



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

DANIEL AGUIAR DE MELO

**ANÁLISE DE UM SISTEMA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE
ÁGUA RESIDENCIAL**

Campina Grande, Paraíba
2015

DANIEL AGUIAR DE MELO

ANÁLISE DE UM SISTEMA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE
ÁGUA RESIDENCIAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc

Campina Grande, Paraíba
2015

DANIEL AGUIAR DE MELO

ANÁLISE DE UM SISTEMA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família e amigos,
os responsáveis por não me faltar força quando
foi preciso lutar por meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, Edinalva, por sempre ter me apoiado e sido um porto seguro em toda a minha jornada acadêmica, assim como na vida, um exemplo de trabalho e dedicação, mas sempre com paz no coração e bom humor para enfrentar as dificuldades.

Agradeço ao meu pai, Eduardo, por ter se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me ensinado sobre humildade, trabalho e superação.

Agradeço ao meu irmão, Thiago, que apesar de mais novo sempre me ensina sobre maturidade e me instiga a ser um filho e pessoa melhor.

Agradeço a todos meus amigos, que com muito apoio, não mediram esforços para me ajudar a chegar nesta etapa da minha vida, verdadeiros companheiros.

Agradeço ao meu orientador, Leimar de Oliveira, pela disponibilidade para me ajudar neste trabalho, uma etapa muito importante na conclusão da minha formação.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Tudo o que temos de decidir
é o que fazer com o
tempo que nos é dado.”*

J. R. R. Tolkien.

RESUMO

Com a crescente preocupação com a economia de energia, seu uso consciente e a utilização de fontes renováveis, é necessário saber das condições atuais de viabilidade técnica e econômica para aplicação de projetos que atendam essas necessidades, neste trabalho será considerado o uso de coletores solares para aquecimento de água na cidade de Campina Grande na Paraíba. Para tanto pode-se usar métodos de engenharia econômica como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback para avaliar o quão vantajoso esse sistema é atualmente.

Palavras-chave: Coletores Solares, Aquecimento de água, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

With growing concern about energy saving, its conscious use and the use of renewable sources, it is necessary to know the current conditions of technical and economic feasibility for application projects that meet these needs. This work will consider the use of solar collectors water heating in the city of Campina Grande in Paraiba. For that matter, it's possible to use methods of economic engineering as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback to assess how advantageous this system is today.

Keywords: Solar collectors, Water heating, Economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Potência instalada.....	15
Figura 2 Concentrador de disco parabólico	20
Figura 3 Fluxograma das aplicações práticas de energia solar	21
Figura 4 Aquecimento solar	22
Figura 5 Correlação entre tipos de coletores planos e temperatura de operação	23
Figura 6 Placas fotovoltaicas	24
Figura 7 Célula fotovoltaica	24
Figura 8 Evolução da potência instalada em sistemas fotovoltaicos no mundo	25
Figura 9 Variação da radiação solar no Brasil.....	27
Figura 10 Matriz elétrica brasileira	29
Figura 11 ATLAS solarimétrico do Brasil	31
Figura 12 Esquema do coletor solar	32
Figura 13 Sistema residencial básico de aquecimento de água	33
Figura 14 Corte de coletor solar	35
Figura 15 Corte reservatório térmico solar.....	38
Figura 16 Aquecedor solar CUMULUS	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Comparação da irradiação de cidades brasileiras com as melhores regiões do mundo	28
Tabela 2 Densidade da água em função de sua temperatura	34
Tabela 3 Consumo médio de água aquecida em ambientes residenciais	43
Tabela 4. Lista de materiais e respectivos preços para a realização do projeto.	46
Tabela 5. Tarifas, economia mensal e economia anual considerando um aumento na tarifa de 5% ao ano.	47
Tabela 6. Cálculo de valor presente considerando uma taxa de atratividade de 4,02% ao ano durante os 20 anos do investimento.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BA	Bahia
°C	grau celsius
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DEZ	dezembro
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
Gg	gigagrama (10^9 gramas)
GW	gigawatt (10^9 watts)
GWh	gigawatt-hora
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
JAN	janeiro
JUN	junho
K	condutividade térmica (W/m.Kelvin)
Km	quilometro (10^3 metros)
KW	quillowatt (10^3 watts)
KWh	quillowatt-hora
l	litro
m	metro
m ²	metro quadrado
MAI	maio
MG	Minas Gerais
min	minuto
MJ	megajoule (10^6 joules)
MT	Mato Grosso
MW	megawatt (10^6 watts)

ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OUT	outubro
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PIB	Produto Interno Bruto
PR	Paraná
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RS	Rio Grande do Sul
s	segundo
SET	setembro
SIN	Sistema Interligado Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
TW	terawatt (10^{12} watts)
TWh	terawatt-hora
VFL	Valor Futuro Líquido
VPL	Valor Presente Líquido
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Abreviaturas e Siglas	xi
Sumário	xiii
1 Introdução.....	15
1.1 Objetivo	17
1.2 Estrutura do Trabalho	17
2 A energia solar.....	18
2.1 Radiação solar.....	18
2.2 Aproveitamento da energia solar	19
2.2.1 Energia Solar Heliotérmica.....	19
2.2.2 Energia Solar Térmica	20
2.2.3 Energia solar fotovoltaica	23
2.3 A energia solar irradiada no brasil	26
2.4 Matriz Elétrica Brasileira.....	28
2.5 Coletores solares	31
2.5.1 Introdução aos Coletores	32
2.5.2 Funcionamento	33
2.5.3 Geometria	34
2.5.4 Cobertura Transparente	34
2.5.5 Placa Absorvedora de Radiação solar.....	35
2.5.6 Isolante térmico	36
2.5.7 Caixas do Coletor	36
2.5.8 Reservatório Térmico	37
3 Análise econômica do projeto	39
3.1 Técnicas de engenharia econômica para análise da viabilidade econômica de projetos.	39
3.1.1 VPL – Valor Presente Líquido	40
3.1.2 VFL – Valor Futuro Líquido	40
3.1.3 TIR – Taxa Interna de Retorno.....	41
3.1.4 Payback.....	41
3.2 Análise econômica do sistema	42
4 Dimensionamento do sistema.....	43
4.1 Escolha.....	44
5 Métodos e Resultados.....	46
6 Conclusão	49

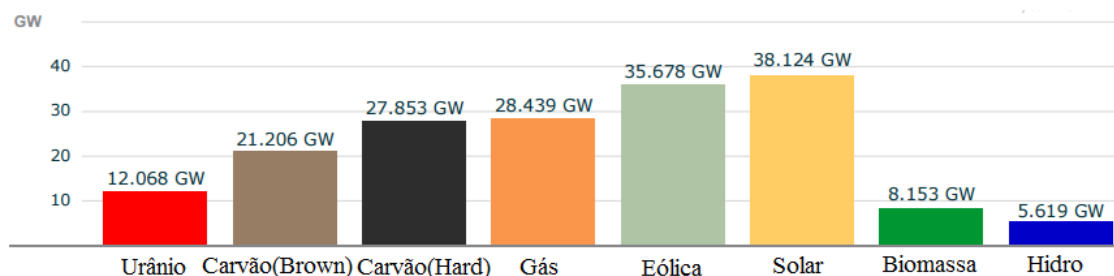
Bibliografia.....50

1 INTRODUÇÃO

No mundo todo a demanda por eletricidade aumenta a cada ano e devido a preocupações com os impactos ambientais, causados por combustíveis fósseis, as fontes de energia alternativas ganham cada vez mais espaço. As energias solar e eólica tem se destacado e vários estudos se concentram nesta área por se tratar de “energia limpa” e renovável (TABARES, 2014).

Em países como Alemanha tem-se investido maciçamente em fontes renováveis, com destaque para as energias solar e eólica. Segundo Bruguer (2014) cujos dados do instituto Fraunhofer estão contidos no documento “Electricity production from solar and wind in Germany in 2014”, a energia eólica atingiu um novo recorde de 29,7 GW na produção de energia na sexta-feira de 12 dezembro de 2014. A produção de energia eólica diária foi de 562 GWh. Ambos os números representam novos recordes. Os últimos registos de 05 de dezembro de 2013 com uma potência máxima de 26,3 GW e uma energia diária de 485 GWh foram excedidos em 13% e 16% respectivamente. A energia fotovoltaica atingiu um máximo de 4,9 GW no mesmo dia. A potência total máxima de energia solar e eólica foi de cerca de 34 GW, o que está bem abaixo do máximo de 14/04/2014, quando uma produção total de 38,8 GW foi alcançado. A fim de proporcionar espaço suficiente para a energia eólica na rede, as usinas nucleares reduziram a sua geração em cerca de 10%, as plantas de carvão marrom em 30%.

Figura 1 Potência instalada



Fonte: Fraunhofer Institute(2014)

Bruger (2014) afirma que segundo os dados do instituto Fraunhofer, apesar dos esforços apresentados pela Alemanha desde o começo do milênio observa-se que ainda predomina hoje a produção de energia nuclear e principalmente de energia proveniente da queima de carvão em termoeletricas. As perspectivas alemãs são se desvincular da energia nuclear até 2022 e incrementar cada vez mais em sua matriz energética fontes renováveis de energia, que atualmente tem a energia eólica como a fonte renovável mais utilizada.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), os principais resultados da 1ª Revisão Quadrimestral das projeções da carga do Sistema Interligado Nacional (SIN), para o período 2015-2019, realizados em conjunto com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), estima-se crescimento médio do Produto Interno Bruto (PIB) de 2,5% a.a., com crescimento de carga de energia do SIN em 3,3% a.a. entre 2015 e 2019. Estes resultados subsidiam o Planejamento Anual da Operação Energética 2015-2019.

Com a diminuição progressiva da possibilidade de construção de hidroelétricas de grande porte, o Brasil deverá mudar seu planejamento energético nos próximos anos e a porcentagem de participação de energia termoeletrica deve aumentar consideravelmente na matriz energética nacional, aumentando também os custos de operação do sistema, que devem ser repassados para o consumidor.

Ao contrário do que acontece com o preço da energia, os preços de painéis solares e turbinas eólicas estão em projeção de queda nos próximos anos o que deve tornar a geração distribuída uma realidade em breve.

O aquecimento solar tem se mostrado um excelente investimento com tempos de retorno bastante atrativos. A tecnologia deixou de ser apenas uma forma alternativa de aquecimento, atendendo o mercado com competitividade e inúmeras vantagens em relação aos aquecedores convencionais.

Um sistema de aquecimento solar pode reduzir em mais de 70% o consumo de energia elétrica ou de combustíveis (gás, diesel, óleo combustível e etc.) destinados a produção de energia térmica. Dessa forma, proporciona uma efetiva e elevada redução em seus custos operacionais.

O objetivo desse trabalho é contribuir no sentido de incentivar o uso da energia solar, numa tentativa de adquirir o hábito do emprego de uma fonte renovável de energia que certamente terá no futuro da humanidade um significado econômico e social dos mais valiosos.

1.1 OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo fazer um estudo, dimensionamento e análise econômica da implantação de um sistema de aquecimento de água através de coletores solares.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho começa apresentando uma introdução de como a dependência dos combustíveis fósseis tende a diminuir e a importância das energias renováveis, como vem sendo implementado na Alemanha.

O Capítulo 2 é responsável pela revisão bibliográfica utilizada no decorrer do trabalho. Sendo apresentados os conceitos mais gerais sobre energia solar, radiação solar, seu aproveitamento e sua utilização, tanto no Brasil como no mundo. Ainda neste capítulo é falado sobre a matriz energética brasileira e os coletores solares especificamente, falando de suas características e funcionamento.

No capítulo 3 é apresentada a motivação do estudo técnico e econômico do trabalho, assim como são apresentadas as técnicas de engenharia econômica que serão utilizadas neste trabalho.

No capítulo 4 é dimensionado o número de coletores e o volume do boiler para este estudo e em seguida escolhido o sistema solar de aquecimento de água.

No capítulo 5 é apresentado o método utilizado para a resolução do problema e são mostrados os resultados.

E por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões.

2 A ENERGIA SOLAR

Apesar de ter desde os primórdios se utilizado de fontes renováveis como a lenha, o processo tecnológico atual e do passado recente têm por base o uso de fontes não renováveis, cujo maior expoente está representado pelos combustíveis fósseis.

Estima-se que as reservas atuais de petróleo estariam quase que completamente esgotadas dentro dos próximos cem anos, este fato tem despertado as nações no sentido de pesquisar novas formas de energia renováveis em todo o mundo.

A energia solar tem um potencial bastante alto para reduzir o consumo energético das fontes convencionais, principalmente nas aplicações à baixa temperatura.

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

Segundo Bezerra (1982, citado por SOARES, 2001), a energia solar é uma fonte não poluente, podendo ser utilizada de forma concentrada. A constante solar fora da atmosfera terrestre é de $1,4\text{KW}/\text{m}^2$. Ao entrar na atmosfera parte desta potência é absorvida pelas impurezas, poeira, vapor d'água e outros. A mesma incidente na superfície terrestre é apresentada de forma eletromagnética e está assim distribuída: 3% de ultra- violeta, 42% de visível e 55% de infra-vermelho.

A energia do sol anualmente captada pela terra, representa cinco a dez vezes todas as reservas de combustíveis de reservas inclusive o urânio. A energia solar é uma energia limpa com propriedades bactericidas em virtude da presença do ultra-violeta.

A atmosfera é uma camada relativamente fina de gases e material particulado (aerossóis) que envolve a Terra. De fato, 99% da massa da atmosfera está contida numa camada de aproximadamente 0,25% do diâmetro da Terra (32 km). Esta camada é essencial para a vida e o funcionamento ordenado dos processos físicos e biológicos sobre a Terra. A atmosfera protege os organismos da exposição a níveis arriscados de radiação ultravioleta, contém os gases necessários para os processos vitais de respiração celular e fotossíntese e fornece a água necessária para a vida.

Por ser um eficiente absorvedor de energia radiante (de onda longa) emitida pela Terra, ele influencia o fluxo de energia através da atmosfera, fazendo com que a baixa

atmosfera retenha o calor, tornando a Terra própria à vida. O percentual de dióxido de carbono vem crescendo devido à queima de combustíveis fósseis tais como o carvão, petróleo e gás natural. Muito do dióxido de carbono adicional é absorvido pelas águas dos oceanos ou usado pelas plantas mas em torno de 50% permanece no ar. Projeções indicam que na 2ª metade do próximo século os níveis de CO₂ serão o dobro do que eram no início do século 20. Embora o impacto deste crescimento seja difícil de prever, acredita-se que ele trará um aquecimento na baixa troposfera e portanto produzirá mudanças climáticas globais.

Considerando a constituição da camada atmosférica que envolve a terra, formada de vapores de água, poeira, dióxido de carbono, etc, a irradiação ao nível do mar, fica bastante atenuada em virtude de seu enfraquecimento nos vários comprimentos de onda, porém mesmo assim com uma camada atmosférica de 145Km de espessura, a radiação nos fornece energia a alto potencial energético.

2.2 APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

As aplicações diretas podem ser classificadas como energia solar ativa e a passiva. A primeira pode ser dividida ainda como solar heliotérmica, solar térmica e fotovoltaica. A energia solar passiva, por sua vez, é resumida às aplicações da arquitetura solar.

2.2.1 ENERGIA SOLAR HELIOTÉRMICA

A energia solar heliotérmica é a conversão de irradiação solar em calor para geração de energia elétrica. O processo completo está ligado a otimização de quatro fatores: a coleta da irradiação solar, sua conversão em calor, o transporte e armazenamento do calor e sua conversão final em eletricidade. Para esse processo, todas as tecnologias heliotérmicas, cilindro parabólico, torre central e disco parabólico, contam com quatro itens básicos: coletor, receptor, armazenamento, transporte e conversão. Os coletores concentram a irradiação usando refletores ou lentes com sistema de rastreamento em um receptor, onde a energia solar é absorvida como calor e convertida em eletricidade ou incorporada como energia química. Cada uma das

tecnologias é caracterizada pelo formato da superfície refletora onde a luz solar é coletada e concentrada.

Figura 2 Concentrador de disco parabólico



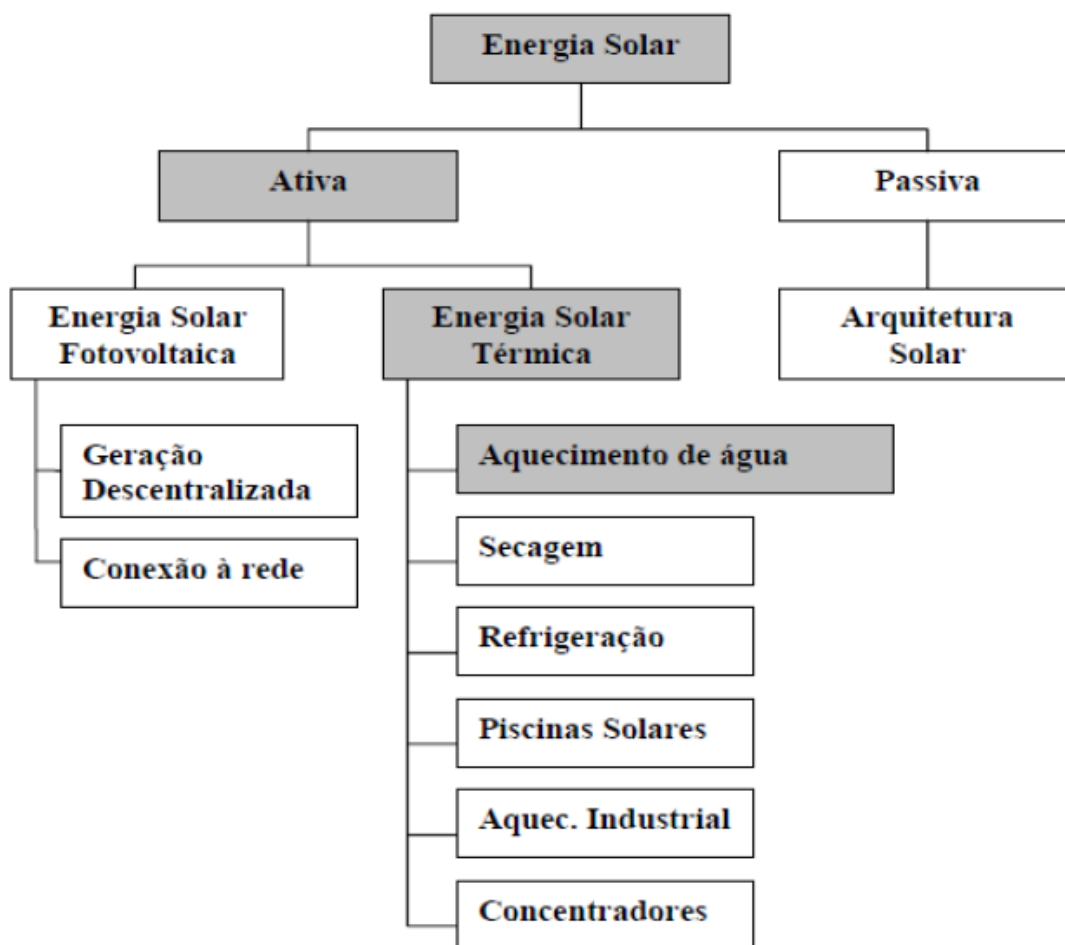
Fonte: GLOBAL NEVADACORP (2011)

Os coletores cilíndricos parabólicos são revestidos por um material refletor em formato parabólico. Ao longo da linha de foco do refletor parabólico é colocado um tubo metálico preto, coberto por um tubo de vidro para evitar perdas de calor, denominado receptor. Quando a parábola aponta para o sol, os raios diretos do sol são refletidos pela superfície e concentrados no receptor. A radiação concentrada aquece o fluido que circula internamente no tubo. (KALOGIROU, 2009)

2.2.2 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

A energia solar térmica é obtida através de coletores planos ou de concentradores solares. Diferentemente das células fotovoltaicas, a solar térmica é usada para gerar calor, não somente para aquecimento de água no uso doméstico ou em piscinas, mas também para secagem ou aquecimento industrial, enfim, para uma série de aplicações como mostrado na Figura 3.

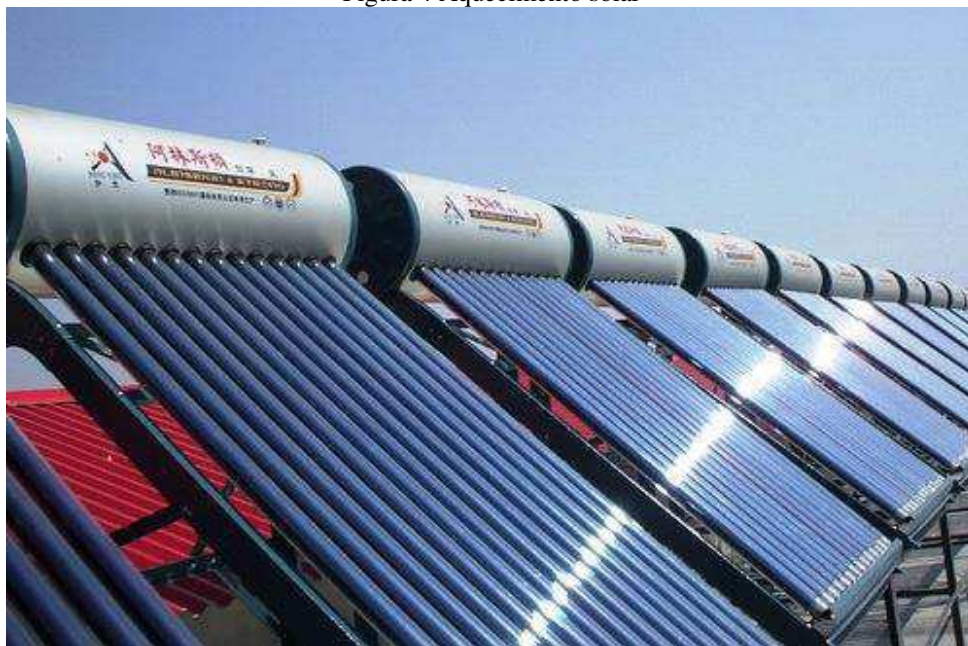
Figura 3 Fluxograma das aplicações práticas de energia solar



Fonte: TOLMASQUIM (2003)

Segundo [Pereira et alii (2004)], o aproveitamento da energia solar térmica, através de instalações de aquecimento solar de pequeno, médio e grande porte, tem-se mostrado como uma solução técnica e economicamente viável, tanto para o consumidor residencial, quanto para as concessionárias de energia. No caso do setor residencial, a substituição dos chuveiros elétricos pode representar uma grande economia de energia e, do lado das concessionárias, propicia a modulação da carga, já que a demanda no horário de ponta pode atingir até cinco vezes a média de potencial requerida.

Figura 4 Aquecimento solar

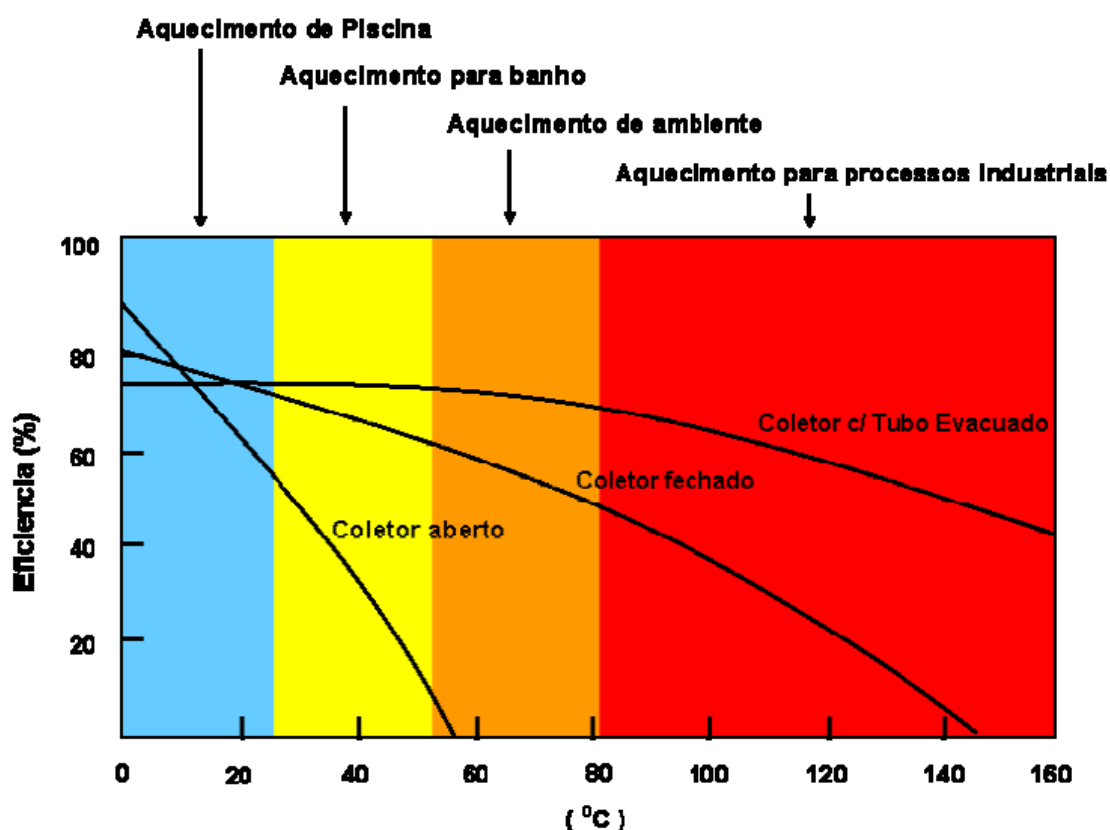


Fonte: Focusolar

A escolha de um tipo de coletor solar depende basicamente da temperatura de operação requerida em determinada aplicação prática. Por exemplo, para temperaturas elevadas ou produção de vapor é necessário o emprego de coletores concentradores. A usina solar de Barstow -Califórnia composta por espelhos planos, orientados de modo a concentrar os raios solares no alto da torre (foco), onde é produzido vapor a alta pressão e temperatura superior a 550°C . Para o correto posicionamento dos espelhos, este tipo de montagem exige um acompanhamento automático e continuado da trajetória do Sol no céu, cuja posição varia ao longo do dia e do ano. Para aquecimento de fluidos até temperaturas da ordem de 150°C , recomenda-se o uso de coletores planos ou tubos evacuados, sem necessidade de rastreamento do Sol. O gráfico da figura 5 exemplifica a correlação entre os tipos de coletores solares e respectivas temperaturas de operação.

O aquecimento de piscinas a temperaturas entre 26°C e 30°C é normalmente promovido por coletores solares abertos. Essa designação é utilizada, pois tais coletores não possuem cobertura transparente nem isolamento térmico. Apresentam ótimo desempenho para baixas temperaturas o qual decresce significativamente para temperaturas mais elevadas. São fabricados predominantemente em material polimérico como polipropileno e epdm, resistentes ao cloro e outros produtos químicos.

Figura 5 Correlação entre tipos de coletores planos e temperatura de operação



Fonte: Adaptado de Solarserver

2.2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A tecnologia fotovoltaica, por sua vez, é um processo em que um material semicondutor é adaptado para liberar elétrons, as partículas negativamente carregadas que formam a base da eletricidade. O material semicondutor mais comum é o silício. Todas as células fotovoltaicas têm, pelo menos, duas camadas de tais semicondutores, uma positiva e outra negativamente carregada. Quando a luz do sol atinge o semicondutor, o campo elétrico entre a junção das duas camadas inicia um fluxo de energia, gerando corrente contínua.

Células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, ou seja, material com características intermédias entre um condutor e um isolante. O silício apresenta-se normalmente como areia. Através de métodos adequados obtém-se o silício em forma pura.

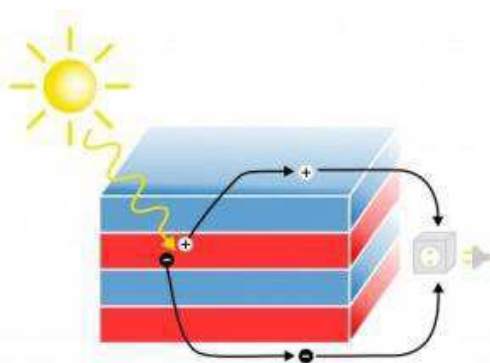
Figura 6 Placas fotovoltaicas



Fonte: Mundo Água (2015)

O cristal de silício puro não possui elétrons livres e, portanto é mal condutor elétrico. Para alterar isto acrescenta-se porcentagens de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. A dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentado Boro ao invés de Fósforo, obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P). Cada célula solar compõe-se de camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P.

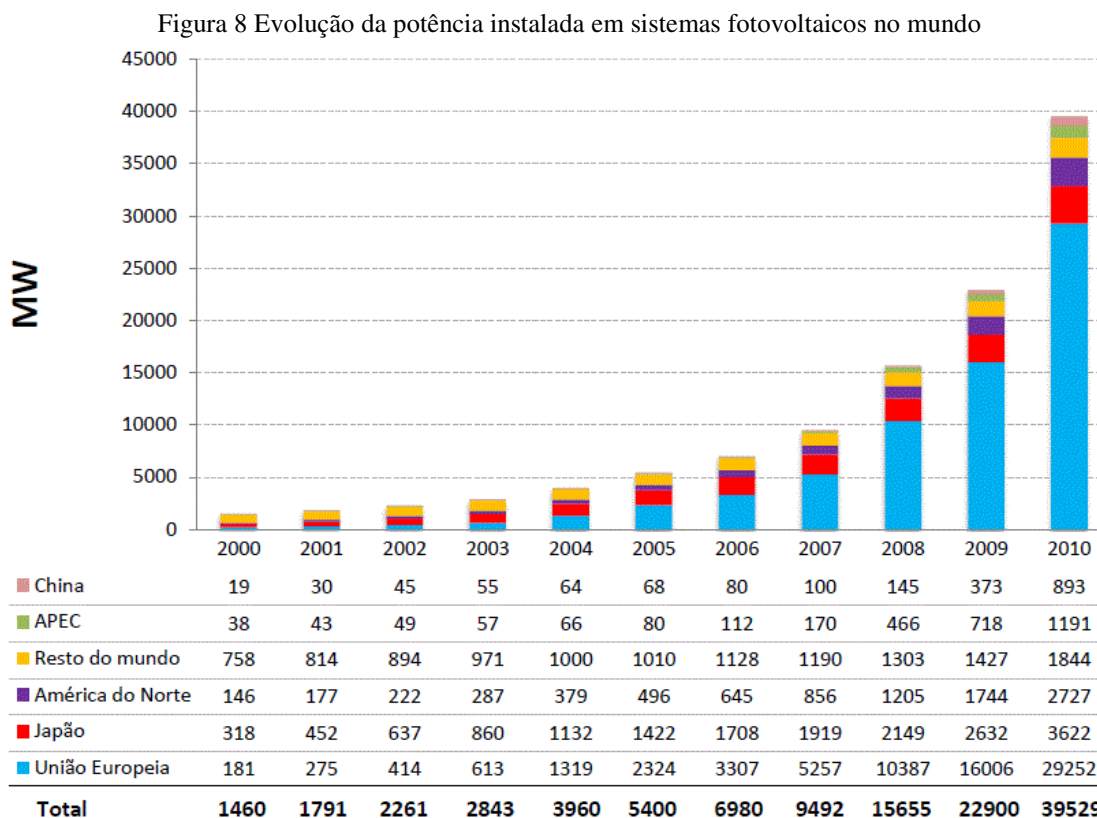
Figura 7 Célula fotovoltaica



FONTE: WIKIENERGIA.PT

Separadamente, ambas as capas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, na região P-N, forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada “P” para a camada “N”. Por meio de um condutor externo, ligando a camada negativa à positiva, gerasse um fluxo de elétrons (corrente elétrica). Enquanto a luz incidir na célula, manter-se-á este fluxo. A intensidade da corrente elétrica gerada variará na mesma proporção conforme a intensidade da luz incidente. Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons estabelecidos num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado efeito fotovoltaico.

O crescimento da energia solar tem sido exponencial conforme observa-se na figura 8. A indústria tem crescido de forma constante ao longo dos últimos anos, passando de uma base instalada de aproximadamente 5.000 MW em 2005 para quase 100.000 MW em 2012.



Fonte: EPIA (2013)

Destaca-se a China como um dos países que mais evoluiu na potência instalada com sistemas fotovoltaicos, saindo de 19 MW em 2000, para uma marca de 893 MW em 2010. Assim como a América do Norte, onde temos destaque para os EUA e Canadá, que evoluiu de 146 MW instalados em 2000 para 2727 MW instalados em 2010. Números que valem a pena destacar são os da União Europeia, de 181 MW instalados em 2000 para 29252 MW em 2010, assim como os números do Japão, 318 MW instalados em 2000 e 3622 MW em 2010. Mostrando a constante evolução dos números dessa tecnologia em todas as grandes economias do mundo, e uma tendência de aumento no geral.

2.3 A ENERGIA SOLAR IRRADIADA NO BRASIL

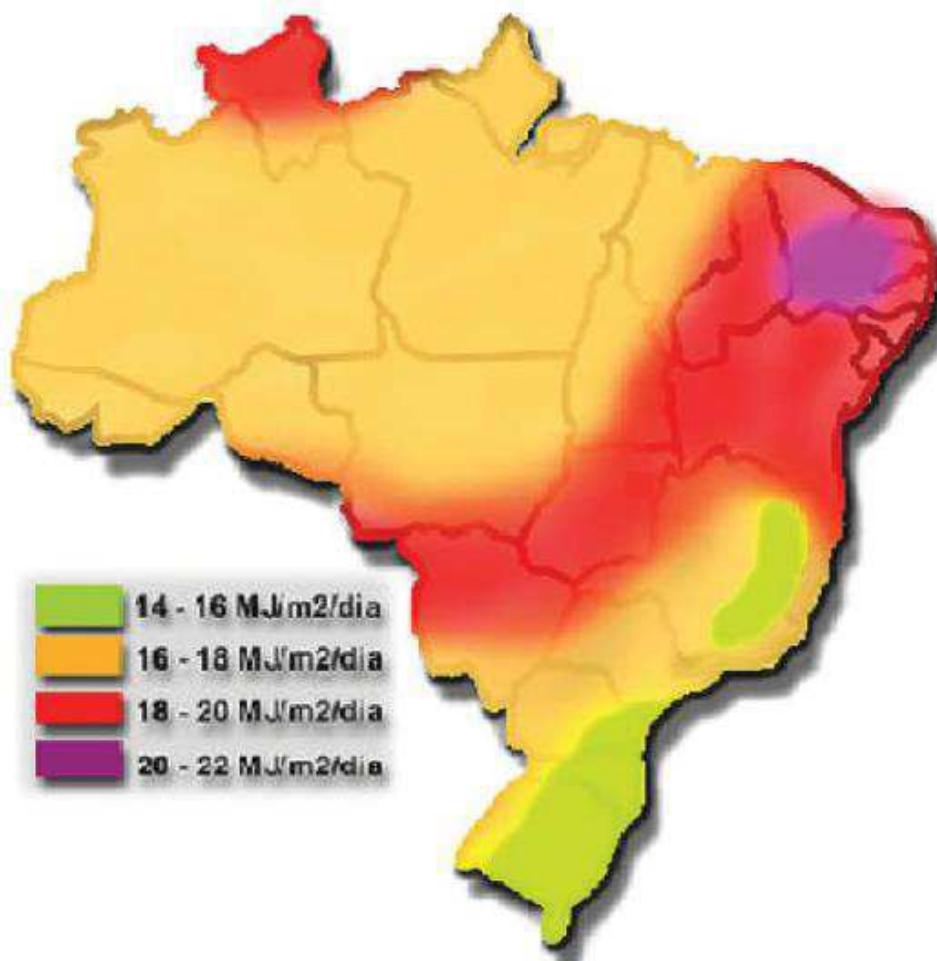
A energia solar irradiada na superfície da Terra é suficiente para atender 10.000 vezes o consumo de energia do mundo. Somente a luz do sol é capaz de produzir uma média de 1.700 kWh de energia elétrica por ano para cada metro quadrado de área (Brakmann et alii, 2003). Entretanto, o aproveitamento desta energia exige o conhecimento das componentes direta e difusa da sua radiação local. Dessa maneira, é necessário medir a radiação e a insolação. A primeira é feita através de piranômetros, que fazem o registro da energia solar que incide em todo o hemisfério celeste. A última é medida por heliógrafos, que determinam a duração da radiação solar direta no período de tempo considerado [Craveiro, 2005].

No Brasil, existem levantamento de dados de radiação solar [Lyra et alii, 1993], dentre eles pode-se destacar o Atlas Solarimétrico do Brasil [Tiba, 2000], Atlas brasileiro de energia solar [Bueno,2006].

O índice de radiação solar do Brasil é um dos mais altos do mundo. Grande parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima a linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações de radiação solar durante o dia. A região nordeste do Brasil, por estar ainda mais próxima do que as demais regiões, é a que possui maior área de radiação solar e também aonde ela é mais eficaz.

A radiação solar no país varia de 8 a 22 MJ/m² durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, quando a radiação é varia de 8 a 18 MJ/m² como apresenta-se na Figura 9.

Figura 9 Variação da radiação solar no Brasil



Fonte: Tiba (2000)

A região do Nordeste brasileiro é a que possui maior radiação solar, com média anual comparável as melhores regiões do mundo, como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget no Deserto de Mojave, Califórnia.

É importante destacar também os números de radiação mínima nas cidades de Floriano-PI, Petrolina-PE e B.J.Lapa-BA, onde tem-se valores de 17 MJ/m², 16,2 MJ/m² e 15,9MJ/m² respectivamente, valores que se equiparam facilmente com de radiação máxima de outras partes do mundo, demonstrando um potencial de exploração solar enorme. Pode se comentar ainda sobre as cidades do sul do Brasil, que possuem uma variação de radiação alta durante o ano, com mínimas que chegam a 8,3 MJ/m² em junho na cidade de Porto Alegre-RS, e máximas de 22,1 MJ/m² em dezembro.

Tabela 1 Comparação da irradiação de cidades brasileiras com as melhores regiões do mundo

Localidade	Radiação Mínima(MJ/m ²)	Radiação Máxima(MJ/m ²)	Média Anual(MJ/m ²)	Radiação Máx./Radiação Min.
Dongola(Sudão)	19,1(Dez)	27,7(Mai)	23,8	1,4
Dagget(EUA)	7,8(Dez)	31,3(Jun)	20,9	4,0
Belém	7,8(Dez)	19,9(Set)	17,5	1,4
Floriano-PI	17,0(Jun)	22,5(Out)	19,7	1,3
Petrolina-PE	16,2(Jun)	22,7(Out)	19,7	1,4
B.J.Lapa-BA	15,9(Jun)	21,1(Out)	19,7	1,3
Cuiabá-MT	14,7(Jun)	20,2(Out)	18,0	1,4
Belo Horizonte- MG	13,8(Jun)	18,6(Out)	16,4	1,3
Curitiba-PR	9,7(Jun)	19,4(Jan)	14,2	2,0
P.Alegre-RS	8,3(Jun)	22,1(Dez)	15,0	2,7

Fonte: Atlas solarimétrico do Brasil,2000

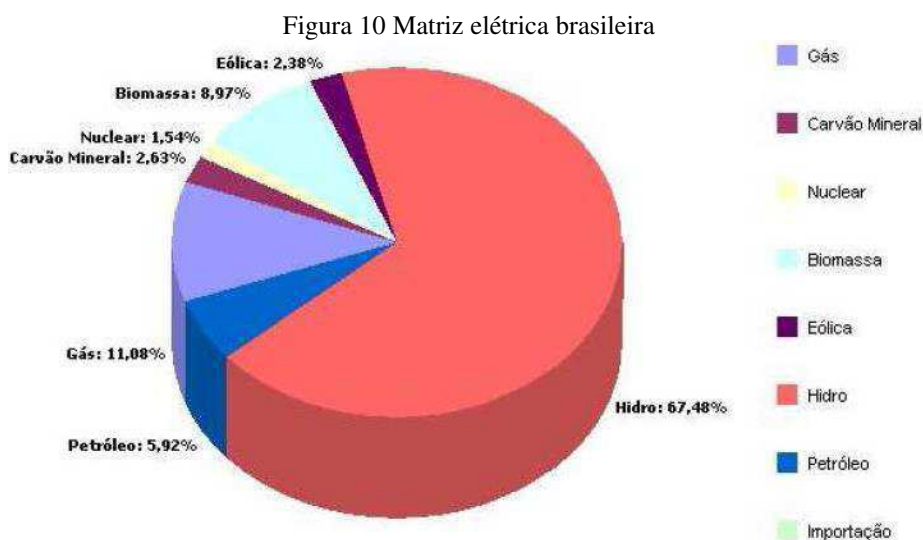
Analisando-se as radiações solar de outras regiões, como Dongola no Sudão e Dagget nos EUA, verifica-se que a radiação mínima, radiação máxima e a media anual do Brasil não fica a desejar. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro são superiores aos da maioria dos países da União Europeia (como Alemanha, França e Espanha), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados.

2.4 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

O Brasil é um país privilegiado pela natureza e tem vários rios onde foi possível construir usinas hidrelétricas de médio e grande porte, sendo esse tipo de geração o principal constituinte da matriz elétrica brasileira atual. Segundo dados da Aneel de Maio de 2014 (ANEEL-1) existem hoje no Brasil 1.108 usinas hidroelétricas com potência instalada somada de 86.918.788 kW, o que representa um total de 67,44% de toda matriz energética nacional.

O Brasil possui ainda 116 usinas termoeletricas de gás natural e 41 usinas termoeletricas de gás processado com uma capacidade instalada de 12.534.521 kW e 1.747.423 kW respectivamente. As capacidades somadas resultam em um total de 11,08% de toda matriz nacional, conforme se observa na figura 10.

As outras fontes de energia do Brasil vem da queima de derivados de petróleo em 1176 usinas com capacidade instalada de 7.628.648 kW ou 5,92%, da queima de biomassa em 481 com capacidade instalada de 11.555.513 kW ou 8,43%, da queima de carvão mineral em 13 usinas com capacidade de 3.389.465 kW ou 2,47%, de 2 usinas nucleares com capacidade de 1.990.000 kW ou 1,45%, de 145 usinas eólicas com capacidade instalada de 3.067.780 kW ou 2,24% e de importação do Paraguai, Argentina, Venezuela e Uruguai com um total de 8.170.000 kW ou 5,96%. O cenário atual mostra a necessidade de diversificação da matriz energética nacional (Santos, 2014) (ANEEL-1).



Fonte: ANEEL (2014)

Atualmente a produção de energia fotovoltaica no Brasil é tão pequena que suas 107 usinas tem capacidade instalada de apenas 9.354 kW com uma porcentagem de participação no sistema nacional de apenas 0,0068%. Ainda segundo a ANEEL, o Brasil tem 137.016.942 kW de carga instalada.

Pela análise apresentada percebemos que as energias solar e eólica são pouco usadas no país com uma capacidade total instalada somada de apenas 3.077.134 kW. Se compararmos esses dados com países como Alemanha que possui fontes renováveis

solar e eólica fortemente solidificada em sua matriz energética percebe-se que o Brasil tem muito a desenvolver nessas áreas.

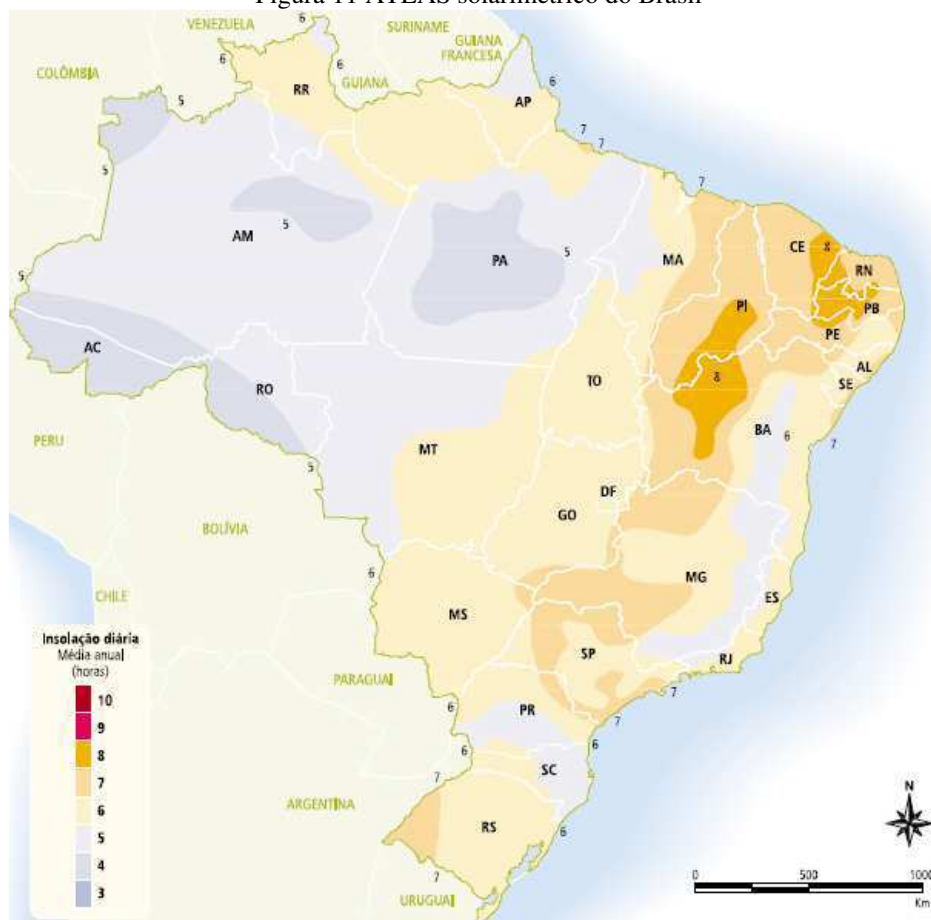
Segundo dados de Abril de 2014 do instituto Fraunhofer (BRUGER, 2014), a Alemanha possui 36.858.000 kW de potência instalada provenientes de fontes solares e 33.668.000 kW de fontes eólicas, o que representa 21,48% e 19,62% respectivamente de toda a carga instalada no país.

O Brasil é localizado em sua maior parte na região inter-tropical possuindo grande potencial para aproveitamento da energia solar durante todo o ano. Este tipo de energia pode ser útil na regulação da oferta de energia em tempos de estiagem, diminuindo a necessidade do uso de termoelétricas pela queima de petróleo e causando a diminuição dos gases poluentes da atmosfera (PEREIRA, 2006).

Apesar do grande potencial solar do Brasil, a participação desta fonte renovável na matriz brasileira é incipiente, não representando números relevantes. Este fato se deve ao alto custo da tecnologia dos painéis fotovoltaicos, bem como de inversores, que não são produzidos no Brasil. No Brasil a radiação média anual varia entre 1200 a 2400 kWh/m².ano, indicando o excelente potencial elétrica nacional. Esses valores são significativamente maiores que os observados na Europa, onde a radiação média anual varia entre 900 e 1250 kWh/m².ano.

O Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional. Devido, porém, ao número relativamente reduzido de estações experimentais e às variações climáticas locais e regionais, o Atlas de Irradiação Solar no Brasil faz estimativas da radiação solar a partir de imagens de satélites.

Figura 11 ATLAS solarimétrico do Brasil



Fonte: Editora Universitária da UFPE (2000)

Segundo pesquisadores do Centro de Pesquisas de Eletricidade – CEPEL, ambos os modelos apresentam falhas e limites e devem ser complementares, na medida em que reúnem o máximo possível de dados e podem, dessa forma, melhorar as estimativas e avaliações da disponibilidade de radiação solar no Brasil (CRESESB, 2000).

2.5 COLETORES SOLARES

Os coletores solares utilizam no seu funcionamento basicamente apenas dois fenômenos naturais: o primeiro é que de modo geral, objetos de cor preta ou escura são bons absorvedores de calor, e o segundo fenômeno é a água quente é mais leve que a água fria, e ao se ter esse ciclo de aquecimento nos captores, têm-se um deslocamento entre a água quente (menos densa) e a fria. É um sistema simples, e a única parte móvel é a água.

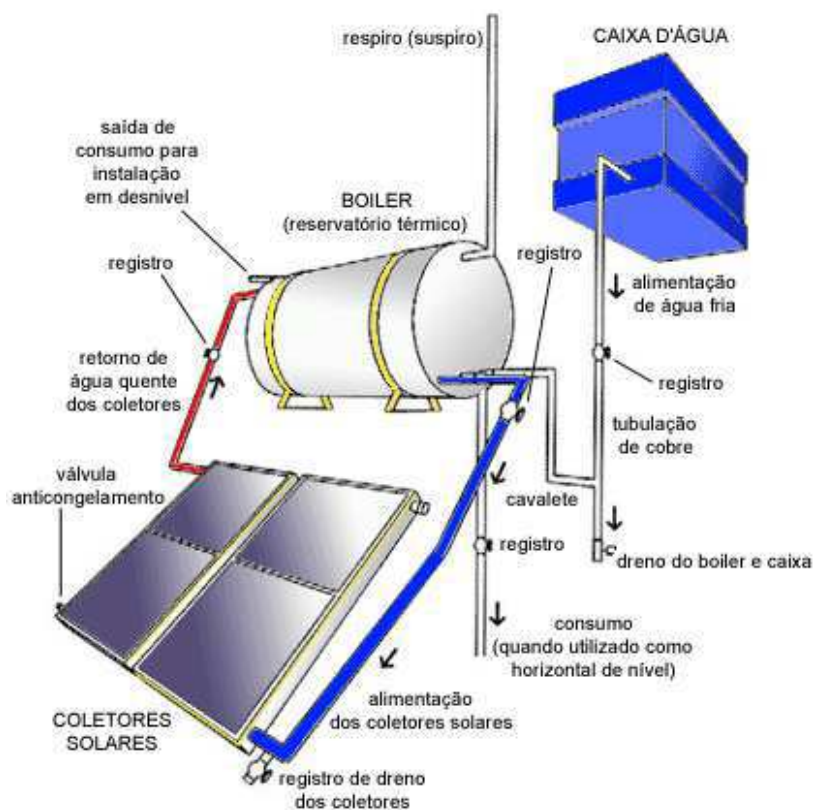
2.5.1 INTRODUÇÃO AOS COLETORES

Quando os raios do sol atravessam o vidro da tampa do coletor, eles esquentam as aletas que são feitas de cobre ou alumínio e pintadas com uma tinta especial e escura que ajuda na absorção máxima da radiação solar. O calor passa então das aletas para os tubos (serpentina) que geralmente são de cobre. Daí a água que está dentro da serpentina esquenta e vai direto para o reservatório do aquecedor solar.

Os coletores são fabricados com matéria-prima nobre, como o cobre e o alumínio. Recebem um cuidadoso isolamento térmico e ainda vedação com borracha de silicone. Eles têm cobertura de vidro liso e são instalados sobre telhados ou lajes, sempre o mais próximo possível do reservatório térmico.

O número de coletores a ser usado numa instalação depende do tamanho do reservatório térmico, mas pode também variar de acordo com o nível de insolação de uma região ou até mesmo de acordo com as condições de instalação.

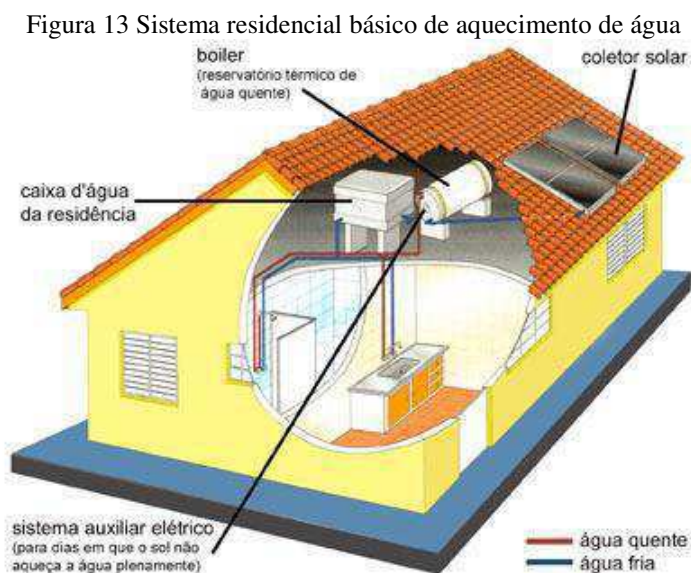
Figura 12 Esquema do coletor solar



Fonte: Soletrol

2.5.2 FUNCIONAMENTO

Um sistema básico de aquecimento de água por energia solar é composto de coletores solares(placas) e reservatório térmico(Boiler).



Fonte: Soletrol

As placas coletoras são responsáveis pela absorção da radiação solar. O calor do sol, captado pelas placas do aquecedor solar, é transferido para a água que circula no interior de suas tubulações de cobre.

O reservatório térmico, também conhecido por Boiler, é um recipiente para armazenamento da água aquecida. São cilindros de cobre, inox ou polipropileno, isolados termicamente com poliuretano expandido sem CFC, que não agride a camada de ozônio. Desta forma, a água é conservada aquecida para consumo posterior. A caixa de água fria alimenta o reservatório térmico do aquecedor solar mantendo-o sempre cheio.

Em sistemas convencionais, a água circula entre os coletores e o reservatório térmico através de um sistema natural chamado termossifão. Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água no reservatório. Assim a água fria “empurra” a água quente gerando a circulação. A seguir observa-se na tabela 2 a variação de densidade da água em função de sua temperatura.

Tabela 2 Densidade da água em função de sua temperatura

Temperatura (°C)	Densidade (kg/m ³)
100	958,40
80	971,80
60	983,20
40	992,20
30	995,65
25	997,05
22	997,77
20	998,21
15	999,10
10	999,70
4	999,97
0	999,84

Fonte: Próprio Autor (2015)

2.5.3 GEOMETRIA

A forma geométrica empregada na construção dos coletores planos é via de regra a forma retangular. Nada impede contudo que outras formas como a circular, quadrada, etc, possam ser usadas, muito embora estas formas conduzam a desperdícios dos materiais empregados na construção dos coletores devido as dimensões padronizadas destes materiais encontrados no comércio.

Um coletor plano para aquecimento de água é constituído de:

- A – Uma cobertura transparente.
- B – Uma placa absorvedora de radiação.
- C – Uma camada de material isolante.
- D – Uma caixa metálica, com fundo.

2.5.4 COBERTURA TRANSPARENTE

A espessura do vidro empregado na cobertura está compreendida entre 3 e 4 milímetros.

A cobertura transparente tem duas finalidades básicas: reduzir as perdas térmicas devido ao efeito convectivo e provocar o efeito estufa.

2.5.5 PLACA ABSORVEDORA DE RADIAÇÃO SOLAR

No conjunto do coletor plano, a placa absorvedora é o item mais importante do sistema de aquecimento considerando o fato de que ao nível da sua superfície que se processa a conversão da radiação em calor.

A placa absorvedora é formada pelo conjunto chapa-tubo, constituindo uma peça única, o que proporciona melhor transferência da energia calorífica entre esta e fluido de trabalho, no caso a água.

Os tubos são dispostos em forma de uma grade. Entre as inúmeras disposições, a grade formada por tubos paralelos é a mais usada.

As dimensões básicas podem ser alteradas dependendo da conveniência do usuário.

Algumas fábricas de coletores nacionais estão empregando perfis especiais de chapa onde os tubos são a ela fixados sobre pressão.

Figura 14 Corte de coletor solar



Fonte: piscinascl.com.br(2015)

2.5.6 ISOLANTE TÉRMICO

Os coletores planos são dispositivos que funcionam segundo a conversão térmica da radiação solar, transferindo o fluxo energético proveniente da radiação incidente para o fluido de trabalho que circula no interior da grade de tubos da placa coletora.

Para que o sistema possa funcionar de acordo com os níveis térmicos desejados, é importante reduzir ao máximo as perdas, já que tratando-se de sistemas que funcionam à temperaturas superiores às do ambiente, é importante evitar as respectivas trocas de calor. Isto é obtido com o emprego de materiais isolantes, de baixa condutividade térmica(K), onde a lã de vidro é entre todos o material mais empregado.

Um baixo valor de K não é o suficiente para definir um bom isolante térmico. Ele deve ainda satisfazer aos seguintes requisitos:

- Custo aquisitivo, baixo.
- Ser resistente a temperaturas a que será submetido.
- Possuir boa resistência mecânica.
- Ser resistentes a ações das intemperes.

O melhor isolante é o ar cujo K é igual a 0,02.

Sendo a maioria dos isolantes térmicos de constituição fibrosa ou porosa, eles serão tão mais isolantes quanto maior for a quantidade de ar neles aprisionado, pois isto torna o K destes materiais tanto quanto possível próximo do K do ar. Apesar disso, a porosidade dos isolantes deve obedecer às dimensões determinadas. O aumento progressivo da porosidade poderá ocasionar movimentos convectivos no ar aprisionado, o que gerará um aumento nas trocas de calor, fazendo com que o material perca as suas propriedades isolantes.

No caso de se usar lã de vidro, está deverá formar um colchão de 5 centímetros de espessura, suficiente para aplicações a baixa temperatura.

2.5.7 CAIXAS DO COLETOR

A caixa do coletor é o elemento estrutural do sistema de aquecimento. Vários são os materiais empregados em sua construção, a saber:

- Fibra de vidro.
- Chapa de ferro galvanizado.

- Plástico rígido.
- Fibro-cimento.
- Chapa ou perfil de alumínio.
- Alvenaria de cimento.
- Madeira.

A Madeira seria a solução mais indicada por possuir baixa condutividade térmica a ser facilmente trabalhável, mas nem por isso a mais econômica pelo fato de apresentar uma vida útil reduzida quando exposta às intemperes.

Entre os materiais relacionados para a construção da caixa do coletor, a escolha é mais uma questão de custo e disponibilidade de mercado. A preferência deve ser dada à aqueles materiais de baixa condutividade térmica já que isto auxilia a reduzir as respectivas perdas.

Apesar do alumínio ser um bom condutor de calor, ele tem sido usado com frequência, em forma de perfil, para compor a caixa do coletor.

Com exceção do alumínio, a caixa do coletor deverá receber um acabamento externo com clara brilhante ou na tonalidade alumínio.

A parte inferior da caixa poderá ser de chapa metálica ou de madeira. Optando-se pela madeira, o compensado naval de 4 milímetros de espessura é o mais indicado.

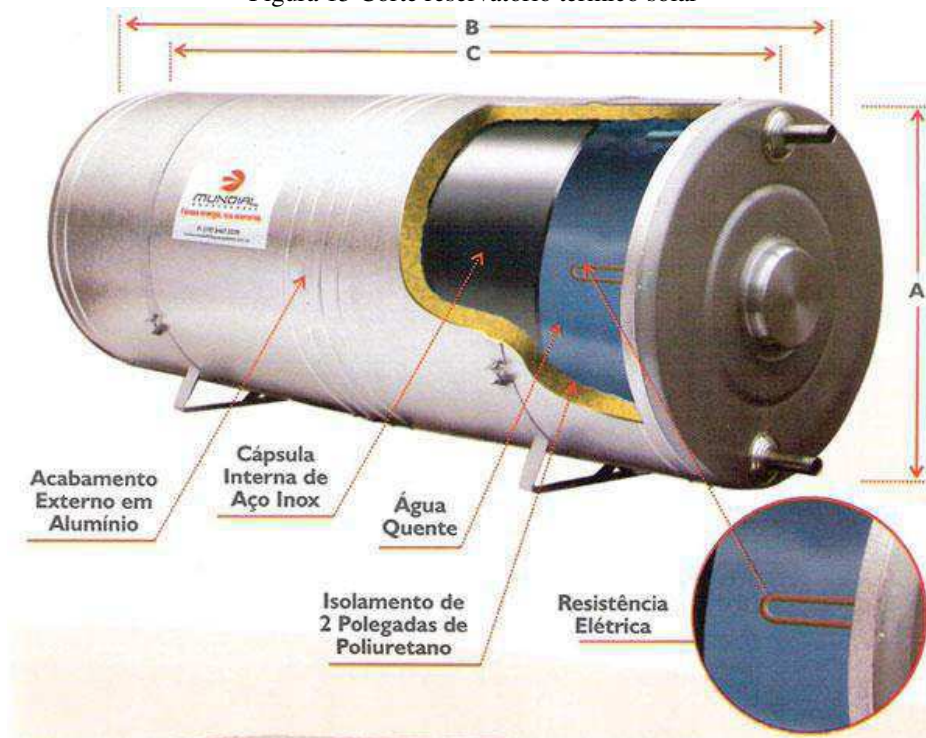
Deve-se ter cuidado de deixar a superfície superior da caixa a mais regular possível pois isto facilita a colocação da cobertura transparente assim como facilita também a vedação com silicone ou outro material de mesmas características.

2.5.8 RESERVATÓRIO TÉRMICO

A fim de garantir o suprimento noturno de água quente assim como nos dias chuvosos, a água previamente aquecida na placa coletora será armazenada em um tanque termicamente isolado, parte integrante do sistema de aquecimento.

O reservatório térmico é como uma caixa d'água especial que cuida de manter quente a água armazenada no aquecedor solar. Esses cilindros são feitos de cobre, inox, ou polipropileno e depois recebem um isolante térmico.

Figura 15 Corte reservatório térmico solar



Fonte: Mundial

A maioria dos modelos de reservatório térmico vem com sistema de aquecimento solar elétrico, mas podem ser fabricados com sistema auxiliar a gás. No dimensionamento do aquecedor solar é preciso saber quantas pessoas vão usar o sistema diariamente, a duração média e a quantidade de banhos diários, quantos serão os pontos de uso de água quente, e assim por diante.

3 ANÁLISE ECONÔMICA DO PROJETO

Antes de se investir em um determinado projeto é necessário verificar a viabilidade do mesmo. Neste sentido antes de iniciar um novo projeto é importante observar as possibilidades de lucros ou prejuízos que o este pode acarretar, sobretudo quando se deseja investir quantias altas.

Com esse fim, existem várias técnicas, métodos que são comumente utilizados na análise e no processo decisório. Esses métodos fornecem uma análise quantitativa ao investidor, permitindo saber tempo de retorno aproximado para o projeto, lucro ou prejuízo em termo de valores presentes que o projeto dará em toda sua vida útil.

3.1 TÉCNICAS DE ENGENHARIA ECONÔMICA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS.

São ferramentas matemáticas que permitem ao investidor ter uma noção quantitativa sobre o investimento. Os métodos de engenharia econômica permitem a visualização por meio de números e projeções, o potencial de retorno real do investimento e, assim, é possível verificar se o projeto gerará retornos da forma como foi formulado ou simplesmente fornece evidencias mais efetivas sobre se o projeto deve ir à frente ou não.

São aplicados quando se deseja saber se um projeto gerará ou não lucro durante a sua vida útil ou quando se precisa saber o tempo de retorno de um determinado investimento.

O valor de um projeto é baseado em sua capacidade de gerar fluxos de caixa futuros, ou seja, na capacidade de gerar renda econômica ou economia. Sendo assim a análise deve ser feita em um tempo comum e por este motivo todo o fluxo de caixa deve ser deslocado para o mesmo horizonte de tempo.

No caso de sistemas de aquecimento de água com captadores solares, que são o alvo deste estudo, deseja-se saber se os fluxos de caixa mensais ou anuais, ou seja, os valores economizados mensalmente ou anualmente deslocados para o mesmo tempo por

uma taxa de juro presumida, geram valor ou prejuízo para o investidor e ter uma noção quantitativa da quantia que se vai lucrar ou perder.

Existem vários métodos para análise econômica para investimentos de forma geral e que podem ser usados também para sistemas de energia renováveis. Alguns métodos serão discutidos a seguir.

3.1.1 VPL – VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O Método do valor presente líquido tem por finalidade analisar o impacto de rendimentos futuros com base no valor presente do capital. De maneira geral mede os valores presentes do fluxo de caixa gerado pelo projeto de investimento no decorrer de toda sua vida útil (Samanez, 2002). Seu calculo é feito de acordo com a seguinte expressão:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (1)$$

I é o valor do investimento Inicial, FC_t é o fluxo de caixa no t -ésimo período e k é o custo do capital. Na equação são levados em conta os retornos financeiros do primeiro ao período n .

De maneira geral este método desloca todo o fluxo de caixa para a data e investimento do projeto por uma taxa de juros presumida e soma algebricamente os valores. Caso a soma for positiva, ou seja, se os ganhos oriundos do projeto deslocados para a data do investimento forem maiores que o investimento, diz-se que o projeto criará valor, caso este valor seja negativo o projeto acarretará prejuízo.

Segundo esse método o investimento é viável sempre que o valor do VPL for maior que zero. Quanto maior o valor do VPL mais viável é o investimento.

3.1.2 VFL – VALOR FUTURO LÍQUIDO

A mesma análise do VPL pode ser feita em termos de valor futuro. Neste caso todos os valores do fluxo de caixa e o investimento inicial são deslocados para o final do projeto, de acordo com custo de capital adotado, conforme a seguinte expressão.

$$VPL = -1(1+k)^n + \sum_{t=1}^n FC_t(1+k)^{n-t} \quad (2)$$

As incógnitas são as mesmas do VPL e o projeto será viável se o valor de VFL for Positivo. Quanto maior o valor do VFL mais viável é o investimento.

Os resultados do VPL e VFL são equivalentes mudando apenas o tempo de análise

3.1.3 TIR – TAXA INTERNA DE RETORNO

Muitos investidores preferem tomar decisões com base em valores percentuais, neste caso pode-se usar a TIR. A TIR é a taxa de retorno esperada do projeto de investimento. O objetivo primordial da TIR não é fazer uma avaliação absoluta da rentabilidade como o VPL, visa somente encontrar uma taxa intrínseca de rendimento. De maneira mais geral a TIR é uma taxa de retorno hipotética que anula o VPL.

Em termos gerais temos:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (3)$$

A regra geral da TIR é empreender sempre que a TIR for maior que o custo de oportunidade de capital, neste caso o projeto criará valor, caso contrário não se deve investir.

- Se $TIR > k$, Projeto economicamente viável;
- Se $TIR < k$, Projeto economicamente inviável.

O calculo da TIR é feito com o auxilio de softwares como Excel ou Matlab® devido à complexidade do cálculo analítico.

3.1.4 PAYBACK

Este método é usado sempre que se deseja obter o tempo de retorno do investimento inicial. Analisando o caso onde as receitas mensais obtidas com o investimento são fixas o Payback é calculado segundo a seguinte expressão:

$$PB = \frac{I}{Re} \quad (4)$$

I é o investimento inicial, Re são as receitas fixas obtidas em um determinado período fixo que pode ser semanal, mensal, anual, ou outro intervalo de interesse.

Quando as receitas não são fixas o Payback é o tempo necessário para que o somatório dos ganhos com o projeto se igualem ao valor do investimento.

Esse método não considera o valor do dinheiro no tempo e faz apenas o estudo do tempo de recuperação do capital, sendo assim não é um método muito eficaz. Ao fim do processo obtém-se apenas o tempo de retorno do capital investido.

3.2 ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA

Por se tratar de um método mais geral e considerar o valor do capital no instante presente, será considerado o método VPL, mas serão usados também o TIR e Payback.

Como se trata de um investimento de longo prazo deve-se considerar o valor do capital no tempo através do custo de oportunidade. O custo de oportunidade é um termo usado em economia que se refere ao custo de algo em função de outra oportunidade renunciada, ou de maneira geral, corresponde ao que se deixa de ganhar em uma segunda alternativa por se escolher a primeira.

Sendo assim o investimento pretendido precisará render mais que o custo de oportunidade de capital, caso contrário não se justifica. Como métodos de comparação pode-se usar o investimento em outro projeto, o rendimento em algum fundo de investimento bancário, como a poupança; o rendimento de títulos do tesouro nacional ou outro investimento qualquer.

Para o estudo de viabilidade de sistemas de aquecimento de água com captadores solares, será considerado como custo de capital o rendimento anual da poupança em 2014, sendo esse o custo de oportunidade. Esse meio de comparação foi utilizado por se tratar de um fundo de fácil acesso e com baixo rendimento. Sendo assim se o projeto não for viável em comparação com este tipo de investimento, dificilmente será viável em comparação com outros investimentos.

Segundo dados do jornal online G1(G1) o rendimento anual da poupança em 2014 foi de 4,02 % para investimentos feitos a partir de julho de 2014. Considerando o método de análise VPL, para que o investimento seja viável financeiramente é necessário que os ganhos econômicos recebidos em todo o período de validade do projeto deslocados para o seu início por uma taxa de 4,02% e somados, seja maior que o investimento total do projeto deslocado para o mesmo período de tempo. Caso isso não ocorra o projeto não será viável. Da mesma forma a TIR do projeto precisa ser maior que 4,02%, caso contrário o projeto não se justifica.

4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Para dimensionar o número de coletores e o volume do boiler a serem utilizados num determinado projeto necessitamos de saber inicialmente o número de usuários e o tipo de atividade envolvendo água quente. Esse cálculo nos dará a quantidade de água quente necessária por dia. A partir daí é só escolher um boiler que atenda a estas especificações.

O importante é verificar se o cliente em particular está “na média” ou precisa de um suplemento (desperdício assumido, piscinas, locais muito frios, etc...).

Na tabela 3 foram selecionados alguns dos consumos médios, retirados da Norma NB-128 da ABNT e do Manual de prédios eficientes em energia elétrica, do IBAM/PROCEL, que se complementam.

Tabela 3 Consumo médio de água aquecida em ambientes residenciais

Chuveiro	50	Litros/banho
Banheira para uma pessoa	100	Litros/banho
Banheira para duas pessoas	200	Litros/banho
Torneira de água quente	50	Litros/dia
Máquina de lavar pratos	150	Litros/dia
Máquina de lavar roupa	150	Litros/dia

Fonte: NB 128 - ABNT

OBS: Os valores da tabela referem-se a tempo de utilização médio de 10 minutos a uma vazão máxima de 12 l/min. Acima destes valores o dimensionamento pode sofrer alterações de acordo com os hábitos de consumo do local em questão.

Este cálculo permite chegar ao dimensionamento do reservatório de água quente, o boiler.

Já que o foco do trabalho, é aquecer água exclusivamente para banho em uma residência com 4 pessoas:

- Cálculo da capacidade mínima do reservatório:

$$50 \text{ l/pessoa} \times 4 \text{ pessoas} = 200 \text{ litros}$$

$$\text{Capacidade mínima do reservatório} = 200 \text{ litros}$$

- Cálculo do número de placas coletoras:

Para aquecer 100 litros d'água de 20 a 60 °C por dia, necessita-se de 139,53 kWh/mês. Portanto, a quantidade de energia mensal necessária para aquecer os 200 litros de água será:

$$q = 2 \times 139,53 = 279,06 \text{ kWh/mês}$$

Adotando o coletor solar CSC SUPER com produção mensal de energia de 107,80 kWh/mês (vide tabela de características técnicas dos coletores) temos:

$279,06 / 107,8 = 2,59$ ou seja, são necessários 3 coletores CSC SUPER para aquecer o reservatório de 400 litros.

Na opção pelos coletores CSC SUPER 200 temos $279,06 / 148,86 = 1,87$ ou seja, são necessários 2 coletores CSC SUPER 200 para aquecer o reservatório de 200 litros.

4.1 ESCOLHA

Para o projeto foi utilizado o Aquecedor Solar Cumulus 200l (Baixa pressão 5MCA), onde observa-se o modelo na Figura 12. Foi escolhido devido ao seu custo benefício, bom preço e garantia, assim como atende as especificações do projeto e para garantir qualidade e eficiência, tem seu desempenho aprovado pelo INMETRO e está em conformidade com o Programa Brasileiro de Etiquetagem.

Figura 16 Aquecedor solar CUMULUS



FONTE:Solarforte.com

Características da Placa Coletora:

- Caixa em monobloco: Em alumínio polido, dobrada e sem emendas;
- Isolamento térmico: Camada de lã de vidro disposta sobre toda a superfície do coletor;
- Serpentina: Em cobre, material mais indicado para condução da água quente;
- Aletas: Aletas de alumínio de 0,4 mm revestida com pintura preta fosca, resistente aos raios UV.
- Tampo: Vidro liso de 3 mm.
- Oferece excelente relação custo/benefício.
- Diâmetro dos tubos: 22 mm;
- Dimensões 1324x1072X060mm (AxLxP).
- Área externa do coletor: 1,42 m²;
- Produção média mensal de energia: 93,2 KWatts/mês (AxLxP)
- Pressão máxima de Trabalho: 40 mca
- Certificado pelo INMETRO
- Modelo: CSA SUNPOP 142

Reservatório de 200l:

- Material: Corpo interno em aço carbono com esmalte vitrio.
- Anodo de magnésio protegendo adicionalmente o tanque interno contra a corrosão, prolongando sua vida útil.
- Isolamento térmico com poliuretano expandido rígido.
- Acabamento externo em chapa de aço carbono protegida com tinta anti-corrosiva e acabamento em esmalte sintético.
- Resistências de cobre blindada 1500W/220v.
- Termostato de encosto.
- Dimensões 560mm x 1192mm (Diam x Comp Externo.).
- Pressão de trabalho Maximo 5 M.C.A
- Peso com embalagem: 90,0 Kg
- Fornecedor - Aquecedores Cumulus SA.

5 MÉTODOS E RESULTADOS

Para esta etapa do trabalho foi utilizado o Excel. Todo embasamento foi feito em métodos de tomada de decisão de engenharia econômica como VPL, TIR e Payback.

Para se verificar a viabilidade tanto técnica como econômica do projeto de instalação do aquecedor solar de água residencial, foi-se utilizado um sistema residencial com consumo médio de 279,06 kWh por mês de energia elétrica para aquecimento de água de uma residência brasileira pertencente ao grupo B1.

Tabela 4. Lista de materiais e respectivos preços para a realização do projeto.

Material/Equipamento	Valor
Aquecedor Solar Cumulus 200l Baixa Pressão 5MCA	R\$ 2.422,00
Instalação	R\$ 1000,00
Total	R\$ 3.422,00

Fonte: Próprio Autor (2015)

Conforme se verifica na Tabela 4 o custo total do sistema é de R\$ 3.422,00 que corresponde ao investimento inicial do projeto.

Os ganhos mensais com o projeto foram calculados e mostrados na Tabela 5, conforme tarifa residencial obtida no site da Aneel para a concessionária Energisa Borborema (EBO) que é de 0,42520 R\$/kWh até 27 de agosto de 2015. Considerou-se ainda um aumento anual na taxa de energia elétrica de 5% ao ano até o fim do projeto que tem previsão de vida útil de 20 anos.

Tabela 5. Tarifas, economia mensal e economia anual considerando um aumento na tarifa de 5% ao ano.

Ano	Tarifa (R\$/kWh)	Economia Mensal (R\$)	Economia Anual (R\$)
2016	0,42520	118,66	1.423,92
2017	0,44646	124,59	1.495,08
2018	0,46878	130,82	1.569,84
2019	0,49222	137,36	1.648,32
2020	0,51683	144,23	1.730,76
2021	0,54267	151,44	1.817,28
2022	0,56981	159,01	1.908,12
2023	0,59830	166,96	2.003,52
2024	0,62821	175,31	2.103,72
2025	0,65962	184,07	2.208,84
2026	0,69260	193,28	2.319,36
2027	0,72724	202,94	2.435,28
2028	0,76360	213,09	2.557,08
2029	0,80178	223,74	2.684,88
2030	0,84187	234,93	2.819,16
2031	0,88396	246,68	2.960,16
2032	0,92816	259,01	3.108,12
2033	0,97457	271,96	3.263,52
2034	1,02329	285,56	3.426,72
2035	1,07446	299,84	3.598,08
		Total	47.081,76

Fonte: Próprio Autor (2015)

Fazendo o deslocamento de todos os retornos anuais para a data inicial do investimento obtem-se a Tabela 6. Com o auxílio do *Excel* foi então calculado o VPL.

$$VPL = -3.422,00 + 29.971,47 = R\$ 26.549,47$$

Como se pode observar ao fim dos 20 anos de duração do projeto o investimento inicial é recuperado, sendo o VPL igual a R\$ 26.549,47, sendo assim o projeto seria viável para tal situação.

Neste caso o tempo de retorno do investimento, ou seja, o Payback é de cerca de 2 anos e 4 meses, e a taxa interna de retorno do investimento é de 47%, o que comprova

a viabilidade do projeto, tendo em vista que a TIR é muito maior que a taxa de atratividade considerada que foi 4,02%.

Tabela 6. Cálculo de valor presente considerando uma taxa de atratividade de 4,02% ao ano durante os 20 anos do investimento.

Ano	Valor do Dinheiro no Presente (2015) (R\$)
2016	1.368,89
2017	1.381,75
2018	1.394,78
2019	1.407,91
2020	1.421,19
2021	1.434,57
2022	1.448,06
2023	1.461,70
2024	1.475,49
2025	1.489,35
2026	1.503,43
2027	1.517,56
2028	1.531,88
2029	1.546,28
2030	1.560,87
2031	1.575,60
2032	1.590,42
2033	1.605,40
2034	1.620,53
2035	1.635,81
Total	29.971,47

Fonte: Próprio Autor (2015)

6 CONCLUSÃO

Este trabalho representou uma contribuição no sentido de incentivar o uso da energia solar, principalmente na escala residencial, numa tentativa de adquirir o hábito do emprego de uma fonte não convencional que certamente terá num futuro próximo uma importância econômica e social das mais altas.

Neste trabalho foi feita a análise econômica de um sistema de aquecimento de água utilizando energia solar. Do ponto de vista técnico o projeto é viável e possível de ser instalado na região de Campina Grande, que possui um potencial solar considerável.

Pelo método do VPL, observa-se uma viabilidade do projeto, já que o mesmo é positivo e igual a R\$ 26.549,47. Pelo método da TIR, obtêm-se 47%, sendo esse valor mais de 10 vezes maior que o custo de oportunidade de poupança que foi de 4,02% mostrando também a viabilidade do projeto. No método Payback, obtêm-se um tempo de retorno para o projeto de aproximadamente 2 anos e 4 meses, comprovando assim a viabilidade do projeto por todos os métodos de engenharia econômica utilizados neste trabalho.

Espera-se que com o aumento previsto para as tarifas de energia nos próximos anos e com uma maior procura e barateamento dos equipamentos, que se tornem cada vez mais viáveis e acessíveis às pessoas interessadas.

Fica evidente no estudo feito que, é possível e viável economizar energia e dinheiro e ao mesmo tempo contribuir para a conservação do meio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil – banco de dados terrestres**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000 .

PEREIRA, E. B; et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP; Primeira Edição, 2006.

ANEEL-1. **Matriz Energética Brasileira**. Agencia Nacional de Energia Elétrica – Aneel. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/operacaocapacidadebrasil.asp>>. Acesso em: Fevereiro de 2015.

BRUGER, Bruno. **Electricity production from solar and wind in Germany in 2014**. Fraunhofer Institute. Disponível em: <<http://www.ise.fraunhofer.de/en/downloads-englisch/pdf-files-englisch/datanivc-/electricity-production-from-solar-and-wind-in-germany-2014.pdf>>. Acesso em: Fevereiro de 2015.

EPE. **Projeção de Demanda de Energia Elétrica**. Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20130117_1.pdf>. Acesso em: Fevereiro de 2015.

PEREIRA, E. M. D. et alii. **Energia Solar Térmica**. In: “Fontes Alternativas de Energia no Brasil”. Rio de Janeiro:Ed. Ciência Moderna., 2004.

PEREIRA, Enicio Bueno, MARTINS, F. R., ABREU, S. L., RÜTHER, R., **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREIRA, Enicio Bueno & LIMA, Jorge Henrique (orgs.). **Solar and Wind Energy Resource Assessment**. São José dos Campos: INPE, 2008.

EPE Empresa de Pesquisa Energética, **Nota Técnica EPE – Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira**, 2012.

CASTRO, R. M. G. **Introdução à energia fotovoltaica**. 2. ed. Lisboa Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico Secção de Energia, 2007.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 3ª edição, Brasília, 2008, 236p.

ABNT – NB 128 / 1963 – **Instalações Prediais de Água Quente** – (página 2).

Krause, Cláudia Barroso et al.; Maia, José Luiz Pitanga, coordenador. **Manual de prédios eficientes em energia elétrica**. Editora: IBAM/ELETROBRAS/PROCEL. Rio de Janeiro-RJ. Ano: 2002. 338,32 (CDD 15.ed.).

Arnaldo Moura Bezerra, **Aplicações térmicas da energia solar**. Editora:Universitária. João Pessoa. Ano 2001 (4º edição).

Loudal, V. (2015). **Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um Microsistema Eólico Conectado à rede Elétrica**. Campina Grande.

Silva, R. (2014). **Análise de Viabilidade Técnica e Econômica para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede Elétrica**. Campina Grande

Sardá, J.(2010). **Funcionamento de Coletor Solar: Estudo de Caso em Hotéis**. Campina Grande.

Lima, C.(2014). **Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Campina Grande.

Mundo Água.(s.d.).**Energia Fotovoltaica.**, disponível em:
<<http://www.mundoagua.com.br/blog/energia-fotovoltaica/>>. Acesso em abril de 2015

ANEEL. **Tarifa Aplicada**. Agencia Nacional de Energia Elétrica – Aneel. Disponível em:< <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/tarifaAplicada/index.cfm> >. Acesso em: Abril de 2015

Soletrol (s.d.). Como Funciona. Disponível em:
<<http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php>>. Acesso em: abril de 2015