

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS-MG
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATU SENSU* - FONTES
ALTERNATIVAS DE ENERGIA - FAE

ÁTALO ANTÔNIO RODRIGUES TIRADENTES

USO DA ENERGIA SOLAR PARA
GERAÇÃO DE ELETRICIDADE E PARA
AQUECIMENTO DE ÁGUA

LAVRAS/MINAS GERAIS
2007

ÁTALO ANTÔNIO RODRIGUES TIRADENTES

**USO DA ENERGIA SOLAR PARA
GERAÇÃO DE ELETRICIDADE E PARA
AQUECIMENTO DE ÁGUA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras – UFLA, como parte das exigências do curso de Pós Graduação *Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Energia Solar.

Orientador
Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS/MINAS GERAIS
2006

ÁTALO ANTÔNIO RODRIGUES TIRADENTES

**USO DA ENERGIA SOLAR PARA GERAÇÃO DE
ELETRICIDADE E PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras – UFLA, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energia – FAE para a obtenção do título de Especialista em Energia Solar.

Aprovada em ____ de _____ de 2007.

Prof. _____
Universidade Federal de Lavras-UFLA

Prof. _____
Universidade Federal de Lavras-UFLA

Prof. Carlos Alberto Alvarenga
Universidade Federal de Lavras-UFLA
LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

RESUMO

Trata o presente trabalho de pesquisa em caráter de revisão bibliográfica a respeito da utilização da energia solar como fonte alternativa para geração de energia elétrica e aquecimento de água. Após uma breve introdução ao tema, é apresentado o Referencial Teórico, onde são abordados os temas Energia Solar – Captação e Conversão, Alternativas de Aproveitamento, Células solares fotovoltaicas, Sistemas fotovoltaicos, além dos Sistemas de Aquecimento de Ambientes e Aquecimento de Água. Ao final é apresentado um relato de situação real com dados coletados empiricamente versando sobre o uso conjunto de energia elétrica e energia solar no aquecimento de água de uso residencial. A seguir, são apresentadas as Considerações finais, seguidas das Referências bibliográficas.

Palavras-Chave: Energia Solar; Aproveitamento; Revisão bibliográfica.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.4.1 Células solares fotovoltaicas	24
2.1 A energia que vem do sol	11
2.2 Radiação Solar	15
2.3 Energia Solar – Captação e conversão	18
2.4 Alternativas de aproveitamento da energia solar	24
2.4.2 Sistemas fotovoltaicos	30
2.4.3 Energia solar fototérmica	34
2.4.4 Arquitetura bioclimática	35
2.4.5 Forno solar	35
2.5 Sistemas de aquecimento	36
2.5.1 Aquecimento de ambientes	37
2.5.2 Aquecimento de água	40
3 Estudo de caso – Aplicação conjunta dos sistemas de aquecimento solar e elétrico em uso residencial.....	46
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trajetória dos raios de Sol na atmosfera e definição do coeficiente de "Massa de Ar" (AM).....	36
Figura 2 - Célula de silício monocristalino	28
Figura 3 - Célula de silício policristalino	30
Figura 4 - Forno solar	38
Figura 5 - Fluxo de ar quente-frio	40
Figura 6 - Aquecedor solar doméstico	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Consumo mensal	52
Gráfico 2	Média diária de consumo	52

1 INTRODUÇÃO

Desde tempos imemoriais, o homem necessita manipular as fontes de energia para manter, prolongar e tornar mais confortável sua própria sobrevivência.

A descoberta do fogo propiciou ao homem pré-histórico um salto de qualidade nas suas rudes condições de vida, principalmente em função da possibilidade de manter aquecidos e iluminados seus abrigos. Este conforto conduziu rapidamente a mudanças na sua alimentação ao proporcionar os primeiros rudimentos do processamento dos alimentos, basicamente caça. Esta descoberta também favoreceu a fixação da moradia em cavernas, tendo sido um passo importante na evolução da espécie humana.

A utilização das fontes naturais de energia continuou evoluindo, acompanhando o desenvolvimento cultural da humanidade. O homem sempre dispôs do sol a aquecer o planeta e favorecer as colheitas na agricultura; dos ventos que graças à engenhosidade humana foi muito bem aproveitado como força motora, principalmente em moinhos e no transporte marítimo e fluvial; das águas dos rios desviadas desde há muitos séculos para mover moinhos possibilitando o processamento de grãos, e mais recentemente na geração de energia elétrica.

A civilização como a conhecemos hoje, teve sua evolução e desenvolvimento baseado inicialmente na força física. O homem conseguiu controlar e usar a tração animal que foi, muito tempo a única forma de produzir trabalho com menor esforço próprio. Os animais foram utilizados no transporte de cargas, na tração de veículos e de algumas máquinas rudimentares, como alguns tipos de engenhos e olarias.

Mas o engenho humano e a criatividade foram se desenvolvendo ao longo dos séculos e o homem aprendeu, pela observação, curiosidade e experimentação, a utilizar a energia de algumas outras fontes independentes dessa força física dos animais.

As primeiras máquinas desenvolvidas com esta finalidade foram as rodas hidráulicas e os moinhos de vento, que significaram um avanço importante na capacidade de produzir trabalho – ou potência – mesmo que até então o objetivo fosse apenas conseguir produzir mais com menor esforço.

Qualitativamente só foi verificado um verdadeiro e significativo avanço a partir dos séculos XVII e XVIII, com o desenvolvimento da máquina a vapor e do motor de combustão interna.

O desenvolvimento das turbinas a vapor e motores de combustão interna proporcionou não só um incremento significativo da potência das máquinas existentes como levou à produção de novas unidades, elevando consideravelmente a capacidade de produção do homem.

O consumo de combustíveis, até então limitado às atividades domésticas como aquecimento e preparação de alimentos cresceu de forma muito rápida.

Um crescimento exponencial desse consumo se iniciou com a Revolução Industrial do século XVIII, e como bem sabemos, não parou e nem dá sinais de que possa diminuir.

Mais recentemente, a evolução tecnológica levou o homem a um consumo cada vez maior de energia em todas as formas disponíveis, com notável crescimento do consumo de combustíveis fósseis, definindo uma matriz energética mundial amplamente baseada no petróleo.

O consumo atual de combustíveis fósseis responde por algo em torno de 97% de toda energia consumida no planeta. O pior é constatar que os hidrocarbonetos poderiam ser muito melhor utilizados na indústria química ao invés de serem simplesmente queimados nos motores de nossas máquinas. Sabemos que as reservas desses combustíveis são finitas e já se pode prever sua total exaustão, considerando as reservas conhecidas e o ritmo de crescimento do consumo.

Frente às previsões de exaustão das fontes de energia baseadas no petróleo, a ciência se volta para a natureza tentando aproveitar os recursos disponíveis, que são abundantes, limpos e renováveis.

A dependência geográfica e política das nações não produtoras de petróleo daquelas ricas na ocorrência de bacias petrolíferas e as conseqüências de sua utilização para o meio

ambiente forçou a busca por fontes de energia renovável, com custo potencialmente mais baixo a médio e longo prazo, custo esse aferido por critérios econômicos, sociais e ambientais.

Basicamente, as fontes de energia renováveis mais conhecidas são a energia eólica, solar, biomassa e hidráulica. E dentre todas as alternativas já estudadas e testadas, o aproveitamento da energia do sol se mostra como uma das mais adequadas no momento atual.

O presente trabalho ater-se-á à pesquisa da energia solar como forma de geração de energia elétrica e aquecimento de água para consumo doméstico (estudo de caso).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A energia que vem do Sol

O Sol é, sob todos os aspectos, responsável direto pela manutenção da vida em nosso planeta; e é a origem de todas as formas de energia conhecidas, direta ou indiretamente.

É uma imensa bola de gases incandescentes com um volume de cerca de 1,3 milhões de vezes o volume do nosso planeta. Uma gigantesca usina de força que consome 4 milhões de toneladas de matéria por segundo, mas ainda continuará a aquecer e iluminar a Terra por alguns bilhões de anos.

A energia que Terra recebe do Sol anualmente é estimada em 1.7×10^{17} W. Este número representa correspondente a

cerca de 1000 vezes o consumo mundial de energia em todas as formas conhecidas. Em comparação com todas as outras formas de energia utilizadas no nosso planeta, podemos dizer que o Sol é uma fonte inesgotável de energia. O que a humanidade precisa é a ciência descubra e desenvolva formas de melhor aproveitar todo esse potencial em seu benefício.

Mas também é fato que nem todo este potencial pode ser aproveitado; pelo menos 30% de toda a radiação solar que atinge a nossa atmosfera e a superfície do planeta são refletidos ao espaço. Outros 47% aproximadamente são absorvidos pela atmosfera e pela superfície do planeta – continentes e oceanos - gerando variações de temperatura, sendo também devolvidos ao espaço.

Assim, de toda a energia que o Sol transmite à Terra, apenas 23% vão efetivamente ser utilizados na geração de algum tipo de trabalho, atuando no clima, nos ventos, ondas, correntes e até no ciclo da água em todo o planeta. Finalmente, apenas 0,22% - cerca de $4,0 \times 10^{10}$ kW, vão penetrar no sistema biológico terrestre, por fotossíntese; isto é uma conversão de energia solar em energia química nos organismos vivos.

Uma pequena parcela da energia armazenada como energia química em plantas e tecidos de corpos animais se acumulou com durante milhões de anos, sob condições geológicas favoráveis, na forma de carvão e óleos minerais, convertendo-se em reservas de combustíveis fósseis.

Todas as reservas de combustíveis fósseis foram formadas ao longo de milhões de anos em função de mudanças drásticas verificadas nos sistemas biológicos e geológicos. Nos dias atuais, pode-se dizer que é praticamente nula a formação de novos depósitos, ao passo que o consumo continua acelerado, levando ao inexorável esgotamento dessas reservas num horizonte não muito distante.

A energia solar é como já mencionado anteriormente, inesgotável e gratuita. Entretanto, os equipamentos que permitem seu aproveitamento, principalmente na conversão em energia elétrica ainda são caros e inacessíveis à maioria da população. Mas, com o aumento da produção e utilização desses equipamentos, o custo total as instalações tende a diminuir, e assim, poderá beneficiar de forma direta um número maior de pessoas. Quanto maior for a utilização de energia elétrica e térmica oriundas de coletores solares, maior será a preservação do meio ambiente; as pessoas que utilizam a energia elétrica de origem fotovoltaica estão evitando o consumo de combustíveis fósseis e numa análise mais avançada, estão contribuindo para a diminuição da necessidade de alagamentos provocados por usinas hidroelétricas.

Podemos vislumbrar para o futuro que boa parte da população mundial poderá utilizar energia elétrica de origem fotovoltaica até o final deste século. Se considerarmos que apenas uma pequena fração de toda energia radiante que atinge a superfície da Terra, se bem aproveitada, pode representar uma

grande redução no consumo de petróleo e seus derivados, entenderemos melhor o verdadeiro potencial desta fonte limpa e renovável no suprimento de energia e na conservação dos outros recursos naturais não renováveis.

Em apenas uma hora o Sol despeja sobre a Terra uma quantidade de energia superior ao consumo global de um ano inteiro. Energia gratuita, renovável e não poluente. Diferente dos aquecedores solares de água comuns atuais, o efeito fotovoltaico transforma a energia luminosa proveniente do Sol em eletricidade para abastecer lâmpadas, TVs, bombas e dessalinizadores de água, computadores, refrigeradores e mais quaisquer outros equipamentos elétricos.

A humanidade vai ter cada vez mais necessidade de energia e a depender das fontes convencionais, terá também cada vez mais dificuldade em obtê-la. Daí a urgência no desenvolvimento de novas tecnologias visando ao aproveitamento de fontes renováveis e limpas, que possam propiciar o desenvolvimento de maneira sustentável e preservacionista.

Entre outras fontes alternativas cujas tecnologias estão avançando, a energia elétrica de origem fotovoltaica aparece como uma das principais formas de substituir os métodos conhecidos de geração de eletricidade.

2.2 Radiação Solar

Antes de atingir o solo, as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afetadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, também identificada por um coeficiente denominado "Massa de Ar" (AM), e, portanto, do ângulo Zenital do Sol, da distância Terra-Sol e das condições atmosféricas e meteorológicas. Fig. 1 (Cresesb, 2001).

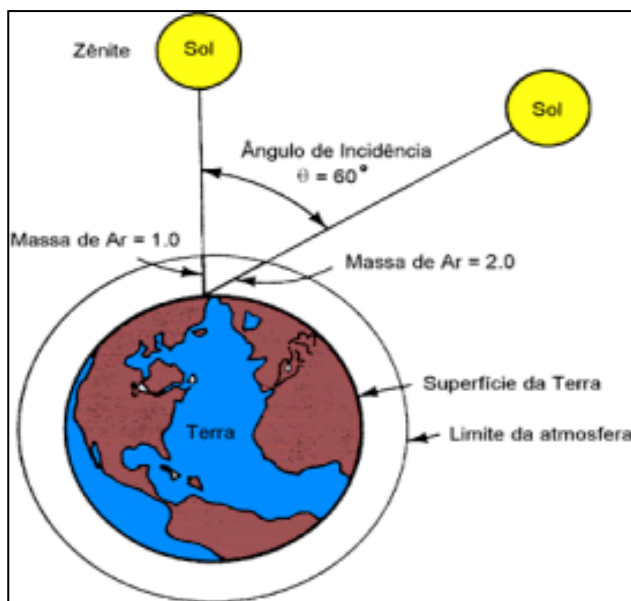


Figura 1 – Trajetória dos raios de Sol na atmosfera e definição do coeficiente de "Massa de Ar" (AM). Fonte: Cresesb, 2001.

2.2.1 Radiação Solar no Nível do Solo.

Nem toda a radiação solar que atinge as camadas mais externas da atmosfera terrestre consegue chegar ao nível do solo. A maior parte é refletida de volta ao espaço ou absorvida pela atmosfera, e somente uma pequena parcela chega à superfície, parcela esta que pode ser decomposta em duas componentes, a componente de feixe ou componente direta a energia difusa ou componente difusa. (CRUZ, 2001).

Acrescente-se que no caso de superfícies receptoras não horizontais, mais uma componente da radiação se manifesta, refletida pelo ambiente – rochas, plantas e demais obstáculos existentes nas proximidades da superfície refletora. O coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de "albedo".

A radiação solar nunca vai ser captada de forma constante e homogênea, principalmente devido ao movimento de rotação da Terra, que proporciona a alternância entre dias e noites. Além disso, as variações climáticas oriundas da passagem das estações do ano, os períodos de maior nebulosidade ou dias chuvosos contribuem para a grande variação na intensidade da captação e isso sempre leva às dificuldades relativas ao dimensionamento do sistema mais apropriado de estocagem da energia resultante do processo de conversão.

Observa-se que somente a componente direta da radiação solar pode ser submetida a um processo de concentração dos raios através de espelhos parabólicos e lentes. Consegue-se

através da concentração, uma redução substancial da superfície absorvedora solar e um aumento considerável de sua temperatura. (CRUZ, 2001).

Medir a radiação solar que chega à superfície da Terra é um desafio da maior importância na identificação e quantificação da influência das condições atmosféricas e climáticas que podem interferir na eficiência das instalações de captação e conversão da energia solar em energia térmica, elétrica, etc.

2.2.1.1 Solarimetria e instrumentos de medição:

Um estudo apropriado dos resultados dessas medições é importante fator na definição da viabilidade de plantas fototérmicas e fotovoltaicas para cada região onde se pretenda construir sistemas de captação e conversão, visando o melhor aproveitamento das condições climáticas e atmosféricas ao longo do ano. Isto é particularmente importante nas regiões onde se observam maiores variações de insolação e de temperaturas médias, porque se busca sempre o melhor aproveitamento da radiação durante todos os meses do ano.

Os instrumentos solarimétricos medem a potência incidente por unidade de superfície, integrada sobre os diversos comprimentos de ondas. As medições padrão são a radiação total e a componente difusa no plano horizontal e a radiação direta normal. Os sensores de radiação usam habitualmente uma termopilha que mede a diferença de temperatura entre duas

superfícies, uma pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminadas. Há também sensores que funcionam pela expansão diferencial de um par bimetálico. Esta expansão provoca um diferencial de temperatura entre as duas superfícies metálicas (uma pintada de preto e a outra de branco) que, ao ser conectada uma pena, registra o valor instantâneo da energia solar. (CRUZ, 2001).

A própria célula fotovoltaica de silício monocristalino é utilizada em muitas situações para medições solarimétricas, pelo seu baixo custo em comparação com equipamentos tradicionais. Entretanto, observa-se que os resultados obtidos por esses equipamentos são limitados pela sensibilidade mais baixa, em torno de 60%.

2.3 Energia Solar – Captação e Conversão

No caso específico da energia solar, são conhecidas basicamente três formas de captação e conversão, quais sejam: química, elétrica e térmica. Por isso procuramos desenvolver e dimensionar sistemas de captação e utilização racional de outras formas de energia.

As formas mais importantes de conversão química da energia solar são os processos foto-bioquímicos. Os organismos biológicos classificados como produtores sintetizam carboidratos a partir de água e dióxido de carbono, absorvendo energia solar e a armazenando em forma de ligações químicas. Essa energia se

dissipa através da cadeia alimentar e, em última instância é re-irradiada ao espaço.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica pode ocorrer através de dois processos, de acordo com Mendes (1998, p. 82): “conversão termoelétrica e conversão fotoelétrica, cada um deles podendo ser realizado de diversas maneiras”.

Segundo SZOKOLAY, 1991:

Os métodos de conversão térmica da energia solar se fundamentam na absorção da energia radiante por uma superfície negra. Este pode ser um processo complexo, que varia segundo o tipo de material absorvente. Envolve difusão, absorção de fótons, aceleração de elétrons, múltiplas colisões, mas o efeito final é o aquecimento, ou seja, toda a energia radiante se transforma em calor. As moléculas das superfícies se excitam, ocorrendo um incremento na temperatura. O coeficiente de absorção de vários tipos de absorventes negros varia entre 0,8 e 0,98 (os 0,2 ou 0,02 restantes se refletem). (SZOKOLAY, 1991, p. 124).

Toda essa movimentação dos elétrons das moléculas superficiais e naturalmente o calor gerado vai se transmitir, uma parcela às outras partes do corpo pelo fenômeno da condução e o restante volta ao meio ambiente graças aos processos radiantes e às formas de convecção.

A emissão ou perda de calor é diretamente dependente da diferença de temperatura entre o ambiente e a superfície do corpo. Esta troca de calor prossegue à medida que aumenta a temperatura superficial até atingir a temperatura de equilíbrio. Szokolay (1991) salienta que:

Se a superfície da placa do absorvedor se cobre com uma lâmina de vidro (com um espaço de ar de 20-30 mm), reduz-se muito a perda de calor, sem grande redução de admissão de calor. Isto se deve a transmitância seletiva do vidro, que é muito transparente para radiações solares de alta temperatura e onda curta, mas virtualmente opaco para radiações infravermelhas de amplitudes de onda maiores, emitidas pela placa do absorvedor a cerca de 100°C. (SZOKOLAY, 1991, p. 129).

Inicialmente, trataremos dos sistemas de aproveitamento térmico. O calor recolhido nos coletores pode ser destinado a satisfazer numerosas necessidades, desde a obtenção de água quente para o consumo doméstico ou industrial, o aquecimento de casas, escolas, fábricas, até a climatização de piscinas.

Várias aplicações já são atualmente viáveis, tais como purificadores e dessalinizadores de água, secadores de grãos, estufas entre outras aplicações agrícolas, Instalações como estas, baseadas na captação da energia solar podem funcionar com baixo ou nenhum consumo de energia adicional, proporcionando grande economia.

Uma outra aplicação bastante viável é a construção das chamadas casas solares, um desafio tecnológico e arquitetônico que apresenta resultados bastante satisfatórios do ponto de vista do aproveitamento da energia solar para iluminação e calefação, com redução significativa do consumo de outras formas de energia – combustíveis e energia elétrica. Wolfgang (1994) afirma que:

Os captadores são a formas mais comuns de captação de energia, convertem a energia solar com baixo custo e de forma conveniente. O processo geral empregado é o de efeito estufa, o nome vem da própria aplicação, em estufas, onde se podem criar plantas exóticas em climas frios, pela melhor utilização da energia solar disponível. WOLFGANG (1994, p. 69).

Cores escuras absorvem a radiação solar – luz e calor, ao passo que as cores claras a refletem. Assim, a reflexão será tanto maior quanto mais próxima do branco for a cor da superfície; tanto maior será a absorção de radiação para as superfícies mais escuras, mais próximas da cor negra. Não é por outro motivo que as placas dos coletores são pintadas de preto fosco. A esta propriedade das superfícies escuras se junta a capacidade que tem o vidro de reter parte da radiação emitida pelas superfícies escuras, quando colocado acima dessa superfície, a uma distância em torno de 2 a 3 cm; a conjugação dessas propriedades pode ser muito bem aproveitada na conversão da energia radiante em energia térmica.

À medida que vai aumentando a temperatura da chapa negra, parte do calor vai sendo dissipada na forma de radiação infravermelha. Isto ocorre porque o receptor – a placa metálica na cor preto fosco – tem propriedades próximas daquelas de um corpo negro ideal que é alta taxa de absorção associado a um alto coeficiente de emissão para os vários comprimentos de onda.

Esta emissão, de acordo com a Lei de Wein, aumenta com a temperatura:

$$\lambda_{max} \cdot T = constante = 2989 \mu m \cdot ^\circ K$$

onde T é a temperatura superficial do corpo negro e λ_{max} o comprimento em que a emissão de luz atinge o máximo. Segundo Antunes (1999):

O Sol emite radiação como um corpo negro cuja temperatura superficial esta por volta de 5700°C; isto corresponde a uma emissão máxima a 0,5 μm . Um corpo negro a temperatura ambiente emite radiação com um máximo perto de 10 μm , o que está dentro do espectro da luz infravermelha, invisível. O vidro relativamente transparente à luz visível é absorvente para a luz infravermelha emitida pela chapa negra quando emite sua energia térmica. A luz infravermelha absorvida pelo vidro é reemitida para a chapa negra que a absorve de novo. Mais e mais calor é acumulado na chapa preta, atinge-se o equilíbrio quando a energia ganha pela absorção de luz visível é exatamente equilibrada pela perda de energia pela emissão infravermelha da chapa de vidro. Com a elevação da temperatura, o comprimento de onda da emissão infravermelha torna-se mais curto. A 200°C (473 K), a radiação máxima é emitida a cerca de 6 μm , em comparação com 10 μm à temperatura ambiente. Finalmente, a cerca de 500°C (773 K), a maior parte da radiação seria emitida a 4 μm , a cujo comprimento de onda o vidro é parcialmente transparente para o infravermelho.

[...] Segue-se que um efeito de estufa eficiente é possível apenas abaixo de 500°C. Porém, a menos que a concentração da radiação solar esteja combinada com o efeito de estufa, as temperaturas de equilíbrio são muito inferiores porque na prática, a temperatura de equilíbrio é ainda mais reduzida por perdas de calor da chapa negra, devido à condutividade térmica e convecção no ar. ANTUNES (1999, p. 145).

No caso do aproveitamento da energia solar na conversão direta em eletricidade, é de fundamental importância o correto

dimensionamento das células em função da aplicação prevista.

De acordo com Wolfgang (1994):

As células solares, dispostas em painéis solares já produziam eletricidade nos primeiros satélites espaciais e, atualmente, são uma solução para a eletrificação rural, com clara vantagem sobre alternativas. A energia elétrica obtida a partir destas células pode ser usada de maneira direta, como para se retirar água de um poço com uma bomba elétrica, ou ser armazenada em acumuladores para ser utilizada durante a noite. É possível, inclusive, inserir a energia excedente na rede geral, obtendo um importante benefício. WOLFGANG (1994, p. 67).

Hoje, é necessário acelerar um ciclo que inclua a fabricação em escala cada vez maior de células fotovoltaicas e sua conseqüente aplicação para as diversas finalidades tais como a eletrificação residencial em regiões não atendidas pelas concessionárias de energia elétrica. Já são utilizados sistemas de iluminação residencial, bombeamento de águas subterrâneas, entre outros. Os custos iniciais das instalações ainda são altos, mas certamente o crescimento da demanda por este tipo de equipamento forçará a indústria a incrementar sua produção, o que fatalmente contribuirá para a diminuição do preço final.

Assim pode-se prever que no médio prazo já tenhamos uma parcela significativa da demanda de energia elétrica suprida por instalações de conversão fotovoltaicas.

No âmbito dos protótipos já se avança também na tecnologia da fabricação de carros solares. Tais veículos têm boa parte de sua superfície coberta por painéis solares para

conversão de energia solar em energia elétrica que é armazenada em baterias para suprir os motores.

2.4 Alternativas de aproveitamento da energia solar

2.4.1 Células solares fotovoltaicas.

A energia solar pode ser usada na geração contínua de eletricidade. O desenvolvimento da tecnologia, como sempre acontece se deve ao suprimento de uma necessidade não atendida pelas formas convencionais conhecidas até então.

As primeiras células solares foram desenvolvidas na década de 50 para serem utilizadas em satélites artificiais pela gigante americana de comunicações Bell Telephone. A eficiência dessas células ainda hoje é baixa, cerca de 18% porque a maior parte da energia radiante coletada se perde na forma de calor.

A construção das células solares nada mais é que a montagem de pastilhas de semicondutores constituídos de cristais de silício nos quais se introduzem impurezas ou dopantes (pequenas porcentagens de boro - também denominado dopante tipo “p” ou arsênio – dopante tipo “n”). Estas “impurezas” criam na pastilha semicondutora regiões com características opostas: regiões do tipo “n”, onde há excesso de elétrons enquanto na região “p” apresentam-se lacunas que podem ser preenchidas por elétrons. A luz, ao atingir o cristal, provoca uma excitação nos

elétrons que passam a se deslocar pelo semicondutor e daí resulta uma corrente elétrica (corrente contínua).

Ainda hoje existem dificultadores para utilização desta tecnologia em larga escala. O primeiro deles é o alto custo dos equipamentos – placas coletoras e sistemas de armazenamento – banco de baterias. Outro complicador continua sendo a baixa eficiência dos sistemas de captação que apresentam perdas elevadas em forma de calor. A título de exemplo, uma instalação fotovoltaica para operação de um aquecedor elétrico de 500 W deve ter no mínimo 2,5 m² de área de captação (área das células) com aproveitamento máximo da radiação solar.

O efeito fotovoltaico é conhecido desde 1839 quando Edmond Becquerel o descreveu como sendo o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Mas esse efeito só começou a ser pesquisado em larga escala a partir de 1954 por cientistas da área espacial que buscavam uma forma eficiente de fornecer energia aos equipamentos dos satélites de comunicação colocados em órbita. Desde então a energia solar fotovoltaica tem se desenvolvido de forma crescente e começa a se fazer cada vez mais presente em regiões não abastecidas pela rede pública.

2.4.1.1 Tipos de Células

De acordo com Moore (1996), existem diferentes tipos de células, explicitadas a seguir:

2.4.1.1.1 Silício Monocristalino

A célula de silício monocristalino – fig. 2 abaixo - é a de maior aplicação como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação já é bastante conhecida. A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. O mineral então passa por um processo de desoxidação e purificação em fornos específicos. Ao final do processo, já novamente solidificado, o material já atinge um grau de pureza da ordem de 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e de custo de produção.

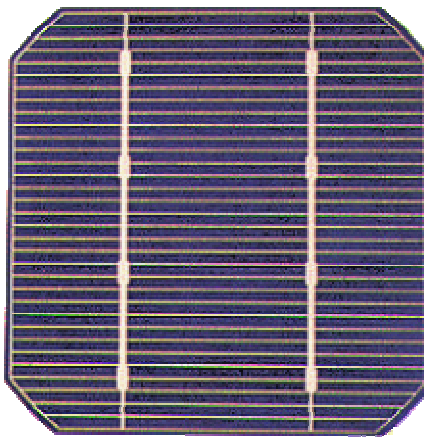


Figura 2 – Célula de silício monocristalino
Fonte: Cresesb (2001)

O processo de purificação deve ser estendido até atingir um grau de pureza comumente denominado de quatro noves, ou seja, um grau de pureza da ordem de 99,9999%. Para se obter o silício com este grau de pureza, o processo mais utilizado é o processo Czochralski.

O processo consiste em fundir o silício com uma pequena quantidade do dopante do tipo “p”, normalmente o boro. Um cristal é utilizado como “semente”, com a orientação cristalográfica apropriada e durante o processo, com total controle de temperatura, vai se formando um bloco cilíndrico de silício monocristalino levemente dopado, devidamente orientado do ponto de vista cristalográfico, e com as características desejadas, principalmente a pureza no grau desejado.

Para a montagem da célula, este cilindro é cortado, perpendicularmente ao eixo cristalográfico principal, em finas lâminas com espessura da ordem de 300 μ m. Lembramos que estas lâminas, após o corte, limpeza para retirada de qualquer impureza superficial, ainda não está pronta para sua utilização na célula. Falta ainda introduzir as impurezas ou dopante do tipo “n” para formar a junção “pn”. Isto vai ser conseguido através de um processo de difusão controlada com a exposição das lâminas de silício ao vapor de fósforo num forno com temperatura mantida numa faixa entre 800° e 1000°C

As fotocélulas comerciais obtidas com o processo descrito atingem uma eficiência de até 15% podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios. (MOORE, 1996, p. 145).

2.4.1.1.2 Silício Policristalino

As células de silício policristalino – fig. 3 - são muitas vezes a opção mais interessante do ponto de vista econômico por serem bem mais baratas que as de silício monocristalino. Esta vantagem se deve a uma menor exigência no processo de preparação de preparação das pastilhas.

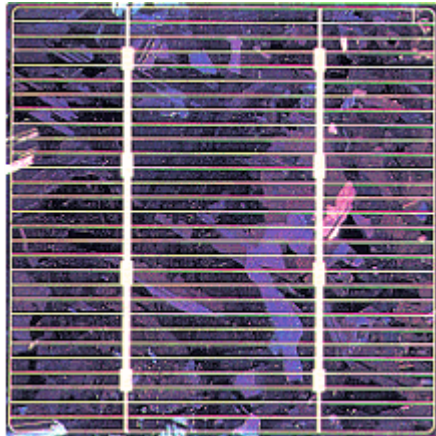


Figura 3: Célula de silício policristalino
Fonte: Cresesb (2001)

Obviamente deve ser esperada uma menor eficiência; na verdade, a eficiência final de uma célula de silício policristalino cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino. O processo de purificação do silício utilizado na produção das células de silício policristalino é similar ao processo do Si

monocristalino, porém com níveis de controle inferiores, o que se traduz, no fim do processo numa eficiência um pouco menor.

As lâminas ou pastilhas podem ser obtidas do corte de um lingote de silício previamente preparado, ou mesmo por deposição de um filme de silício purificado sobre um substrato, que pode ser uma lâmina de cristal de quartzo, por exemplo.

Nestes dois últimos casos só o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima em escalas industriais de 12,5%. (MOORE, 1996, p. 147).

2.4.1.1.3 Silício Amorfo

A célula de silício amorfo é relativamente diferente das demais estruturas cristalinas porque o mineral não apresenta estrutura cristalina definida e ordenada como no caso das células de silício mono ou policristalino; no silício amorfo predomina o alto grau de desordem na estrutura dos átomos.

Mesmo assim, a utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. O silício amorfo tem como característica absorver a radiação solar na faixa do visível e assim, pode ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos. Desta forma, o silício amorfo vem se

mostrando uma opção muito interessante para sistemas fotovoltaicos de baixo custo.

Mas, a despeito das vantagens representadas pelo custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo tem suas deficiências: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, um processo natural de deterioração prejudica as células no início de sua operação e isso contribui para reduzir sua eficiência ao longo da vida útil.

Por outro lado, o silício amorfo apresenta algumas vantagens que compensam as deficiências acima citados, tais como um processo de fabricação relativamente simples e barato e a possibilidade de fabricação de células com grandes áreas e baixo consumo de energia na produção. (MOORE, 1996, p. 149).

2.4.2 Sistemas Fotovoltaicos

Sistemas fotovoltaicos são instalações destinadas a coletar a energia radiante do sol e transformá-la em energia elétrica.

Atualmente os sistemas estão evoluindo rapidamente e alcançando índices mais elevados de sofisticação. Assim, podemos compor um sistema fotovoltaico para 110 ou 220 Vca com os seguintes elementos:

- a) Uma ou mais placas solares;
- b) Regulador de carga: evita sobrecarga ou descarga excessiva da bateria;

- c) Banco de baterias;
- d) Inversor: transforma a corrente de 12 Vcc em 110 ou 220 Vac;
- e) Equipamento 12 v a ser energizado;
- f) Equipamento 110 ou 220 V a ser energizado.

Os equipamentos citados acima nem sempre vão estar presentes em todas as instalações ou sistemas de captação e conversão da energia solar em eletricidade. Uma instalação de bombeamento de água, por exemplo, pode ser construída de forma mais simples, bastando ligar as placas diretamente à bomba, prescindindo até de um banco de baterias. Obviamente, tal sistema só funcionará quando houver insolação suficiente para a geração de energia.

Dependendo da demanda, várias placas podem ser ligadas em paralelo. Grandes sistemas usando séries de baterias podem virtualmente suprir quaisquer necessidades energéticas.

Em função das suas características construtivas, as instalações fotovoltaicas podem ser divididas em três grupos principais.

2.4.2.1 Sistemas Isolados

Sistemas isolados, por sua própria concepção original, necessitam de alguma forma de armazenamento da energia coletada e convertida. Uma primeira forma de armazenamento é um conjunto de baterias utilizado para o abastecimento de

aparelhos elétricos nos períodos noturnos ou de alta nebulosidade. Outra maneira interessante de armazenamento dessa energia é na forma de energia gravitacional que se obtém, por exemplo, pelo bombeamento de água para tanques de sistemas de abastecimentos baseados no desnível topográfico entre o armazenamento e o consumidor. Há naturalmente exceções a esta regra. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como por exemplo, sistemas de irrigação em que toda água bombeada é diretamente consumida.

Em sistemas que necessitam de armazenamento de energia em baterias, usa-se um dispositivo para controlar a carga e a descarga na bateria. O "controlador de carga" tem como principal função prevenir danos na bateria por sobrecarga ou descarga profunda. O controlador de carga é usado em sistemas pequenos onde os aparelhos utilizados são de baixa tensão e corrente contínua (CC).

Para alimentação de equipamentos de corrente alternada (CA) é necessário um inversor. Este sistema é usado quando se deseja mais conforto na utilização de eletrodomésticos convencionais.

2.4.2.2 Sistemas híbridos

Sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia

como, por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras.

Nos sistemas híbridos o que temos é uma conexão de vários sistemas diferentes de geração de energia, que busca otimizar o fornecimento pelo aproveitamento racional da melhor situação para cada sistema interligado. Obviamente é necessário um bom sistema de controle dessas fontes para assegurar a máxima eficiência no fornecimento ao usuário final da energia.

Em geral, os sistemas híbridos são empregados para instalações de médio a grande porte visando atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas de corrente contínua, o sistema híbrido também apresenta um inversor. Naturalmente, podemos nos deparar com uma grande complexidade de arranjos e opções de instalações. Isso vai demandar um estudo amplo das necessidades do usuário final para que se defina a melhor situação de trabalho dos diversos sistemas de geração de energia.

2.4.2.3 Sistemas ligados à rede

Estes sistemas utilizam grande número de painéis fotovoltaicos e não utilizam armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente na rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual esta conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida ligado diretamente na rede. Estes

inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança da concessionária do serviço para que a rede não seja afetada.

2.4.3 Energia Solar Fototérmica

Nesse caso, o interesse está na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar fototérmica são conhecidos como coletores solares.

Os coletores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificados em coletores concentradores e coletores planos em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluido aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final (água aquecida para banho, ar quente para secagem de grãos, gases para acionamento de turbinas).

Os coletores solares planos são, hoje, largamente utilizados para aquecimento de água em residências, hospitais, hotéis, etc. devido ao conforto proporcionado e a redução do consumo de energia elétrica.

2.4.4 Arquitetura Bioclimática

Chama-se arquitetura bioclimática o estudo que visa harmonizar as construções ao clima e características locais, pensando no homem que habitará ou trabalhará nelas, e tirando partido da energia solar, através de correntes convectivas naturais e de microclimas criados por vegetação apropriada. É a adoção de soluções arquitetônicas e urbanísticas adaptadas às condições específicas (clima e hábitos de consumo) de cada lugar, utilizando, para isso, a energia que pode ser diretamente obtida das condições locais.

A arquitetura bioclimática não se restringe a características arquitetônicas adequadas. Preocupa-se, também, com o desenvolvimento de equipamentos e sistemas que são necessários ao uso da edificação (aquecimento de água, circulação de ar e de água, iluminação, conservação de alimentos) e com o uso de materiais de conteúdo energético tão baixo quanto possível.

2.4.5 Forno solar

Fornos solares nada mais são que instalações destinadas à concentração da energia captada por espelhos convenientemente dispostos. As aplicações desses fornos podem ser desde o simples aquecimento de fluidos circulando em tubulações

dispostas numa linha de concentração de calor até aplicações industriais pesadas.

Na França, em Odeilo, nos Pirineus, foi construído um forno com 9500 espelhos planos dispostos de tal maneira que a concentração da energia refletida num forno construído dentro da torre do coletor proporciona uma temperatura de até 3800°C. Figura 4.



Figura 4 – Forno Solar.
Fonte: CRUZ, 2001.

2.5 Sistemas de aquecimento

O aquecimento é a aplicação mais natural e óbvia da energia solar, utilizada pelo homem desde a pré-história. E ao longo dos séculos várias formas de melhorar o ser aproveitamento foram sendo desenvolvidas, mesmo que de

maneira primitiva ou rústica. A história menciona a célebre batalha naval de Siracusa onde Arquimedes, utilizando espelhos curvos como forma de concentrar a luz e o calor do sol, ateou fogo na frota romana que sitiava a cidade. Isto ocorreu por volta do ano 215 a.C.

Nos dias atuais já são conhecidas várias aplicações da energia solar voltadas para o aquecimento, seja de fluidos, sólidos ou de ambientes. Esta, nas regiões mais frias do planeta, naqueles países situados mais distantes da linha do Equador, teve desenvolvimento notável, com a utilização de tecnologias simples, mas eficientes, pelo menos nos períodos de maior insolação.

Este é e vai continuar sendo o maior problema da utilização da energia solar, seja para que finalidade for: a quase total dependência dos dias ensolarados para um bom desempenho dos sistemas instalados. A conversão da energia solar em calor não permite armazenamento por longos períodos, na prática é uma forma de energia que deve ser aproveitada quase imediatamente.

2.5.1 Aquecimento de ambientes

O uso da energia solar para o aquecimento de ambientes é simples e pode apresentar resultados bastante satisfatórios. Uma casa solar, ou seja, uma construção residencial projetada para ter parte da sua calefação provida pelo aproveitamento da energia

solar obtida através de dispositivos instalados nas paredes voltadas para o sul ou para o norte, conforme a construção esteja localizada no hemisfério norte ou no hemisfério sul, respectivamente.

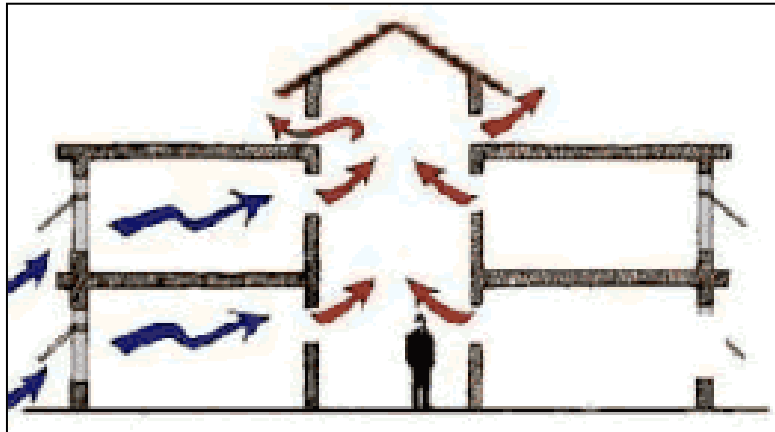


Figura 5 – Fluxo de ar quente/frio.

Fonte: CRUZ, 2001.

Basicamente, são painéis de vidro montados junto às paredes, mantendo um pequeno espaço entre elas, cerca de 2 a 3 cm. As paredes têm pequenas aberturas na parte inferior dos painéis por onde o ar frio entra, é aquecido e sai por aberturas localizadas na parte superior dos painéis, sempre se valendo dos fenômenos convectivos. Desta forma, o ar circula, aquecendo o ambiente por várias horas.

Paredes assim construídas são chamadas “Paredes Trombe”. Como a parede retém o calor por várias horas, o sistema continua a funcionar durante a noite e nos períodos nublados do dia. Fig. 5.

Uma outra forma de calefação de ambientes baseada na conversão de energia solar em energia térmica pode ser dimensionada para circulação forçada de ar através de uma serpentina por onde circula a água previamente aquecida num coletor do tipo painel solar. O ar frio passa pela serpentina, é aquecido pela transferência de calor e volta a circular pelo ambiente,

A calefação se dará pela circulação do ar aquecido pelo ambiente proporcionando a transferência de calor para calefação de ambientes. O armazenamento do calor utilizando uma massa de água é usual e prático, além de ter baixo custo. Em média, podemos dimensionar um armazenamento entre 0,06 e 0,12 m³ de água para cada m² de coletor instalado.

Independente da forma de dimensionamento dos sistemas de calefação baseados na energia solar convertida em energia térmica, é razoável não basear totalmente nessa energia o aquecimento de ambientes, ao menos nos climas desfavoráveis, nos meses de inverno. Casas solares eficientes são construídas com uma instalação auxiliar elétrica ou a óleo para o aquecimento. É sabido que as tentativas de construção de casas 'superisoladas' ou de 'energia zero' resultaram em fracasso, pois se demonstra impossível o aquecimento a 100% por energia solar notadamente nos meses de inverno.

2.5.2 Aquecimento de água

Os equipamentos destinados a coletar o calor solar para aquecimento de água são bastante simples sob o aspecto construtivo descrito a seguir.

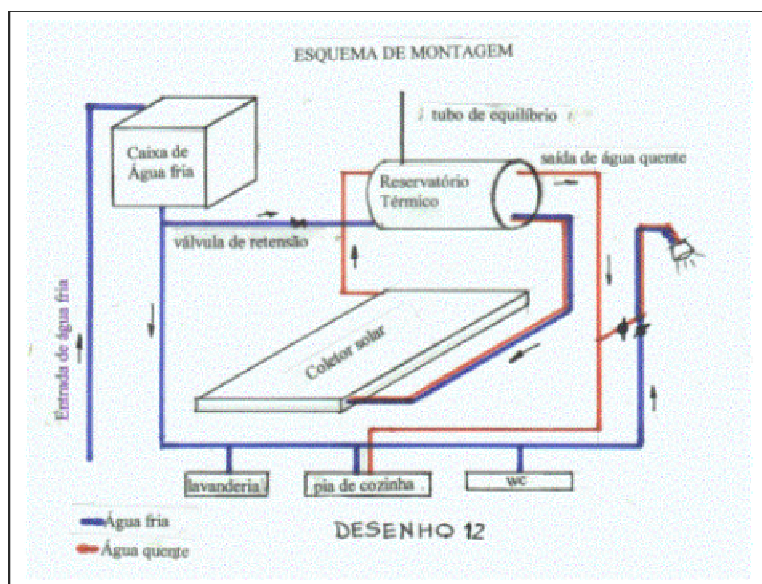


Figura 6 – Aquecedor solar doméstico.

Fonte: Arnaldo Bezerra, 2001.

2.5.2.1 O equipamento

O aquecimento da água para ser aproveitada nas residências é feito com uma caixa semelhante a uma estufa, coberta com vidro. A radiação solar incide na parte transparente do coletor. Parte dessa radiação atinge a chapa de alumínio

pintada de preto no interior da caixa. A pintura preta aumenta a absorção da energia incidente. É conveniente manter uma distância de 2 a 3 cm entre a serpentina e o painel de vidro, para propiciar melhor retorno da radiação térmica e evitar perdas por convecção que fatalmente ocorreriam ao ar livre. A placa coletora deverá ser voltada para o norte (nos países do hemisfério sul) ou para o sul, (quando no hemisfério norte) e com uma inclinação em relação à horizontal equivalente à latitude do local em graus, para melhor aproveitamento da radiação,

Fixada à placa de alumínio encontra-se a tubulação de água e, pelo processo de condução, parte do aquecimento da placa é transmitido para a água. Uma vez aquecida, a água na tubulação fica menos densa e sobe de volta para o reservatório. Ao mesmo tempo, a água mais fria desce da parte inferior do reservatório. A água quente, pronta para o consumo, é retirada da parte superior do reservatório, e uma nova quantidade de água é introduzida na parte inferior. (Figura 6).

É possível atingir temperaturas na casa dos 150°C com o equipamento funcionando de forma otimizada, sem perdas de calor. Uma alternativa para melhorar o rendimento do conjunto seria a retirada do ar que permanece no conjunto, entre a placa metálica e a lâmina de vidro, o que elimina a maior parte das perdas por convecção dentro do conjunto.

2.5.2.2. Cálculo do rendimento do coletor

O problema da eficiência do conjunto coletor de chapa plana não é de fácil solução. Determinar um coeficiente de eficiência nestes equipamentos é tarefa árdua, porque há um grande número de variáveis envolvidas. Um dos maiores complicadores para a obtenção de um índice de rendimento térmico é o fato de que o coletor não trabalha sob condições constantes durante um certo intervalo de tempo. Há que se considerar inicialmente que o coletor inicia o dia a uma temperatura baixa e o aquecimento vai aumentando paulatinamente ao longo do dia, sujeito a variações devidas à inconstância da insolação no local.

Desta forma, o conjunto todo precisa ser aquecido pela manhã depois de uma noite com temperaturas mais baixas, e só vai apresentar máximo aproveitamento ao fim da tarde, e mesmo assim se não houver alterações significativas de intensidade de insolação ao longo do dia, por exemplo, se em parte do dia o coletor ficar à sombra de uma árvore ou uma outra edificação, isto vai diminuir o rendimento, assim como acontece em dias de forte nebulosidade.

Em operação normal, o rendimento global de um coletor de chapa plana, η_c , de qualquer coletor térmico solar pode ser expresso como o produto de um rendimento óptico η_o e de um rendimento de acumulação térmica, η_t . O rendimento óptico é, em primeira aproximação, independente da temperatura de operação

do sistema e da intensidade de luz, mas depende do ângulo de incidência da luz. O rendimento de acumulação térmica, por outro lado, é função da temperatura do sistema e da intensidade da luz. Paim (1994) ressalta:

O desempenho de um dado coletor de calor depende muito de sua localização. Nas regiões onde na maior parte do tempo a intensidade solar é adversamente afetada por nuvens, neblinas, e outros tipos de absorção atmosférica, o rendimento médio pode ser substancialmente inferior aos climas ensolarados; pode mesmo mostrar-se impraticável o uso do aquecimento solar durante parte do ano. Em qualquer caso, o uso dos coletores solares exige um dimensionamento cuidadoso, levando em consideração pormenores das condições climáticas do local do usuário. Isto demanda medidas precisas do perfil da intensidade solar durante dias, semanas e anos. PAIM (1994, p. 112).

As aplicações domésticas dos captadores se mostram presentes em aquecimento de água para uso residencial, aquecimento de piscinas e de ambientes.

A circulação da água pelo coletor obedece a um princípio simples: no coletor, a serpentina é abastecida por gravidade, uma vez que o reservatório fica num nível superior ao do coletor. A água é aquecida durante sua passagem pela serpentina no coletor, e com isso, sua densidade diminui e naturalmente ela tende a subir de volta pelo outro lado da serpentina; esta circulação é forçada pelo fluxo constante de água fria (mais densa) descendo do reservatório para o coletor solar.

O fluxo continua mesmo que toda água tenha sido aquecida, e assim, a água quente continuará a circular, aquecendo o coletor que também continua sob ação do calor do sol. Esta velocidade de circulação vai aumentando enquanto houver insolação suficiente.

Para assegurar um fornecimento constante de água quente, inclusive nos períodos “sem Sol”, é preciso associar alguns elementos ao conjunto do aquecedor, tais como um dispositivo complementar de aquecimento e um sistema de armazenamento adequado.

Basicamente, uma instalação para aquecimento de água para doméstico baseado na captação da energia solar e sua conversão em energia térmica é constituída por um reservatório de água fria que abastecerá o coletor, um reservatório isolado termicamente para armazenagem da água quente, um aquecedor elétrico ou a gás, para manter a temperatura da água nos períodos mais frios ou de baixa insolação e toda a tubulação necessária para ligar esses elementos.

2.5.2.3. Armazenamento da água quente.

Merece particular atenção o reservatório isolado para água aquecida. De nada adianta um sistema que aquece a água durante o dia que é o período de menor necessidade se não pudermos conservar aquela energia captada sob a forma de calor num certo volume de água. O reservatório deve ser isolado

termicamente para garantir o abastecimento de água quente na residência durante a noite e eventualmente nos períodos sem sol. Isto é particularmente importante nas regiões de clima mais temperado, com médias mais baixas de temperatura.

O processo pelo qual o fluido guarda a energia nada mais é do que o dado pela simples equação de calorimetria aprendida no colegial.

$$Q = mc\Delta\theta$$

onde Q é medido em Cal (calorias), m em g (gramas), $\Delta\theta$ é a variação de temperatura (K) e o c é o calor específico, que dá a capacidade de armazenamento de energia em forma de calor da substância, por isso é dado em Cal/g.K e na água este valor é 1.

Nos climas temperados, em nenhum caso é possível renunciar a um aquecimento convencional de apoio integrado ao sistema de aquecimento solar. Uma associação de sistemas de aquecimento solar e elétrico, visando a otimização de ambos será mostrada no estudo de caso ao final deste trabalho.

Nunca é demais salientar que sem um dispositivo de armazenamento, como já visto, o sistema solar forneceria aquecimento somente nas horas de maior radiação, quando não se tem real necessidade. O objetivo deste dispositivo é garantir o aproveitamento da energia coletada e assegurar sua distribuição à noite e nas manhãs de céu nublado, quando o aquecimento é mais necessário.

3 ESTUDO DE CASO – APLICAÇÃO CONJUNTA DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO ELÉTRICO E SOLAR

Com o objetivo de ilustrar o presente trabalho e apresentar um exemplo de uso conjunto de duas formas de energia, será mostrado agora um relato de uma ocorrência real, onde necessidades impostas por determinação governamental vieram contribuir para uma otimização do aproveitamento de dois sistemas de aquecimento de água uso residencial.

Um sistema de aquecimento solar com capacidade de 600 litros foi instalado em uma residência uni familiar, durante a construção. O equipamento fabricado pela empresa ENALTER contava com três placas coletoras de 2 m² de área de captação, um reservatório de água fria independente do sistema de abastecimento da residência e um reservatório com 600 litros de capacidade, dotado de um aquecedor elétrico com potência de 3000w, acionado por termostato.

A rede hidráulica da residência foi executada em PVC rígido para água fria e cobre para água quente. A rede de água quente abastece três chuveiros, uma banheira de hidromassagem com capacidade de 180 litros, a pia da cozinha e dois lavatórios.

Logo no início da operação do sistema foi detectado um problema de confiabilidade no conjunto aquecedor elétrico e termostato. Este último, funcionando por expansão de gás em uma espiral flexível se mostrou pouco útil. A regulagem das

temperaturas mínima e máxima da água no reservatório se mostrou bastante difícil desde a instalação e, além disso, o dispositivo muitas vezes não reconhecia o limite superior de temperatura, permanecendo ligado e aquecendo todo o volume do reservatório além do limite estabelecido, provocando um elevado consumo de energia elétrica.

Como solução alternativa, o termostato foi retirado e substituído por um *timer* associado ao aquecedor elétrico. De maneira empírica, baseada numa série de tentativas, concluímos que para dias sem sol ou chuvosos, com temperaturas mais baixas, o aquecedor elétrico precisaria ficar ligado por um período que variava de 2 a 3 h/dia. Isto representava um consumo de energia elétrica da ordem de 6 a 9 kwh/dia somente para o aquecimento de água.

A adoção do timer permitia programar os horários mais convenientes para ligar de desligar o aquecedor elétrico no reservatório de água quente visando aperfeiçoar a utilização do recurso. Desta forma, foi possível disponibilizar, mesmo nos dias mais frios, água quente nos períodos de maior demanda, ou seja, o final da tarde ou começo da noite, para o banho. Isto permitiu também que a maior demanda de energia elétrica na residência ocorresse fora do horário de pico; nos dias em que era necessário, o aquecedor era programado para ligar no meio da tarde e desligar sempre antes das 18h.

Nos meses do inverno de 1999 e 2000, o equipamento funcionou conforme descrito acima. Visando melhorar a captação, as placas coletoras são lavadas duas vezes ao ano.

Em 2001, com a decisão governamental de impor limites de consumo de energia elétrica – o racionamento, à residência em questão coube uma meta de consumo de 242 kWh/mês, a ser cumprida durante os meses do racionamento – junho, julho e agosto de 2001. Este limite foi calculado em função da média de consumo nos meses de maio, junho e julho do ano anterior, que foi de 318 kWh/mês.

Ficou claro desde o princípio que mantido o perfil de consumo da família, tal meta seria inatingível. Então, considerando o consumo dos equipamentos instalados, e analisando a demanda por cada um, foi feita a opção de instalação de um chuveiro elétrico – potência máxima de 3500w – em substituição a uma das duchas utilizadas na residência. O raciocínio é simples: melhor aquecer somente a água a ser utilizada no banho que aquecer todo o reservatório, todos os dias. Como o chuveiro é abastecido pelo reservatório de água quente, raramente é necessário utilizá-lo na potência máxima – posição “Inverno”. A água do reservatório continua sendo aquecida no coletor solar, exceto nos dias de maior nebulosidade ou dias chuvosos. Assim, o chuveiro é abastecido sempre com água pré-aquecida; muitas vezes, mesmo no inverno, o mesmo pode ser até desligado, a água do reservatório já está numa temperatura confortável para o banho.

Além disso, outras providências foram tomadas, tais como a não utilização da água quente nas torneiras da pia da cozinha e nos lavatórios.

Mesmo depois de passado o racionamento, o sistema continuou a funcionar desta maneira e o consumo de energia da residência permaneceu nos mesmos níveis daqueles atingidos durante o período do racionamento, com pequenas variações.

Os gráficos 1 e 2 mostram a variação de consumo mensal de energia elétrica, nos anos de 1999 e 2000, antes do racionamento, e nos anos de 2001 (ano do racionamento) e 2002, posterior ao racionamento. (Os gráficos ressaltam a diferença significativa observada nos meses de inverno).

O Gráfico 1 espelha a evolução do consumo mensal nos meses demais frios nos quatro anos pesquisados e o Gráfico 2 mostra a média diária de consumo no mesmo período.

Observa-se grande redução de consumo entre os anos de 2000 (anterior ao racionamento) e o ano 2002, posterior ao evento. Tal comportamento se manteve mesmo quando os limites de consumo foram eliminados, o que demonstra a eficácia do uso conjunto dos dois sistemas.

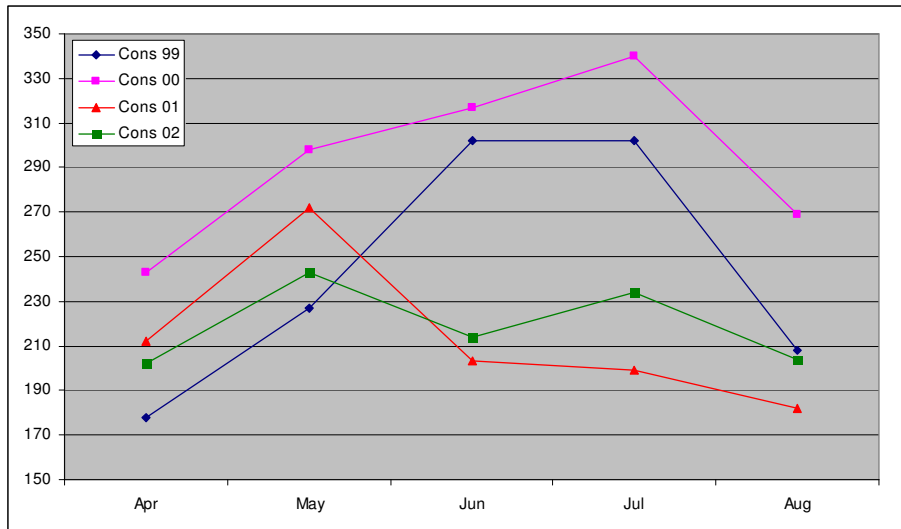


Gráfico 1 – Consumo mensal

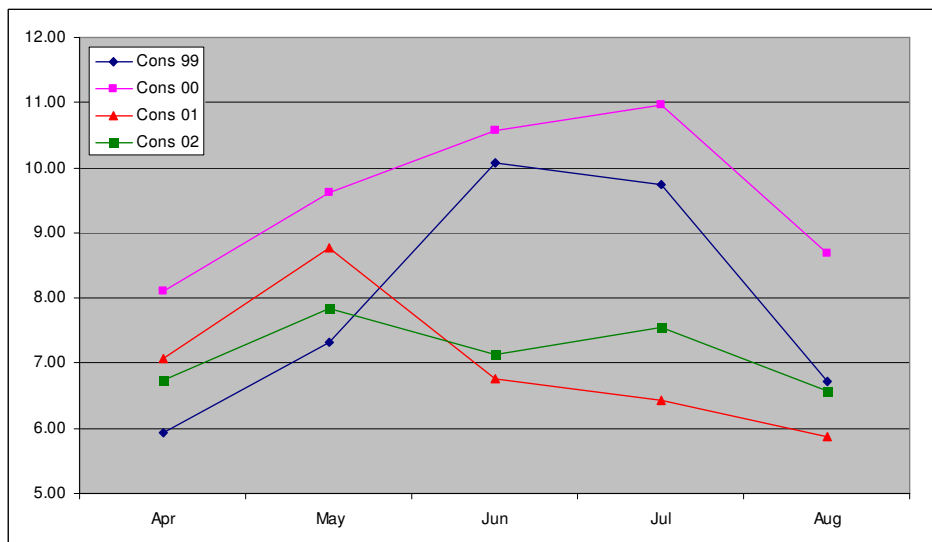


Gráfico 2 – Média diária de consumo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pudemos ver ao longo deste trabalho, o Sol é a maior fonte de energia conhecida. E também, numa análise mais ampla, é o responsável direto ou indireto por todas as outras fontes de energia utilizadas pelo homem.

Mas o aproveitamento de toda essa energia está longe do ideal. Nem toda energia que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície. Na verdade 31% são refletidos para o espaço sem serem aproveitados. As nuvens contribuem refletindo 23% da energia incidente. Essa energia refletida representa o albedo planetário. O restante da energia incidente é absorvido pela atmosfera em sua maior parte pela superfície da terra.

Da mesma forma que refletem grande quantidade de energia vinda do sol, as nuvens absorvem enormes porções da energia refletida pela superfície. Por isso as nuvens são muito importantes, pois funcionam como barreira para a insolação emitida pela terra impedindo que o planeta esfrie demasiadamente, ou seja, as nuvens funcionam como controladoras da temperatura da superfície do planeta e qualquer processo que altere a quantidade média das nuvens afetará a nossa vida.

Atualmente muito se fala em crise no setor energético, busca de alternativas, etc. As fontes de energia mais utilizadas pela humanidade são fontes sujas, poluentes e já não tão baratas como o foram no passado. Hoje, felizmente, o homem já se

conscientiza da necessidade de encontrar formas de utilizar energia limpa e não poluente, e mais importante, renovável. É o Sol quem nos fornece esta energia, sob várias formas: o vento, a água, as plantas, o calor e a luz. Tratamos aqui de imensas quantidades de energia, para as quais se propõe a encontrar aplicações e resolver o problema que daí decorre: como captar esta energia, tão difusa, especialmente para sua conversão em energia elétrica, a de maior importância juntamente com a conversão em energia fototérmica, dentre as aplicações da Energia Solar.

Com sistemas fototérmicos, o uso desta alternativa energética se estende a residências, piscinas, edifícios, hotéis, indústrias, propriedades rurais, grandes obras em geral ou onde houver a necessidade de aquecimento de água.

E como procuramos mostrar no estudo de caso que encerra este trabalho, quando não for possível a utilização plena da energia solar para aquecimento de água de uso residencial, a associação deste sistema com um sistema convencional de aquecimento elétrico se mostra altamente vantajoso, por utilizar o melhor de ambos os sistemas: a gratuidade da energia solar e a praticidade de uso da energia elétrica. Com isso, como se pode ver na descrição do caso apresentado, foi possível obter significativa economia de energia elétrica sem que fosse necessário abdicar dos seus benefícios.

Além da importante tarefa de conscientização ambiental e sócio-cultural pelo uso de uma energia limpa e gratuita, a

economia de energia convencional proporcionada pela utilização da fonte solar evita desperdícios extraordinários, tanto para a economia e estabilidade energética mundial, como pelas grandes perdas ambientais irreversíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, L.M. **A Energia Solar**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1999.

CRUZ, D. **Meio Ambiente e Energia Solar**. São Paulo: Ática, 2001.

MENDES, J.E. **Energia Solar**. São Paulo: Cortez, 1998.

MOORE, W.J. **Físico-Química**. São Paulo: Scipione, 1996.

PAIM, M.V. **A Energia Solar: Alternativas**. São Paulo: Scipione, 1994.

SZOKOLAY, S.V. **Energia Solar e Edificações**. São Paulo: Cortez, 1991.

WOLFGANG, P. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. São Paulo: Pioneira, 1994.

NOGUEIRA, Rodrigo Bernardes; CARVALHO, Flaviana Andrade de Pádua; ROSADO; Sebastião Carlos da Silva; Maria Cristina Bressan; LIMA, José Maria de; CARVALHO, Antonio Máximo de. **Normas para redação de monografia ou trabalho de conclusão de cursos de pós-graduação *lato sensu***. LAVRAS-MG: UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS – UFLA, 2001.