

3.1. INFORMAÇÕES GERAIS

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoeletrico e o fotovoltaico.

O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção.

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores ou concentradores solares. Os coletores solares são mais usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais etc.) para o aquecimento de água (higiene pessoal e lavagem de utensílios e ambientes). Os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor. Neste último caso, pode-se gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoeletrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares.

Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

FIGURA 3.1 Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol

Fonte: MAGNOLI, D.; SCALZARETTO, R. Geografia, espaço, cultura e cidadania. São Paulo: Moderna, 1998. v. 1. (adaptado)

3.2. RADIAÇÃO SOLAR

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução), como ilustrado na Figura 3.1.

Desse modo, a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade – varia, em algumas regiões e períodos do ano, de zero hora (Sol abaixo da linha do horizonte durante o dia todo) a 24 horas (Sol sempre acima da linha do horizonte). Como indicado na Tabela 3.1, as variações são mais intensas nas regiões polares e nos períodos de solstício. O inverso ocorre próximo à linha do Equador e durante os

equinócios. O mapa da Figura 3.2 apresenta a média anual de insolação diária, segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia. Contudo, a maioria da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra em regiões mais distantes do Equador. Em Porto Alegre, capital brasileira mais meridional (cerca de 30° S), a duração solar do dia varia de 10 horas e 13 minutos a 13 horas e 47 minutos, aproximadamente, entre 21 de junho e 22 de dezembro, respectivamente.

Desse modo, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia. No Hemisfério Sul, por exemplo, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local.

TABELA 3.1 Duração solar do dia, em horas, em diferentes latitudes e períodos do ano*

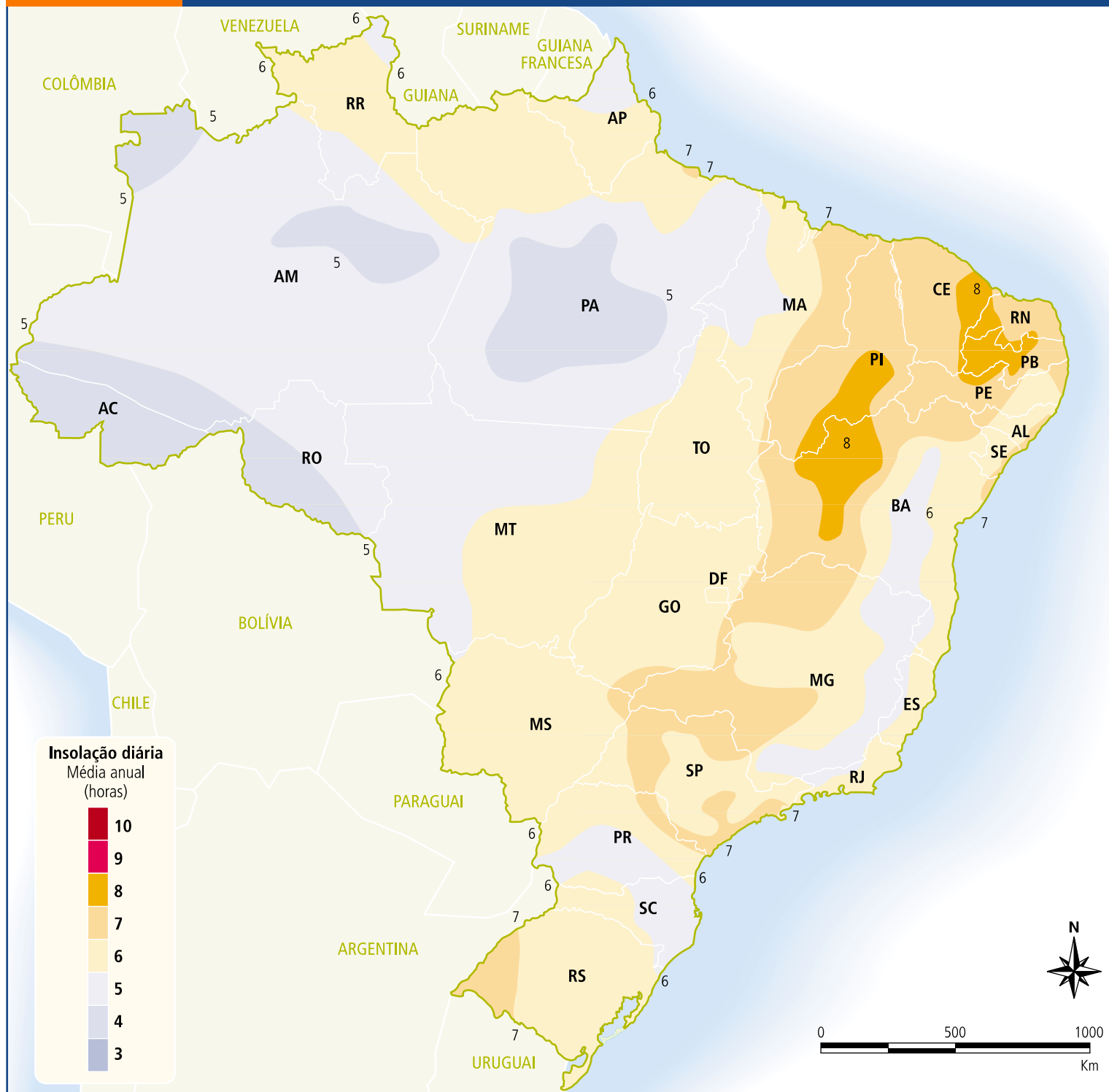
Table with 49 columns (latitudes from 7°S to 7°N) and 49 rows (months from January to December). Each cell contains the number of solar hours for that latitude and month.

Fonte: Elaborado a partir de VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991.

(* Os dados foram obtidos por meio das seguintes equações (Vianello & Alves, 1991): i) Declinação solar, em graus, $\beta = 23,45 \times \text{sen}[360 \times (284 + J)/365]$ (Equação de Cooper, 1969), onde J é o dia juliano e varia de 1 (1 de janeiro) a 365 (31 de dezembro); ii) ângulo horário, $H = \text{Cos}^{-1}(-\text{tg}\theta \times \text{tg}\beta)$, onde θ é a latitude local; iii) Duração solar do dia, $D = 2 \times H/15$.



FIGURA 3.2 Média anual de insolação diária no Brasil (horas)



Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000. (adaptado)

Como indicado anteriormente, a radiação solar depende também das condições climáticas e atmosféricas. Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 2000).

No Brasil, entre os esforços mais recentes e efetivos de avaliação da disponibilidade de radiação solar, destacam-se os seguintes: a) Atlas Solarimétrico do Brasil, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB; b) Atlas de Irradiação Solar no Brasil, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

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.

Como lembrado por pesquisadores do Centro de Pesquisas de Eletricidade – CEPEL, ambos os modelos apresentam falhas e limites e não devem ser vistos como concorrentes. Ao contrário, 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).

As Figuras 3.4 e 3.5 apresentam o índice médio anual de radiação solar no País, segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) e o Atlas de Irradiação Solar no Brasil (1998), respectivamente. Como pode ser visto, os maiores índices de radiação são observados na região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco.

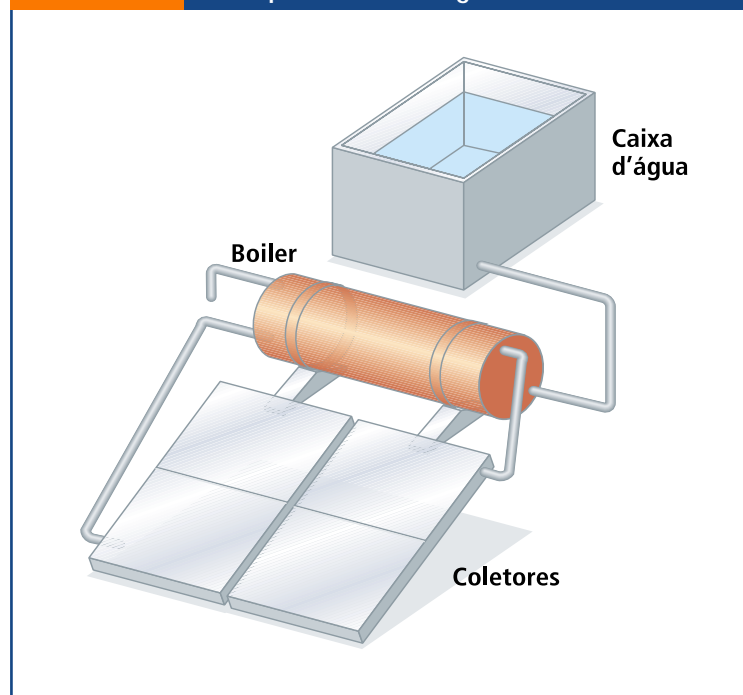
É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético. Como se poderá observar nos próximos itens, existe uma infinidade de pequenos aproveitamentos da energia solar no Brasil, mas isso ainda é pouco significativo, diante do grande potencial existente.

3.3. TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO

3.3.1. APROVEITAMENTOS TÉRMICOS

Coletor solar: A radiação solar pode ser absorvida por coletores solares, principalmente para aquecimento de água, a temperaturas relativamente baixas (inferiores a 100°C). O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial⁽⁷⁾, mas há demanda significativa e aplicações em outros setores, como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares. Esse sistema de aproveitamento térmico da energia solar, também denominado aquecimento solar ativo, envolve o uso de um coletor solar discreto. O coletor é instalado normalmente no teto das residências e edificações. Devido à baixa densidade da energia solar que incide sobre a superfície terrestre, o atendimento de uma única residência pode requerer a instalação de vários metros quadrados de coletores. Para o suprimento de água quente de uma residência típica (três ou quatro moradores), são necessários cerca de 4 m² de coletor. Um exemplo de coletor solar plano é apresentado na Figura 3.3.

FIGURA 3.3 Ilustração de um sistema solar de aquecimento de água

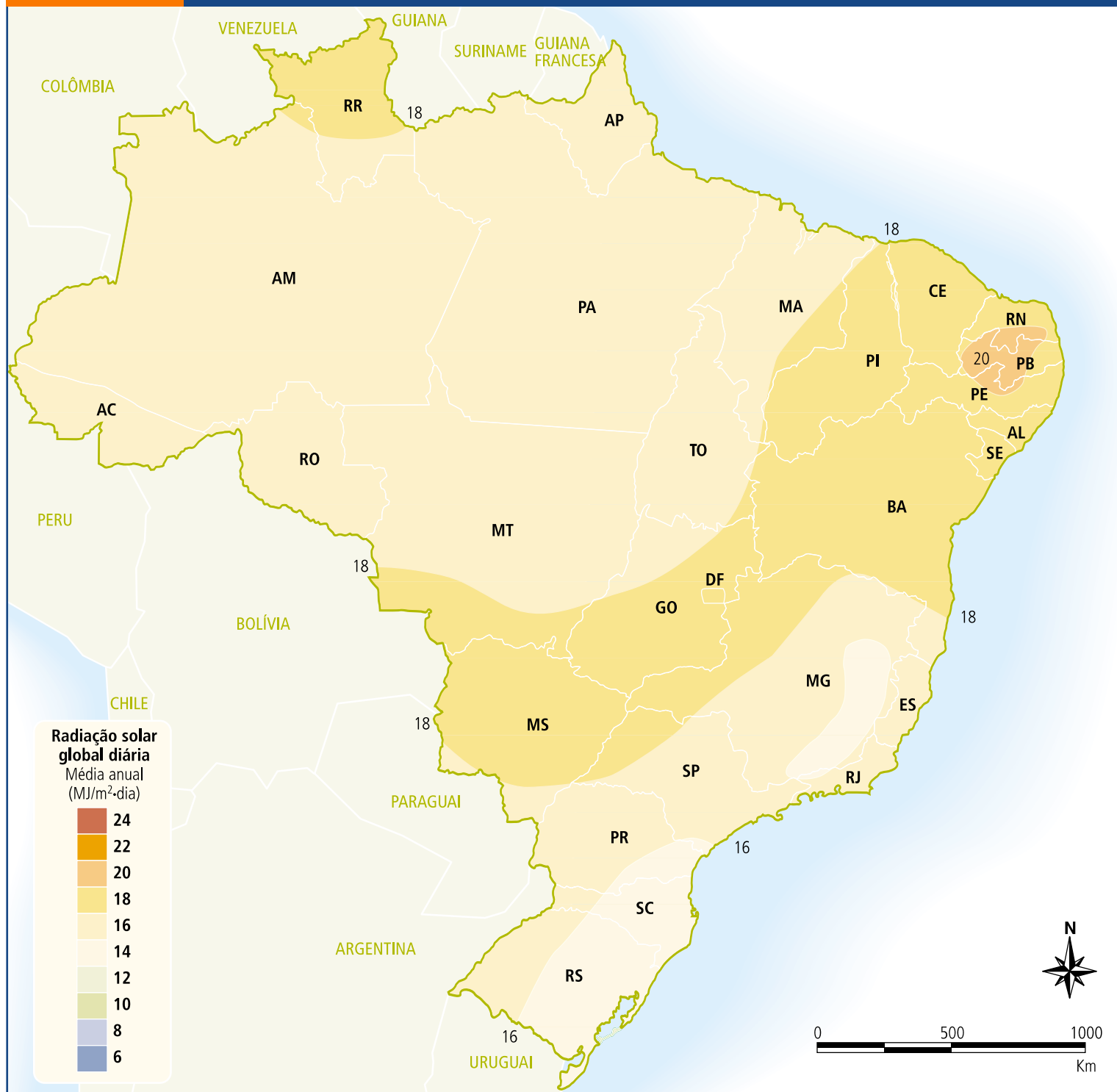


Fonte: GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000 (adaptado).

(7) Nos países em que há maior uso da energia solar – Israel, Grécia, Austrália e Japão –, cerca de 80% a 90% dos equipamentos têm sido destinados ao uso doméstico (Everett, 1996).

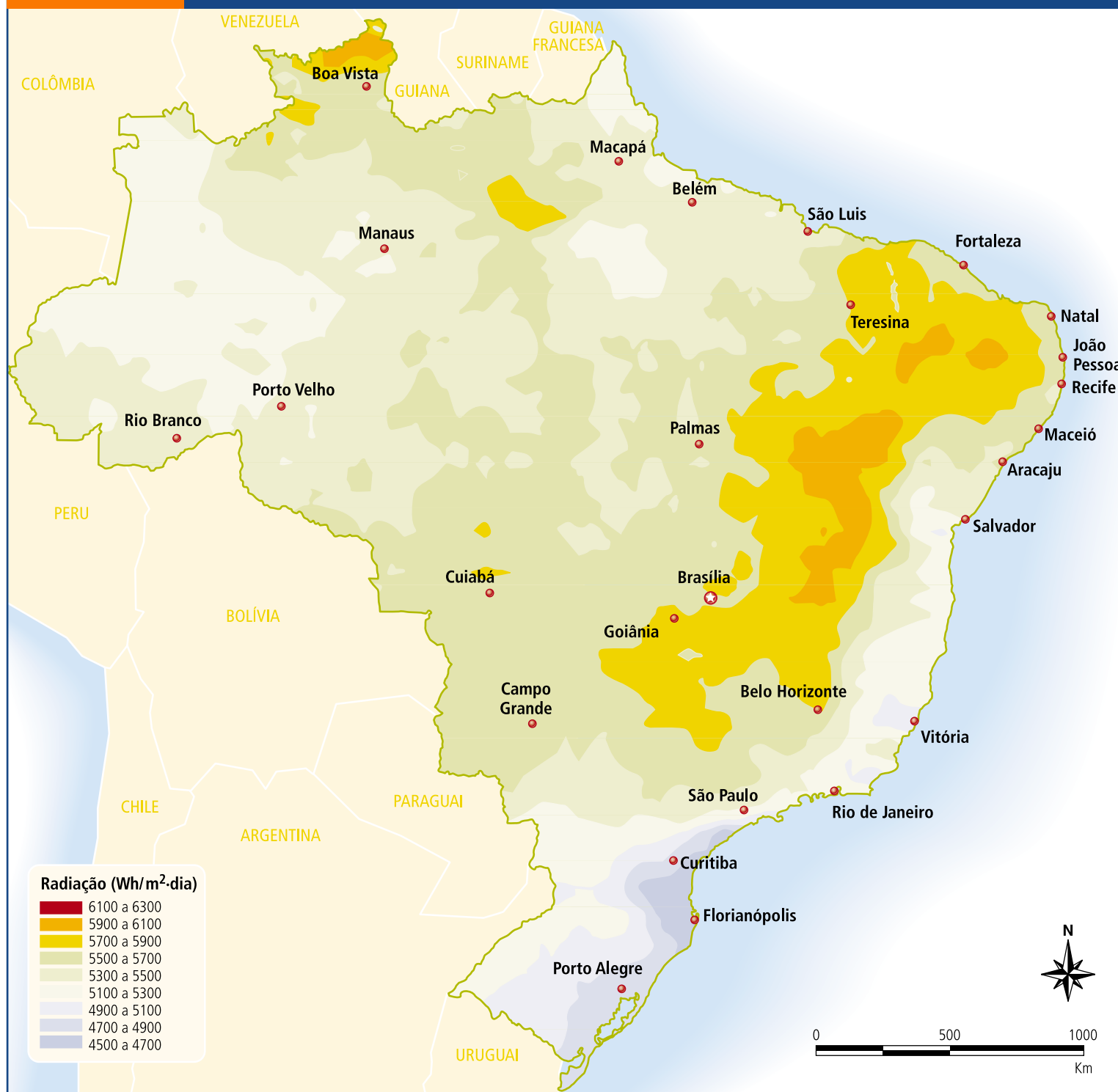


FIGURA 3.4 Radiação solar global diária - média anual típica (MJ/m².dia)



Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000 (adaptado).

FIGURA 3.5 Radiação solar global diária - média anual típica (Wh/m².dia)



Fonte: ATLAS de Irradiação Solar no Brasil. 1998 (adaptado).

Concentrador solar: O aproveitamento da energia solar aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas ocorre por meio de concentradores solares, cuja finalidade é captar a energia solar incidente numa área relativamente grande e concentrá-la numa área muito menor, de modo que a temperatura desta última aumente substancialmente. A superfície refletora (espelho) dos concentradores tem forma parabólica ou esférica, de modo que os raios solares que nela incidem sejam refletidos para uma superfície bem menor, denominada foco, onde se localiza o material a ser aquecido. Os sistemas parabólicos de alta concentração atingem temperaturas bastante elevadas⁽⁸⁾ e índices de eficiência que variam de 14% a 22% de aproveitamento da energia solar incidente, podendo ser utilizada para a geração de vapor e, conseqüentemente, de energia elétrica. Contudo, a necessidade de focalizar a luz solar sobre uma pequena área exige algum dispositivo de orientação, acarretando custos adicionais ao sistema, os quais tendem a ser minimizados em sistemas de grande porte. Entre meados e final dos anos 1980, foram instalados nove sistemas parabólicos no sul da Califórnia, EUA, com tamanhos que variam entre 14 MW e 80 MW, totalizando 354 MW de potência instalada (Figura 3.6). Trata-se de sistemas híbridos, que operam com auxílio de gás natural, de modo a atender a demanda em horários de baixa incidência solar. Os custos da eletricidade gerada têm variado entre US\$ 90 e US\$ 280 por megaWatt-hora. Recentes melhoramentos têm sido feitos, visando a reduzir custos e aumentar a eficiência de conversão. Em lugar de pesados espelhos de vidro, têm-se empregado folhas circulares de filme plástico aluminizado (NREL, 2000).

FIGURA 3.6 Sistema térmico de geração solar de energia elétrica (Califórnia – EUA)



Foto: NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (EUA) – NREL. 2000.
Disponível em: www.nrel.gov/energy_resources.

3.3.2. CONVERSÃO DIRETA DA RADIAÇÃO SOLAR EM ENERGIA ELÉTRICA

Além dos processos térmicos descritos acima, a radiação solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica, por meio de efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro se caracteriza pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, quando tal junção está a uma temperatura mais elevada do que as outras extremidades dos fios. Embora muito empregado na construção de medidores de temperatura, seu uso comercial para a geração de eletricidade tem sido impossibilitado pelos baixos rendimentos obtidos e pelos custos elevados dos materiais.

O efeito fotovoltaico decorre da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas apropriadas de energia). Entre os materiais mais adequados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, os quais são usualmente chamados de células solares ou fotovoltaicas, destaca-se o silício. A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% (GREEN et al., 2000).

Para a geração de eletricidade em escala comercial, o principal obstáculo tem sido o custo das células solares. Segundo B(2000), atualmente os custos de capital variam entre 5 e 15 vezes os custos unitários de uma usina a gás natural que opera com ciclo combinado. Contudo, nos últimos anos tem-se observado redução nos custos de capital. Os valores estão situados na faixa de US\$ 200 a US\$ 300 por megaWatt-hora e entre US\$ 3 e US\$ 7 mil por quiloWatt instalado (Tabela 3.2).

A Figura 3.7 ilustra um sistema completo de geração fotovoltaica de energia elétrica.

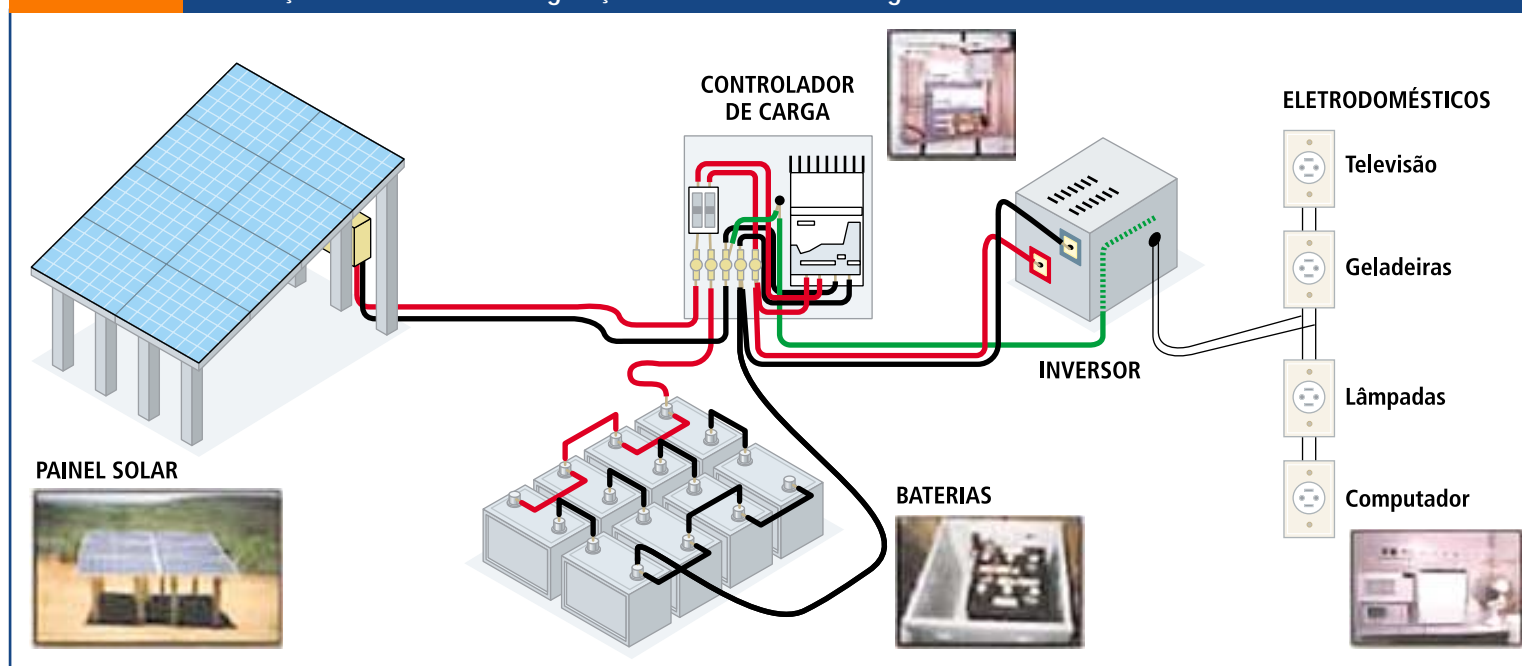
(8) Um exemplo interessante é o espelho parabólico de Odeillo, na França, cuja temperatura chega a 3.800° C (Everet, 1996).

TABELA 3.2 Eficiência de conversão e custo de células solares

| Tipo de célula | Eficiência (%) | | | Custo (US\$/Wp) |
|----------------------------|----------------|-------------|-----------|-----------------|
| | Teórica | Laboratório | Comercial | |
| Silício de cristal simples | 30,0 | 24,7 | 12 a 14 | 4 a 7 |
| Silício concentrado | 27,0 | 28,2 | 13 a 15 | 5 a 8 |
| Silício policristalino | 25,0 | 19,8 | 11 a 13 | 4 a 7 |
| Silício amorfo 17,0 | 13,0 | 4 a 7 | 3 a 5 | - |

Fonte: GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000.

FIGURA 3.7 Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica



Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. 2000. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/cresesb.htm (adaptado).

3.4. APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Atualmente há vários projetos, em curso ou em operação, para o aproveitamento da energia solar no Brasil, particularmente por meio de sistemas fotovoltaicos de geração de eletricidade, visando ao atendimento de comunidades isoladas da rede de energia elétrica e ao desenvolvimento regional.

Além do apoio técnico, científico e financeiro recebido de diversos órgãos e instituições brasileiras (MME, Eletrobrás/CEPEL e universidades, entre ou-

tros), esses projetos têm tido o suporte de organismos internacionais, particularmente da Agência Alemã de Cooperação Técnica – GTZ e do Laboratório de Energia Renovável dos Estados Unidos (National Renewable Energy Laboratory) – NREL/DOE. Também a área de aproveitamento da energia solar para aquecimento de água tem adquirido importância nas regiões Sul e Sudeste do País, onde uma parcela expressiva do consumo de energia elétrica é destinada a esse fim, principalmente no setor residencial.

A seguir, são descritos os principais projetos nacionais de aproveitamento da energia solar para aquecimento de água e de geração fotovoltaica.

3.4.1. AQUECIMENTO DE ÁGUA

A tecnologia do aquecedor solar já vem sendo usada no Brasil desde a década de 60, época em que surgiram as primeiras pesquisas. Em 1973, empresas passaram a utilizá-la comercialmente (ABRAVA, 2001).

Segundo informações da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA, 2001), existiam até recentemente cerca de 500.000 coletores solares residenciais instalados no Brasil. Somente com aquecimento doméstico de água para banho, são gastos anualmente bilhões de kWh de energia elétrica⁽⁹⁾, os quais poderiam ser supridos com energia solar, com enormes vantagens socioeconômicas e ambientais. Mais grave ainda é o fato de que quase toda essa energia costuma ser consumida em horas específicas do dia, o que gera uma sobrecarga no sistema elétrico. Além disso, há uma enorme demanda em prédios públicos e comerciais, que pode ser devidamente atendida por sistemas de aquecimento solar central.

Embora pouco significativos diante do grande potencial existente, já há vários projetos de aproveitamento da radiação solar para aquecimento de água no País. Essa tecnologia tem sido aplicada principalmente em residências, hotéis, motéis, hospitais, vestiários, restaurantes industriais e no aquecimento de piscinas. Em Belo Horizonte, por exemplo, já são mais de 950 edifícios que contam com este benefício e, em Porto Seguro, 130 hotéis e pousadas (ABRAVA, 2001). A Figura 3.8 ilustra um exemplo comercial de aproveitamento térmico da energia solar na cidade de Belo Horizonte – MG, o qual se tornou referência em energia solar térmica. O sistema possui área total de 804 m² de coletores solares e capacidade de armazenamento de água de 60.000 litros. Entre outros exemplos encontrados em Belo Horizonte, destaca-se o do Centro de Operações da ECT, que possui área total de 100 m² de coletores e capacidade de armazenamento de água de 10.000 litros (CRESESB, 2000).

Um dos principais entraves à difusão da tecnologia de aquecimento solar de água é o custo de aquisição dos equipamentos, particularmente para residências de baixa renda. Mas a tendência ao longo dos anos é a redução dos custos, em função da escala de produção, dos avanços tecnológicos, do aumento da concorrência e dos incentivos governamentais.

Fatores que têm contribuído para o crescimento do mercado são: a divulgação dos benefícios do uso da energia solar; a isenção de impostos que o setor obteve; financiamentos, como o da Caixa Econômica Federal, aos interessados em implantar o sistema; e a necessidade de reduzir os gastos com energia elétrica durante o racionamento em

FIGURA 3.8 Sistema comercial de aquecimento solar de água (Belo Horizonte – MG)



Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. 2000. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/cresesb.htm.

2001 (ABRAVA, 2001). Também são crescentes as aplicações da energia solar para aquecimento de água em conjuntos habitacionais e casas populares, como nos projetos Ilha do Mel, Projeto Cingapura, Projeto Sapucaias em Contagem, Conjuntos Habitacionais SIR e Maria Eugênia (COHAB) em Governador Valadares (ABRAVA, 2001). Outro elemento propulsor dessa tecnologia é a Lei n° 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e a promoção da eficiência nas edificações construídas no País.

O crescimento médio no setor, que já conta com aproximadamente 140 fabricantes e possui uma taxa histórica de crescimento anual de aproximadamente 35%, foi acima de 50% em 2001. Em 2002, foram produzidos no país 310.000 m² de coletores solares (ABRAVA, 2001).

3.4.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Existem muitos pequenos projetos nacionais de geração fotovoltaica de energia elétrica, principalmente para o suprimento de eletricidade em comunidades rurais e/ou isoladas do Norte e Nordeste do Brasil. Esses projetos atuam basicamente com quatro tipos de sistemas: i) bombeamento de água, para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura; ii) iluminação pública;

(9) Nesta estimativa, considerou-se que o chuveiro/aquecedor elétrico representa cerca de 25% do consumo residencial de energia elétrica e tomou-se como referência os dados de 1998 [MME, 1999].

FIGURA 3.9 Sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação (Capim Grosso – BA)



Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. 2000. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/cresesb.htm.

iii) sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários; e iv) atendimento domiciliar. Entre outros, estão as estações de telefonia e monitoramento remoto, a eletrificação de cercas, a produção de gelo e a dessalinização de água. A seguir são apresentados alguns exemplos desses sistemas.

A Figura 3.9 apresenta um exemplo de sistema flutuante de bombeamento de água para irrigação, instalado no Açude Rio dos Peixes, Município de Capim Grosso – BA. O sistema é formado por 16 painéis M55 da *Siemens* e uma bomba centrífuga de superfície *Mc Donald* de 1 HP DC. Em época de cheia, o sistema fica a 15 m da margem do açude e bombeia água a uma distância de 350 m, com vazão de 12 m³ por dia. Trata-se de uma parceria entre o *National Renewable Energy Laboratory* – NREL, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL e a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA, tendo ainda a participação da Secretaria de Agricultura e Irrigação do Estado da Bahia e da Associação de Moradores de Rio do Peixe (CRESESB, 2000).

Outro exemplo de bombeamento fotovoltaico de água, este na região do Pontal do Paranapanema (Extremo-Oeste do Estado de São Paulo), é apresentado na Figura 3.10. O reservatório tem capacidade de armazenamento de 7.500 litros e altura manométrica de 86 metros, abastecendo 43 famílias. O sistema fotovoltaico é constituído de 21 módulos MSX 70, com potência nominal de 1.470 Wp (USP; IEE, 2000). Entre novembro de 1998 e janeiro de 1999, cerca de 440 famílias foram beneficiadas em toda a região (Tabela 3.3) (USP; IEE, 2000).

FIGURA 3.10 Sistema de bombeamento fotovoltaico – Santa Cruz I (Mirante do Paranapanema – SP)



Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE. Formação técnica. São Paulo: 2000.

No Vale do Ribeira, situado no litoral Sul de São Paulo, foram instalados diversos sistemas de eletrificação de escolas, postos de saúde e unidades de preservação ambiental (estações ecológicas, parques estaduais etc.), além de atendimento a pequenas comunidades rurais. A Figura 3.11 apresenta o caso do Núcleo Perequê, constituído por laboratórios de pesquisa, tanques de cultivos para a fauna marinha, auditório para conferências e seminários, alojamentos com refeitório, cozinha e gabinetes de estudo (USP; IEE, 2000).

FIGURA 3.11 Sistema de eletrificação fotovoltaica do Núcleo Perequê (Vale do Ribeira – SP)



Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE. Formação técnica. São Paulo: 2000.

TABELA 3.3 Sistemas de bombeamento de água na região do Pontal do Paranapanema – SP

| Comunidade | Município | Altura Man.(m) | Reservatório (l) | Potência (Wp) | Famílias |
|---------------|---------------------|----------------|------------------|---------------|----------|
| Santa Cruz I | Mte. do Paranapan. | 86 | 7.500 | 1.470 | 43 |
| Santa Cruz II | Mte. do Paranapan. | 92 | 7.500 | 1.470 | 12 |
| Santana I | Mte. do Paranapan. | – | 7.500 | 2.241 | 22 |
| Santana II | Mte. do Paranapan. | 74 | 27.500 | 2.490 | 35 |
| Santa Rosa II | Mte. do Paranapan. | 92 | 7.500 | 1.890 | 30 |
| Santa Isabel | Mte. do Paranapan. | 92 | 7.500 | 2.988 | 67 |
| Palu | Pres. Bernardes | 67 | 7.500 | 1.280 | 14 |
| Santa Maria | Pres. Venceslau | 80 | 7.500 | – | 75 |
| Santa Rita | Tupi Paulista | 50 | 7.500 | – | 31 |
| Yapinary | Ribeirão dos Índios | 85 | 7.500 | 1.494 | 20 |
| Yapinary | Ribeirão dos Índios | 68 | 7.500 | 1.494 | 19 |
| Maturi | Caiuá | 74 | 27.500 | – | 50 |
| Primavera I | Pres. Venceslau | 74 | 7.500 | 1.743 | 23 |

Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE. Formação técnica. São Paulo: 2000.

A Figura 3.12 exemplifica um sistema de atendimento domiciliar instalado no âmbito do projeto Ribeirinhas. Esse projeto constitui uma ação estratégica do Programa Nacional de Eletrificação “Luz no Campo” e tem como objetivo a implantação, em localidades ribeirinhas na região amazônica, de sistemas baseados em fontes alternativas para geração de energia elétrica. O projeto é conduzido pelo CEPEL e pela ELETRO-

BRAS, em colaboração com a Universidade Federal do Amazonas (GUSMÃO et al, 2001).

Existem também sistemas híbridos, integrando painéis fotovoltaicos e grupos geradores a diesel. No município de Nova Mamoré, Estado de Rondônia, está em operação, desde abril de 2001, o maior sistema híbrido solar-diesel do Brasil (Figura 3.13). O sistema a diesel possui 3 motores de 54 kW, totalizando 162 kW de potência instalada. O sistema fotovoltaico é constituído por 320 painéis de 64 W, perfazendo uma capacidade nominal de 20,48 kW. Os painéis estão dispostos em 20 colunas de 16 painéis, voltados para o Norte geográfico, com inclinação de 10 graus em relação ao plano horizontal, ocupando uma área de aproximadamente 300 m². Esse sistema foi instalado pelo Laboratório de Energia Solar – Labsolar da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, no âmbito do Projeto BRA/98/019, mediante contrato de prestação de serviços, celebrado entre a ANEEL/PNUD e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária – FAPEU daquela Universidade.

Uma significativa parcela dos sistemas fotovoltaicos existentes no País foi instalada no âmbito do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM, instituído pelo Governo Federal, em dezembro de 1994, no âmbito da Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia – MME. Desde a sua criação, foram destinados US\$ 37,25 milhões para 8.956 projetos e 5.112 kWp (quilowatt-pico) de potência. Como indicado na Tabela 3.4, esses projetos incluem bombeamento de água, iluminação pública e sistemas energéticos coletivos. A maioria dos sistemas do PRODEEM são sistemas energéticos e instalados

FIGURA 3.12 Sistema fotovoltaico para atendimento domiciliar – Projeto Ribeirinhas

Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. 2002.

FIGURA 3.13 Sistema híbrido solar-diesel de Araras, Nova Mamoré – RO



Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Principais realizações 1998/2000. Brasília, 2000.

em escolas rurais. Na Fase V todos os 3.000 sistemas são iguais, capazes de fornecer diariamente cerca de 1.820 Wh, com a seguinte composição: seis painéis de 120 Wp (total de 720 Wp); oito baterias de 150 Ah (total de 1.200 Ah); e um inversor de 900 Watts (110 ou 220 V) (MME, 2003).

Uma síntese por região e unidade da Federação dos sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica no Brasil instalados pelo PRODEEM é apresentada na Tabela 3.5. Como se observa, a grande maioria desses sistemas localiza-se nas regiões Norte e Nordeste do País.

Uma visão geográfica mais detalhada da distribuição dos sistemas fotovoltaicos instalados por todo o País é dificultada pelos seguintes fatores: a natureza desses projetos; a sua localização, espalhados por pequenas e remotas localidades no território nacional; e a multiplicidade de empresas e instituições⁽¹⁰⁾ envolvidas na sua implantação e operação.

3.5. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Uma das restrições técnicas à difusão de projetos de aproveitamento de energia solar é a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, o que torna necessário o uso de grandes áreas para a captação de energia em quantidade suficiente para que o empreendimento se torne economicamente viável. Comparada, contudo, a outras fontes, como a energia hidráulica, por exemplo, que muitas vezes requer grandes áreas inundadas, observa-se que a limitação de espaço não é tão restritiva ao aproveitamento da energia solar.

TABELA 3.4 Projetos fotovoltaicos coordenados pelo Prodeem/MME*

| Fases | Energéticos | | | Iluminação Pública | | | Bombeamento | | | Totalização | | |
|--------------|--------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------|--------------------|---------------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| | Qtd. (A) | Potência KWp (B) | Total US\$1mil (C) | Qtd. (D) | Potência KWp (E) | Total US\$1mil (F) | Qtd. (G) | Potência (KWp) (H) | Total US\$ 1mil (I) | Qtd. (J)=A+D+G | Potência KWp (L)=B+E+H | Total US\$ 1mil (M)=C+F+I |
| Fase I | 190 | 87 | 526 | 137 | 7 | 76 | 54 | 78 | 480 | 381 | 172 | 1.081 |
| Fase II | 387 | 195 | 1.621 | 242 | 17 | 197 | 179 | 213 | 1.635 | 808 | 425 | 3.453 |
| Fase III | 843 | 526 | 3.495 | 0 | 0 | 0 | 224 | 165 | 1.173 | 1.067 | 691 | 4.668 |
| Emerg. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 800 | 235 | 2.221 | 800 | 235 | 2.221 |
| Fase IV | 1.660 | 972 | 5.456 | 0 | 0 | 0 | 1.240 | 457 | 4.569 | 2.900 | 1.429 | 10.026 |
| Fase V | 3.000 | 2160 | 15.801 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.000 | 2.160 | 15.801 |
| Total | 3.080 | 3.940 | 3.940 | 379 | 24 | 272 | 2.497 | 1.147 | 10.078 | 8.956 | 5.112 | 37.250 |

Fonte: BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM. 2003.

(*) Observações:

a. Os sistemas energéticos incluem módulos, baterias, controladores, inversores CC/CA e estrutura de fixação dos módulos.

b. Os sistemas de bombeamento incluem módulos, inversores/controladores, bombas d'água e estrutura de fixação dos módulos.

c. Dados das Fases I e II fornecidos pelo CEPEL.

(10) Esses projetos são implementados e/ou monitorados por grande número de instituições públicas e privadas (secretarias estaduais, prefeituras, universidades, empresas do setor elétrico e fabricantes de equipamentos, entre outros).

TABELA 3.5 Distribuição regional dos sistemas fotovoltaicos instalados pelo Prodeem até o ano de 2002

| Região | UF | Atendimento até 2001 | | Atendimento em 2002 | | Atendimento até 2002 | |
|---------------------|---------------|----------------------|------------------|---------------------|------------------|----------------------|------------------|
| | | Sistemas | US\$ 1 mil | Sistemas | US\$ 1 mil | Sistemas | US\$ 1 mil |
| N | AC | 156 | 577,20 | 96 | 450,66 | 252 | 1.027,86 |
| | AM | 81 | 299,70 | 125 | 586,79 | 206 | 886,49 |
| | AP | 99 | 366,30 | 8 | 37,55 | 107 | 403,85 |
| | PA | 211 | 780,70 | 224 | 1.051,53 | 435 | 1.832,23 |
| | RO | 238 | 880,60 | 35 | 164,30 | 273 | 1.044,90 |
| | RR | 6 | 22,20 | 23 | 107,97 | 29 | 130,17 |
| | TO | 127 | 469,90 | 42 | 197,16 | 169 | 667,06 |
| TOTAL: | | 918 | 3.396,60 | 553 | 2.595,97 | 1.471 | 5.992,57 |
| NE | AL | 249 | 921,30 | 164 | 924,85 | 413 | 1.846,15 |
| | BA | 685 | 2.534,50 | 587 | 3.310,27 | 1272 | 5.844,77 |
| | CE | 476 | 1.761,20 | 257 | 1.449,30 | 733 | 3.210,50 |
| | MA | 339 | 1.254,30 | 582 | 2.700,00 | 921 | 3.954,30 |
| | PB | 166 | 614,20 | 71 | 400,39 | 237 | 1.014,59 |
| | PE | 197 | 728,90 | 58 | 327,08 | 255 | 1.055,98 |
| | PI | 122 | 451,40 | 302 | 1.703,07 | 424 | 2.154,47 |
| | RN | 204 | 754,80 | 46 | 259,41 | 250 | 1.014,21 |
| | SE | 28 | 103,60 | 44 | 248,13 | 72 | 351,73 |
| | TOTAL: | | 2.466 | 9.124,20 | 2.111 | 11.322,50 | 4.577 |
| SE | ES | 48 | 177,60 | 2 | 11,28 | 50 | 188,88 |
| | MG | 244 | 902,80 | 288 | 1.624,12 | 532 | 2.526,92 |
| | RJ | 68 | 251,60 | 0 | 0,00 | 68 | 251,60 |
| | SP | 105 | 388,50 | 0 | 0,00 | 105 | 388,50 |
| TOTAL: | | 465 | 1.720,50 | 290 | 1.635,40 | 755 | 3.355,90 |
| S | PR | 5 | 18,50 | 0 | 0,00 | 5 | 18,50 |
| | RS | 97 | 358,90 | 0 | 0,00 | 97 | 358,90 |
| | SC | 77 | 284,90 | 0 | 0,00 | 77 | 284,90 |
| TOTAL: | | 179 | 662,30 | 0 | 0,00 | 179 | 662,30 |
| CO | GO | 120 | 444,00 | 33 | 186,10 | 153 | 630,10 |
| | MS | 348 | 1.287,60 | 0 | 0,00 | 348 | 1.287,60 |
| | MT | 96 | 355,20 | 13 | 61,03 | 109 | 416,23 |
| TOTAL: | | 564 | 2.086,80 | 46 | 247,12 | 610 | 2.333,92 |
| BRASIL TOTAL | | 4.592 | 16.990,40 | 3.000 | 15.801,00 | 7.592 | 32.791,40 |

Fonte: BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios - PRODEEM. 2003.