiação UV – piranômetro modelo 6450; (4) anemômetro modelo 57911; (5) “Wireless” ISS alimentado por uma bateria 3V de lítio se comunica com o Console Vantage Pro2 localizado no Laboratório de Fontes de Energias Renováveis.

Todos os equipamentos da estação se comunicam com o Console Vantage Pro2 via onda de rádio de baixa intensidade aonde são transferidos do console para um computador através de um cabo USB e analisados com ajuda de software.

3.2 CÁLCULO DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA NO SISTEMA DE BAIXA TENSÃO LIGADO A REDE

3.2.1 Dados:

Consumo médio de energia elétrica no estado do Paraná: 157,1KWh/mês.

Considerado um sistema Bifásico com tarifa mínima de: 50KWh/mês.

3.2.2 Irradiação Solar

Conforme dados do cresesb a Irradiação solar no plano horizontal para as coordenadas geográficas 24° 57' Latitude Sul (S) e 53° 27' Longitude Oeste (W)

Tabela 9. Irradiação solar no Plano Inclinado

INCLINAÇÃO	IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA MENSAL (kWh/m².dia)												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
0° N	5,67	5,83	5,25	4,58	3,81	3,11	3,61	3,92	4,14	5,44	5,86	6,39	4,80
25° N	5,10	5,56	5,45	5,32	4,90	4,15	4,79	4,70	4,43	5,32	5,34	5,63	5,06

Fonte: CRESESB (2017).

Assim podemos encontrar uma irradiação solar mensal média anual de: 5,60 KWh/m².dia.

3.2.3 Produção necessária do sistema fotovoltaico.

Para análise de comparação entre os sistemas não será considerado perdas e cálculos de segurança no dimensionamento do sistema.

$$C_{\min} = \frac{(CM - Z)}{30} \quad (5)$$

Onde:

$C_{\min}$ = Produção mínima necessária do sistema. (KWh/dia);

CM = Consumo Médio anual, mês. (KWh/mês);

Z = Tarifa mínima mensal cobrada pela concessionária. (KWh/mês);

$$C_{\min} = \frac{(157,1 - 50)}{30}$$

$$C_{\min} = 3,57 \text{ KWh/dia}$$

3.2.4 Potência Requerida pelo sistema fotovoltaico.

$$PS = \frac{C_{\min}}{\phi_h} \quad (6)$$

Onde:

PS = Potência requerida do sistema. (KWp);

$C_{\min}$ = Produção mínima necessária do sistema. (KWh/dia);

ϕ_h = Irradiação solar no plano horizontal. (KWh/dia);

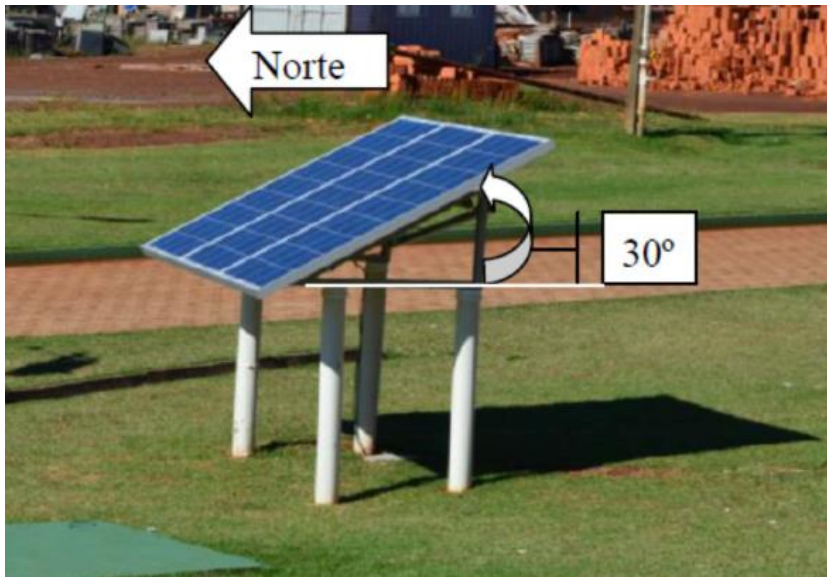
$$PS = \frac{3,57}{5,06}$$

$$PS = 0,706 \text{ KWp}$$

3.2.5 Seleção do painel

Painel selecionado foi da marca BYD modelo 146 P6-18, devido a ser o equipamento disponível dentro do Centro universitário FAG, assim conseguimos maiores dados e estatísticas sobre o mesmo quando necessário.

Figura 20. Módulo Fotovoltaico



Fonte: Adaptada de Debastiani (2013).

O sistema contempla uma potência nominal de 140 Wp cada e tensão individual de 18 Vcc, gerando m total de 420 Wp instalado. O modulo está instalado voltado ao norte geográfico com inclinação em um ângulo de 30° correspondendo à latitude local de $(24^\circ 57')$ adicionada de 5° .

Tabela 10. Especificações técnicas do módulo fotovoltaico

MARCA/MODELO: BYD/146 P6-18	
ESPECIFICAÇÕES FÍSICAS	
Dimensões	1482 x 676 x 50 mm
Peso	13 Kg
Número de células	36
Área de células do módulo	1,0018 m ²
ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS	
1000 w/M², 25°C célula, AM1.5	
Tensão nominal	18Vcc
Potência máxima	140 Wp (Watt pico)
Corrente de curto-circuito	8,76 Vcc
Tensão de circuito aberto	21,49 Vcc
Corrente de máxima potência	7,78 A
Tensão de máxima do sistema	1000 Vcc
Temp. nomina de operação de célula	45±2°C
Tolerância	±3%
ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS	
Células	Silício policristalino
Fabricante	BYD Company Limited
Cor	Azul
Eficiência do painel	13,97%

Fonte: Extraída do manual do equipamento

3.2.6 Quantidade de painéis

Sabendo que a potência requerida para o sistema é de 0,706KWp e potência gerada pelos painéis selecionados é de 140Wp.

Conforme CHOW, T,(2003), corrigimos a potência relatada pelo fabricante considerando uso de 80% da mesma para desconsiderar perdas devido ao aquecimento do mesmo.

$$P_p = P \times 80\% \quad (7)$$

Onde:

P_p = Potência de geração do painel horizontal corrigida. (Wh);

Q_p = Potência de geração do painel horizontal conforme fabricante. (Wh);

$$P_p = 140 \times 80\%$$

$P_p = 112\text{KWh}$

Conforme CHOW, T,(2003), a quantidade de painéis para suprir a potência requerida.

$$Q_p = \frac{PS}{P_p} \quad (8)$$

Onde:

Q_p = Quantidade de painel;

PS = Potência requerida do sistema. (Wh);

P_p = Potência de geração do painel horizontal corrigida. (Wh).

$$Q_p = \frac{706}{112}$$

$Q_p = 6,30$

$$Q_p = 7 \text{ Painéis}$$

3.2.7 Correção da Potência produzida

$$P_t = P_p \times Q_p \quad (9)$$

Onde:

P_t = Potência total gerada pelo sistema. (Wh);

P_p = Potência de geração do painel horizontal corrigida. (Wh);

Q_p = Quantidade de painel.

$$P_t = 112 \times 7$$

$$P_t = 784 \text{ Wh}$$

$$P_t = 0,784 \text{ kWh}$$

3.3 CÁLCULO DE AQUECEDOR POR ÁREA DE PAINEL DISPONÍVEL

3.3.1 Dados

Conforme IBGE, o número médio de pessoas por residência no Paraná é de 2,8 pessoas, considerando nos cálculos o número de 3 pessoas por residência.

Será disposto 6 painéis da marca BYD modelo 146 P6-18 com dimensões e 1482 x 676 x 50 mm por placa.

3.3.2 Consumo diário de água quente

Segundo NBR 7198 (1982), O consumo diário de água quente, é estimado, conforme Tabela Consumo diário de água quente nas edificações seguindo da formula

$$C_D = C_{AQ} \times P \quad (10)$$

Onde:

C_D = Consumo diário de água quente. (l/dia);

C_{AQ} Consumo diário de água quente “per capita” (Tabela Consumo diário de água quente nas edificações, l/dia);

P = População da edificação. (Pessoas).

$$C_D = 45 \times 3$$

$$C_D = 135 \text{ litros/dia}$$

3.3.3 Reserva de água quente

A determinação do Volume de água a ser reservado é feita a partir da aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica, ou seja:

$$Q_{cedido} = Q_{recebido}$$

Conforme ÇENGEL (2012), considerando o regime permanente, e que nem um trabalho de máquina é realizado, temos a formula da Primeira Lei da Termodinâmica:

$$m_1 \times c_1(t_{i1} - t_f) = m_2 \times c_2(t_f - t_{i2}) \quad (11)$$

Onde:

m = Vazão em massa. (l/h);

c = Calor específico. (Kcal/kg°C);

t = Temperatura. (°C)

Como se trata de um mesmo líquido ($c_1 = c_2$), a fórmula passa a ser:

$$(m_1 \times t_{i1}) + (m_2 \times t_{i2}) = (m_1 + m_2)t_f$$

$$(m_{AQ} \times t_{AQ}) + (m_{AF} \times t_{AF}) = (m_{MIST} + t_{MIST})t_f$$

Onde:

m_{AQ} = Volume de água quente. (litros/dia);

t_{AQ} = Temperatura da água quente no aquecedor. (Usual 70°C);

m_{AF} = Volume de água fria. (litros/dia);

t_{AF} = Temperatura da água no inverno. (Usual 15°C);

t_{MIST} = Temperatura de mistura, água morna. (Usual 42°C);

m_{MIST} = Volume de água de mistura utilizado. (Tabela Consumo diário de água quente nas edificações).

$$V_{MIST} = V_{AF} + V_{AQ}$$

$$m_{AQ} \times 70^{\circ}\text{C} + 15^{\circ}\text{C} \times (m_{MIST} - m_{AQ}) = 42^{\circ}\text{C} \times m_{MIST}$$

OU:

$$m_{AQ} = 0,51 \times m_{MIST}$$

(V_{MIST}) Conforme Tabela Consumo diário de água quente nas edificações, valor em residência é de 45 Per Capita

$$m_{AQ} = 0,51 \times 45$$

$$m_{AQ} = 22,95 \text{ litros/dia}$$

3.3.4 Total de água quente disponível/dia

Segundo NBR 7198 (1982), o cálculo de água quente será multiplicado pela reserva mínima existente.

$$mt_{AQ} = C_D + m_{AQ} \quad (12)$$

Onde:

mt_{AQ} = Volume total de água quente disponível por dia. (l/dia);

C_D = Consumo diário de água quente. (l/dia);

m_{AQ} = Volume de reserva de água quente. (l/dia)

$$mt_{AQ} = 135 + 22,95$$

$$mt_{AQ} = 157,95 \text{ litros/dia}$$

3.3.5 Vazão mássica

Conforme ÇENGEL (2012), a tabela A-9, Anexo 1 o (p) para água em 25°C é 997kg/m³

$$\dot{m} = \left(\frac{mt_{AQ}}{24\text{h} \times 3600\text{s}} \right) \times \rho_{H_2O} \quad (13)$$

Onde:

$\dot{m}$ = Vazão mássica. (m^3/s);

m_{tAQ} = Volume total de água quente disponível por dia. (l/dia);

ρ = Densidade do fluído. (kg/m^3);

$$\dot{m} = \left(\frac{157,95}{24\text{h} \times 3600\text{s}} \right) \times 997$$

$$\dot{m} = 1,822\text{m}^3/\text{s}$$

3.3.6 Diâmetro da tubulação

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho \times \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right)} \quad (14)$$

Onde:

V = Velocidade. (m/s);

$\dot{m}$ = Vazão mássica. (kg/s);

ρ = Densidade do fluído. (kg/m^3);

d = Diâmetro da tubulação. (m).

$$3 = \frac{1,822}{997 \times \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right)}$$

$$d = 0,02784\text{m}$$

$$d = 27,84\text{mm}$$

3.3.7 Coeficiente de Reynolds

Conforme ÇENGEL (2012), a tabela A-9, Anexo 1 o (ρ) para água em 25°C é $997\text{kg}/\text{m}^3$ e (μ) $0,891 \times 10^{-3}\text{kg}/\text{m.s}$ e o (Pr) é 6,14.

$$\text{Re} = \frac{\rho \times V \times d}{\mu} \quad (15)$$

Onde:

Re = Coeficiente de Reynolds. (adm);

ρ = Densidade do fluido. (kg/m³);

V = Velocidade. (m/s);

d = Diâmetro da tubulação. (m);

μ = Viscosidade dinâmica do fluido (Tabela A-9). (kg/m.s).

$$Re = \frac{977 \times 3 \times 0,027}{0,891 \times 10^{-3}}$$

$$\boxed{Re = 93505,2691} > 10.000 \therefore (\text{Turbulento})$$

3.3.8 Número de Nusselt

Conforme ÇENGEL (2012), o (Pr) = 6,14 usaremos o Nusselt:

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^n \quad (16)$$

Onde:

Nu = Número de Nusselt. (adm);

Re = Coeficiente de Reynolds. (adm);

Pr = Prandtl. (adm). *n=0,4 para aquecimento / n=0,3 para resfriamento

$$Nu = 0,023 \times 93505,26919^{0,8} \times 6,14^{0,4}$$

$$\boxed{Nu = 450,4681}$$

3.3.9 Comprimento característico da tubulação

Conforme ÇENGEL (2012), a equação do comprimento é calculada pela área disponível na placa, na qual poderá receber a tubulação para aquecimento de água. segue na formula abaixo.

$$Lc = c \times \left(\frac{L}{d} \right) \quad (17)$$

Onde:

Lc = Comprimento característico. (m);

C = Comprimento da tubulação. (m);

L = Lateral da placa. (m);

d = Diâmetro da tubulação. (m);

$$L_c = 1,32 \times \left(\frac{0,66}{0,027} \right)$$

$$\boxed{L_c = 32,26\text{m}}$$

3.3.10 Coeficiente de transferência de calor por convecção

Conforme ÇENGEL (2012), a Tabela A-3, Anexo 2 A condutividade térmica (k) do cobre é igual a 401W/m.k.

$$h = \frac{K \times Nu}{L_c} \quad (18)$$

Onde:

h = Coeficiente de transferência Térmica. (W/m².K);

K = Condutividade térmica. (Tabela A-3). (W/m.K).

Nu = Número de Nusset. (adm);

Lc = Comprimento característico (m);

$$h = \frac{401 \times 450,4681}{32,26}$$

$$\boxed{h = 5599,4329 \text{ W / m}^2.\text{K}}$$

3.3.11 Calor útil disponível

Conforme ÇENGEL (2012), a equação do calor útil disponível multiplica-se com área útil pela irradiação existente no momento. segue na formula abaixo.

$$Q_i = \theta_h \times A_{s_{\text{util}}} \quad (19)$$

Onde:

Q_i = Calor útil disponível para a placa. (kW);

θ_h = Irradiação solar no plano horizontal. (kWh/dia);

A_s = Área de superfície útil do modulo. (m²).

$$Q_i = 5,6 \times (0,66 \times 1,32)$$

$$Q_i = 34,15 \text{ kW}$$

3.3.12 Calor necessário para aquecer a água

Conforme ÇENGEL (2012), considerando um sistema ideal o calor de irradiação solar será transferido para taxa de transferência de calor por convecção onde ($Q_i = Q_{\text{conv}}$)

$$Q_{\text{conv}} = h \times A_s \times (T_s - T_{\infty}) \quad (20)$$

Onde:

Q_{conv} = Taxa de transferência de calor por convecção. (W);

h = Coeficiente de transferência Térmica. (W/m².K);

A_s = Área de superfície útil do modulo. (m²).

T_s = Temperatura superficial. (°C);

T_{∞} = Temperatura de saída. (°C);

$$34150 = 5599,4329 \times [7 \times (0,66 \times 1,32)] \times (45 - T_{\infty})$$

$$T_{\infty} = 43,99^{\circ} \text{C}$$

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica onde possui-se perdas de eficiência devido ao superaquecimento dos painéis, fato corriqueiro entre os sistemas existentes. Este aquecimento pode chegar a 40°C acima da temperatura ambiente no momento, o que resulta em uma perda de eficiência de até 0,5% acima dos 25°C e um desgaste precoce da própria placa e da estrutura pela alta temperatura.

Com as grandes preocupações com geração de energia elétrica, A aperfeiçoamento dos seus sistemas como no caso do fotovoltaico o resfriamento das placas, visa em mantê-las abaixo de 25°C.

O estudo de um sistema híbrido melhora a eficiência do módulo, porque junto com a redução da temperatura do módulo, Aproveita-se o calor retirado para aquecimento de água no uso residencial de uma família de 3 pessoas com um gasto médio de 157,95litros/dia de água quente e um consumo de 0,784kWh alcançando uma temperatura de 43,99°C, considerando a temperatura ambiente de 25°C para questão do cálculo, assim conseguindo atender a temperatura de conforto térmico (40°C) de água quente podendo fornecer utilidades para a mesma e ainda um sistema com duas funcionalidades e compacto.

Conforme a NBR 7198 de projeto e execução de instalações prediais de água quente, para o sistema ser considerado apto com seu correto funcionamento a temperatura teria que alcançar 70°C, o que não é possível encontrar com facilidade no modelo híbrido, não atendendo a norma, mas satisfazendo o conforto térmico.

4.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização de um protótipo do sistema híbrido para comparação de valores reais com os calculados;
- Análise de formas para melhorar eficiência do sistema;
- Estudo de maneiras alternativas para aproveitamento térmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Resolução normativa N° 414, de 9 de setembro de 2010**. Brasília. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 01 Mar 2017.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA – **NBR 11704: Sistemas fotovoltaicos** – Classificação. Rio de Janeiro 2008

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA – **NBR 7198: Projeto e Execução de instalações prediais de Água Quente** – Classificação. Rio de Janeiro 1992

ATLAS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São Jose dos Campos, São Paulo – Livro técnico e científico. 2017

BERGENE, T.; LOVVIK, O. M. **Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells**. *Solar energy, Elsevier*, v. 55, n. 6, 1995.

BHARGAVA, A. K.; GARG, H.; AGARWAL, R. K. **Study of a hybrid solar system—solar air heater combined with solar cells**. *Energy Conversion and Management, Elsevier*, v. 31, n. 5, 1991.

ÇENGEL, Yubus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. 4ª. ed. São Paulo: AMGH, 2012. 904 p.

CEPEL, Eletrobras. **Energia Solar**. Rio de Janeiro: 2015. Disponível em: < <http://www.cepel.br/linhas-de-pesquisa/menu/energia-solar.htm>>. Acesso em: 05 abr 2017.

CHOW, T. **Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model**. *Solar Energy, Elsevier*, v. 75, n. 2, 2003.

COPEL, Revista. **Copel & Sustentabilidade**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/revistasust_14port/\\$FILE/revistasust_14port.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/revistasust_14port/$FILE/revistasust_14port.pdf)>. Acesso em 02 mar 2017

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 2.ed. São Paulo: Érica, 2003p. Atualizada e ampliada.

GHENSEV, A. **Materiais e processos de fabricação de células fotovoltaicas**. Lavras: Departamento de pesquisa da Universidade Federal de Lavras, 2006: 154 páginas.

GOMBATA, Marsílea. **Hidrelétricas chegarão a um limite, e precisaremos de outra fonte**. Rio de Janeiro: Editora Carta Capital, 2001. Disponível em: < <https://www.cartacapital.com.br>>. Acesso em: 10 abr 2017

HINRICH, Roger; KLEINBACH, Merlin; DOS REIS, Lineu. **Energia e Meio ambiente**. Tradução técnica: Lineu Belico dos Reis, Flávio Maron Vichi, Leonardo Freire Mello. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

HIPÓLITO, Henrique Luis, **Analisis and application of photovoltaic/termal hybrid solar systems (PV/T) for low-income residences in Brazil**. 2015

LINHARES, Aristides. **Energia Solar**. Rio de Janeiro: LTC – Livro técnico e científico, 2016.

LISBOA, D. S. **Dimensionamento de um sfvcr**: Estudo de caso do prédio central do campus universitário de Tucuruí - PA, 2010.

MAGALHÃES, Murilo. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no brasil**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011 (trabalho de conclusão de curso). Disponível em: <<http://tcc.bu.ufsc.br/Economia291554>>. Acesso em: 01 mar 2017.

MENICONI, Tadeu. **Estudo de brasileiro recalcula o tamanho do Sol com mais precisão**. São Paulo: 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2012/03/estudo-de-brasileiro-recalcula-o-tamanho-do-sol-com-mais-precisao.html>>. Acesso em: 12 abr 2017.

MIRANDA, Arthur. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014 (Trabalho de conclusão de curso). Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010504.pdf>>. Acesso em: 31 abr 2017

MUÑIZ, Javier; GARCÍA, Rafael. **Energia Solar fotovoltaica**. 2ª ed. Madrid: LTC – Livro técnico e científico, 2015.

OVERSTRAETEN, R.W; MERTENS, R.P. **Physics, technology and use of fhotovoltaics**. London: **Modern Energy Studies**, 1996.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. 60p.

PINHO, GALDINO. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**, 2014

PORTALSOLAR, Solar. **Energia Solar**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br>>. Acesso em: 03 abr 2017.

PRATI, Lisandro. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por Biodigestores**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010 (trabalho de conclusão de curso). Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148.pdf>>. Acesso em: 18 abr 2017.

TOLMASQUIM, Mauricio. **Energia Termelétrica**. Rio de Janeiro: LTC – Livro técnico e científico, 2016.

ANEXOS 1

TABELA A-9

Propriedades da água saturada

Temp. T, °C	Pressão de saturação P _{sat} , kPa	Densidade de ρ, kg/m ³		Entalpia de vaporização h _{fg} , kJ/kg	Calor específico c _p , J/kg · K		Condutividade térmica k, W/m · K		Viscosidade dinâmica μ, kg/m · s		Número de Prandtl Pr		Coeficiente de expansão volumétrica β, 1/K líquido
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0,01	0,6113	999,8	0,0048	2.501	4.217	1.854	0,561	0,0171	1,792 × 10 ⁻³	0,922 × 10 ⁻⁵	13,5	1,00	-0,068 × 10 ⁻³
5 0,	8721	999,9	0,0068	2.490	4.205	1.857	0,571	0,0173	1,519 × 10 ⁻³	0,934 × 10 ⁻⁵	11,2	1,00	0,015 × 10 ⁻³
10	1,2276	999,7	0,0094	2.478	4.194	1.862	0,580	0,0176	1,307 × 10 ⁻³	0,946 × 10 ⁻⁵	9,45	1,00	0,733 × 10 ⁻³
15	1,7051	999,1	0,0128	2.466	4.185	1.863	0,589	0,0179	1,138 × 10 ⁻³	0,959 × 10 ⁻⁵	8,09	1,00	0,138 × 10 ⁻³
20	2,339	998,0	0,0173	2.454	4.182	1.867	0,598	0,0182	1,002 × 10 ⁻³	0,973 × 10 ⁻⁵	7,01	1,00	0,195 × 10 ⁻³
25	3,169	997,0	0,0231	2.442	4.180	1.870	0,607	0,0186	0,891 × 10 ⁻³	0,987 × 10 ⁻⁵	6,14	1,00	0,247 × 10 ⁻³
30	4,246	996,0	0,0304	2.431	4.178	1.875	0,615	0,0189	0,798 × 10 ⁻³	1,001 × 10 ⁻⁵	5,42	1,00	0,294 × 10 ⁻³
35	5,628	994,0	0,0397	2.419	4.178	1.880	0,623	0,0192	0,720 × 10 ⁻³	1,016 × 10 ⁻⁵	4,83	1,00	0,337 × 10 ⁻³
40	7,384	992,1	0,0512	2.407	4.179	1.885	0,631	0,0196	0,653 × 10 ⁻³	1,031 × 10 ⁻⁵	4,32	1,00	0,377 × 10 ⁻³
45	9,593	990,1	0,0655	2.395	4.180	1.892	0,637	0,0200	0,596 × 10 ⁻³	1,046 × 10 ⁻⁵	3,91	1,00	0,415 × 10 ⁻³
50	12,35	988,1	0,0831	2.383	4.181	1.900	0,644	0,0204	0,547 × 10 ⁻³	1,062 × 10 ⁻⁵	3,55	1,00	0,451 × 10 ⁻³
55	15,76	985,2	0,1045	2.371	4.183	1.908	0,649	0,0208	0,504 × 10 ⁻³	1,077 × 10 ⁻⁵	3,25	1,00	0,484 × 10 ⁻³
60	19,94	983,3	0,1304	2.359	4.185	1.916	0,654	0,0212	0,467 × 10 ⁻³	1,093 × 10 ⁻⁵	2,99	1,00	0,517 × 10 ⁻³
65	25,03	980,4	0,1614	2.346	4.187	1.926	0,659	0,0216	0,433 × 10 ⁻³	1,110 × 10 ⁻⁵	2,75	1,00	0,548 × 10 ⁻³
70	31,19	977,5	0,1983	2.334	4.190	1.936	0,663	0,0221	0,404 × 10 ⁻³	1,126 × 10 ⁻⁵	2,55	1,00	0,578 × 10 ⁻³
75	38,58	974,7	0,2421	2.321	4.193	1.948	0,667	0,0225	0,378 × 10 ⁻³	1,142 × 10 ⁻⁵	2,38	1,00	0,607 × 10 ⁻³
80	47,39	971,8	0,2935	2.309	4.197	1.962	0,670	0,0230	0,355 × 10 ⁻³	1,159 × 10 ⁻⁵	2,22	1,00	0,653 × 10 ⁻³
85	57,83	968,1	0,3536	2.296	4.201	1.977	0,673	0,0235	0,333 × 10 ⁻³	1,176 × 10 ⁻⁵	2,08	1,00	0,670 × 10 ⁻³
90	70,14	965,3	0,4235	2.283	4.206	1.993	0,675	0,0240	0,315 × 10 ⁻³	1,193 × 10 ⁻⁵	1,96	1,00	0,702 × 10 ⁻³
95	84,55	961,5	0,5045	2.270	4.212	2.010	0,677	0,0246	0,297 × 10 ⁻³	1,210 × 10 ⁻⁵	1,85	1,00	0,716 × 10 ⁻³
100	101,33	957,9	0,5978	2.257	4.217	2.029	0,679	0,0251	0,282 × 10 ⁻³	1,227 × 10 ⁻⁵	1,75	1,00	0,750 × 10 ⁻³
110	143,27	950,6	0,8263	2.230	4.229	2.071	0,682	0,0262	0,255 × 10 ⁻³	1,261 × 10 ⁻⁵	1,58	1,00	0,798 × 10 ⁻³
120	198,53	943,4	1,121	2.203	4.244	2.120	0,683	0,0275	0,232 × 10 ⁻³	1,296 × 10 ⁻⁵	1,44	1,00	0,858 × 10 ⁻³
130	270,1	934,6	1,496	2.174	4.263	2.177	0,684	0,0288	0,213 × 10 ⁻³	1,330 × 10 ⁻⁵	1,33	1,01	0,913 × 10 ⁻³
140	361,3	921,7	1,965	2.145	4.286	2.244	0,683	0,0301	0,197 × 10 ⁻³	1,365 × 10 ⁻⁵	1,24	1,02	0,970 × 10 ⁻³
150	475,8	916,6	2,546	2.114	4.311	2.314	0,682	0,0316	0,183 × 10 ⁻³	1,399 × 10 ⁻⁵	1,16	1,02	1,025 × 10 ⁻³
160	617,8	907,4	3,256	2.083	4.340	2.420	0,680	0,0331	0,170 × 10 ⁻³	1,434 × 10 ⁻⁵	1,09	1,05	1,145 × 10 ⁻³
170	791,7	897,7	4,119	2.050	4.370	2.490	0,677	0,0347	0,160 × 10 ⁻³	1,468 × 10 ⁻⁵	1,03	1,05	1,178 × 10 ⁻³
180	1.002,1	887,3	5,153	2.015	4.410	2.590	0,673	0,0364	0,150 × 10 ⁻³	1,502 × 10 ⁻⁵	0,983	1,07	1,210 × 10 ⁻³
190	1.254,4	876,4	6,388	1.979	4.460	2.710	0,669	0,0382	0,142 × 10 ⁻³	1,537 × 10 ⁻⁵	0,947	1,09	1,280 × 10 ⁻³
200	1.553,8	864,3	7,852	1.941	4.500	2.840	0,663	0,0401	0,134 × 10 ⁻³	1,571 × 10 ⁻⁵	0,910	1,11	1,350 × 10 ⁻³
220	2.318	840,3	11,60	1.859	4.610	3.110	0,650	0,0442	0,122 × 10 ⁻³	1,641 × 10 ⁻⁵	0,865	1,15	1,520 × 10 ⁻³
240	3.344	813,7	16,73	1.767	4.760	3.520	0,632	0,0487	0,111 × 10 ⁻³	1,712 × 10 ⁻⁵	0,836	1,24	1,720 × 10 ⁻³
260	4.688	783,7	23,69	1.663	4.970	4.070	0,609	0,0540	0,102 × 10 ⁻³	1,788 × 10 ⁻⁵	0,832	1,35	2,000 × 10 ⁻³
280	6.412	750,8	33,15	1.544	5.280	4.835	0,581	0,0605	0,094 × 10 ⁻³	1,870 × 10 ⁻⁵	0,854	1,49	2,380 × 10 ⁻³
300	8.581	713,8	46,15	1.405	5.750	5.980	0,548	0,0695	0,086 × 10 ⁻³	1,965 × 10 ⁻⁵	0,902	1,69	2,950 × 10 ⁻³
320	11.274	667,1	64,57	1.239	6.540	7.900	0,509	0,0836	0,078 × 10 ⁻³	2,084 × 10 ⁻⁵	1,00	1,97	
340	14.586	610,5	92,62	1.028	8.240	11.870	0,469	0,110	0,070 × 10 ⁻³	2,255 × 10 ⁻⁵	1,23	2,43	
360	18.651	528,3	144,0	720	14.690	25.800	0,427	0,178	0,060 × 10 ⁻³	2,571 × 10 ⁻⁵	2,06	3,73	
374,14	22.090	317,0	317,0	0	—	—	—	—	0,043 × 10 ⁻³	4,313 × 10 ⁻⁵			

Nota 1: A viscosidade cinemática ν e a difusividade térmica α podem ser calculadas a partir de suas definições, $\nu = \mu/\rho$ e $\alpha = k/\rho c_p = \nu Pr$. As temperaturas de 0,01 °C, 100 °C e 374,14 °C são as dos pontos triplo de ebulição e crítico da água, respectivamente. As propriedades listadas acima (exceto a densidade de vapor) podem ser usadas em qualquer pressão com erro desprezível, exceto em temperaturas perto do valor do ponto crítico.

Nota 2: A unidade kJ/kg·°C para o calor específico é equivalente a kJ/kg·K, e a unidade W/m·°C para condutividade térmica é equivalente a W/m·K.

Fonte: Os dados de viscosidade e condutividade térmica foram obtidos a partir de J. V. Sengers e J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291–1322. Outros dados foram obtidos a partir de várias fontes ou são calculados.

ANEXOS 2

TABELA A-3											
Propriedades dos metais sólidos											
Composição	Ponto de fusão, K	Propriedades a 300 K				Propriedades em diversas temperaturas (K), k(W/m · K)/c _p (J/kg · K)					
		ρ kg/m ³	c _p J/kg · K	k W/m · K	α × 10 ⁶ m ² /s	100	200	400	600	800	1.000
Alumínio:											
Puro	933	2.702	903	237	97,1	302	237	240	231	218	
						482	798	949	1.033	1.146	
Liga 2024-T6 (4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,6% Mn)		775	2.770	875	177	73,0	65	163	186	186	
							473	787	925	1.042	
Liga 195, fundido (4,5% Cu)		2.790	883	168	68,2				174	185	
Berílio	1.550	1.850	1.825	200	59,2	990	301	161	126	106	90,8
						203	1.114	2.191	2.604	2.823	3.018
Bismuto	545	9.780	122	7,86	6,59	16,5	9,69	7,04			
						112	120	127			
Boro	2.573	2.500	1.107	27,0	9,76	190	55,5	16,8	10,6	9,60	9,85
						128	600	1.463	1.892	2.160	2.338
Cádmio	594	8.650	231	96,8	48,4	203	99,3	94,7			
						198	222	242			
Cromo	2.118	7.160	449	93,7	29,1	159	111	90,9	80,7	71,3	65,4
						192	384	484	542	581	616
Cobalto	1.769	8.862	421	99,2	26,6	167	122	85,4	67,4	58,2	52,1
						236	379	450	503	550	628
Cobre:											
Puro	1.358	8.933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronze comercial (90% Cu, 10% Al)	1.293	8.800	420	52	14		42	52	59		
Bronze de engrenagem (89% Cu, 11% Sn)	1.104	8.780	355	54	17		785	160	545		
							41	65	74		
Cartucho de bronze (70% Cu, 30% Zn)	1.188	8.530	380	110	33,9	75	95	137	149		
							360	395	425		
Constantã (55% Cu, 45% Ni)	1.493	8.920	384	23	6,71	17	19				
						237	362				
Germânio	1.211	5.360	322	59,9	34,7	232	96,8	43,2	27,3	19,8	17,4
						190	290	337	348	357	375
Ouro	1.336	19.300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
Iridio	2.720	22.500	130	147	50,3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153
Ferro:											
Puro	1.810	7.870	447	80,2	23,1	134	94,0	69,5	54,7	43,3	32,8
						216	384	490	574	680	975
Armco (99,75% puro)		7.870	447	72,7	20,7	95,6	80,6	65,7	53,1	42,2	32,3
						215	384	490	574	680	975
Aços carbono:											
Carbono plano (Mn ≤ 1% Si ≤ 0,1%)		7.854	434	60,5	17,7			56,7	48,0	39,2	30,0
								487	559	685	1.169
AISI 1010		7.832	434	63,9	18,8			58,7	48,8	39,2	31,3
							487	559	685	1.168	

(continua)