

# Dados atuais sobre energia renovável

DENNIS ANDERSON E KULSUM AHMED

**A** *S tecnologias de energia renovável estão sendo usadas hoje com sucesso em várias aplicações de pequena escala em base comercial e em certos projetos de geração de energia de grande escala. Para os países em desenvolvimento, em particular, a energia solar é um recurso abundante, atraente do ponto de vista ambiental e altamente promissor em termos econômicos.*

Todos os anos, a Terra recebe do sol energia equivalente a 15 mil vezes o consumo mundial de energia comercial e 100 vezes as reservas conhecidas de carvão, gás e petróleo. Os sistemas modernos de energia solar são capazes de converter 10-20% da energia incidente em energia própria para consumo, e teoricamente necessitariam de menos de 1% da superfície terrestre para satisfazer todas as necessidades energéticas do planeta — um espaço menor do que as áreas atualmente ocupadas pelas hidrelétricas e não muito maior do que uma plantação de batatas. Embora o recurso da energia solar seja abundante e atraente, dele utilizamos apenas uma fração mínima.

A situação, porém, está mudando. Os dois últimos decênios presenciaram grandes avanços tecnológicos que permitem aproveitar de várias formas a energia solar, aumentando muito a eficiência de conversão e reduzindo os custos. Muitos desses avanços sequer foram previstos: por exemplo, em 1974 descobriu-se que a mistura de aproximadamente 9:1 de silício com hidrogênio é um semicondutor; ou ainda a possibilidade de reduzir os custos dos fotovoltaicos (PV) a um fator de 50-100 em 20 anos.

Essa fonte de energia elétrica, antes considerada exótica e caríssima, adequada sobretudo aos satélites espaciais, tornou-se hoje uma fonte cada vez mais procurada de eletricidade nas aldeias, nas indústrias e

nos lares, e futuramente servirá para a geração de energia em grande escala. Quando os preços do petróleo chegaram a US\$30 o barril, houve um interesse comercial considerável nos recursos renováveis para a indústria de energia. Tal interesse diminuiu mais tarde (ao caírem os preços do petróleo), mas nem tanto, pois com o avanço técnico os custos das fontes renováveis desde então caíram também.

As fontes renováveis de energia vão desde a energia solar até os diversos métodos para aproveitar a energia do vento, das ondas e do calor da terra. Já existem muitas aplicações comerciais para cada uma dessas fontes, mas nos concentraremos aqui em três tecnologias apenas: a termossolar, os sistemas PV para geração de eletricidade, e a biomassa (materiais madeireiros e de safras) para a produção de eletricidade e combustíveis líquidos.

## Por que renováveis?

Até recentemente, o argumento para as alternativas aos combustíveis fósseis — a justificativa para os programas de energia nuclear dos anos 50, 60 e 70 — foi que havia necessidade de uma tecnologia sobresalente, caso eles se esgotassem. Mas as reservas mundiais comprovadas de combustíveis fósseis são imensas, mais de 800 bilhões de toneladas de equivalentes em petróleo (t.e.p.), das quais 70% em carvão e 30% em petróleo e gás — o suficiente para um século, nos níveis atuais de consumo, e para 50 anos, levando em conta o aumento da demanda nos países em desenvolvimento. Ademais, estas são somente as reservas comercialmente comprovadas, que aumentaram consideravelmente durante muitas décadas. As estimativas da indústria sobre as reservas basicamente recuperáveis falam em 4,6 trilhões de toneladas, inclusive 1,4 trilhão de toneladas em xisto oleífero e arenito de alcatrão — suficientes para os próximos 150 anos mais ou menos, supondo-se que o crescimento contínuo da demanda mundial permaneça o mesmo no próximo século. Assim, o velho argumento da tecnologia sobresalente não é mais válido. Em vez disso, a questão está sendo tratada em outras três áreas.

**Economia.** Na área econômica, a questão é que essas tecnologias eventualmente competirão com os combustíveis fósseis e nucleares — e também com a hidreletricidade. De fato, já são competitivas para aplicações em escalas menores, e os mercados estão crescendo. Como observado no *Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial 1992*, do Banco Mundial, as demandas

mundiais de energia provavelmente dobrarão nos próximos 30 anos, depois triplicarão para 20 bilhões de t.e.p. nos próximos 40 anos, mesmo num cenário de “energia eficiente”. Isso ocasionará certas pressões sobre custos e preços, à medida que forem exploradas reservas a custo mais baixo e os mercados se voltarem para os combustíveis fósseis sintéticos nas indústrias de petróleo e gás. Vale lembrar que um mercado mundial de energia de 20 bilhões de t.e.p. significa um mercado de mais de US\$4,5 trilhões ao ano a preços mundiais de hoje, do qual mais da metade será nos países em desenvolvimento, sendo consideráveis os ganhos econômicos derivados dos novos recursos de mais baixo custo. A energia solar seria especialmente apropriada para os países em desenvolvimento: há áreas imensas em que a energia incidente (insolação) é de 2.000-2.500 quilowatts-hora (kWh) por metro quadrado ao ano — duas vezes os níveis encontrados no Reino Unido, Países Baixos e Alemanha, por exemplo.

**Meio ambiente.** Uma vantagem comumente citada é que os sistemas de energia solar não produzem emissões evidentes de dióxido de carbono, partículas, dióxido de enxofre nem óxido nítrico, e em geral se acredita que o investimento privado e a pesquisa e desenvolvimento (P&D) seriam estimulados pela introdução de impostos e regulamentações ambientais. No caso das emissões de carbono, a energia renovável é a única alternativa atualmente disponível para o desenvolvimento, além da energia nuclear por fissão e fusão, para estabilizar o acúmulo de carbono na atmosfera, se surgir tal necessidade. Usar a energia com maior eficiência ajudará a reduzir a taxa de aumento das demandas de energia, mas as emissões tendem a aumentar, mesmo num cenário de energia eficiente, sendo que a maior eficiência por si só não resolve o problema do acúmulo de carbono. Ainda se esperam provas quanto ao grau e consequências prováveis do aquecimento global, mas o investimento em fontes renováveis deve ser um elemento exigido por qualquer política cautelosa. Por exemplo, um nível de 25% das economias derivadas da eficiência de energia, equivalente ao total do consumo mundial de energia hoje, ainda deixaria o consumo mundial de energia equivalente a três vezes o nível atual em 40 anos.

**Terras e pessoas.** É necessário afastar a noção comumente aceita de que a energia solar é muito difusa para ser captada e exigiria áreas de terra extensas demais. Para os sistemas termossolares e de PV, a necessidade de terras é comparativamente

pequena. Embora maior do que a das usinas de queima de carvão, por exemplo (excluindo-se a área de mineração), ela é consideravelmente menor do que a dos sistemas hidrelétricos. Aqueles sistemas requerem apenas de 1/50 a 1/20 da terra necessária para sistemas hidrelétricos — apenas 1/100 da necessária para a represa de Assuã, no Egito (ver mapa). Há também muita flexibilidade na escolha do local: a tecnologia é modular, e os sistemas podem-se situar em zonas áridas com baixas densidades populacionais, não precisando competir com a agricultura ou as florestas nem com as pessoas por causa da terra. Eles também produziram níveis bem altos de energia por hectare (por exemplo, o rendimento de uma lavoura solar seria superior a 500 t.e.p. por hectare ao ano, o que supõe 10% de eficiência de conversão, cerca de 100 vezes a da energia extraída das safras de biomassa).

### Energia termossolar

A idéia básica dos sistemas de energia elétrica termossolar é antiga. De fato, uma usina a vapor de 45kW estava em operação no Egito em 1912, mas foi fechada durante a II Guerra Mundial devido aos preços menores do combustível. Por meio de espelhos, concentra-se a energia do sol num receptáculo que contém líquido. O líquido aquecido é então usado para fazer vapor, que aciona um turbogerador; o líquido também pode ser um gás que aciona diretamente um motor. Há três tipos principais de sistemas de concentração: a cuba parabólica, o prato parabólico e o receptor central (ver desenho à página seguinte). O sistema mais utilizado até agora é a cuba parabólica; na Califórnia há 354 megawatts (MW) de capacidade, suprindo de eletricidade a grade. As tecnologias de receptor central também são promissoras para usinas elétricas de

grande escala; como elas podem elevar o vapor a altas temperaturas, oferecem perspectivas de boas eficiências de conversão.

Os sistemas termossolares têm outra característica interessante, da maior importância a longo prazo, que é o fato de a energia pelo calor poder ser armazenada (por exemplo, em rochas, óleo, areia, sais, ou mesmo água). Daí ser possível usá-los à noite ou quando o dia está escuro.

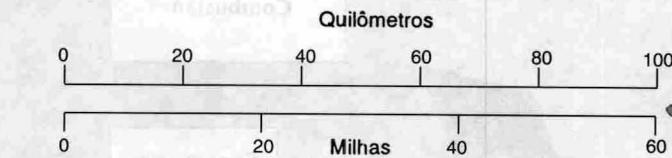
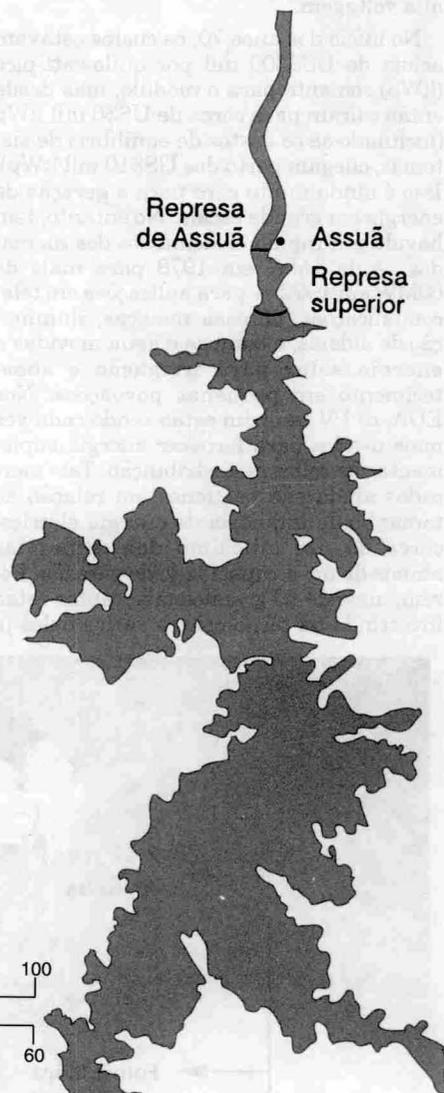
Os custos ainda são elevados em relação aos sistemas convencionais, em torno de 10 a 20 centavos de dólar por kWh, ou cerca de duas vezes os custos da usina a combustível fóssil. Contudo, a tecnologia é modular e própria para a produção em massa, e, como se produziu menos de 400MW até agora, ainda é possível obter economias de escala na atividade manufatureira. À luz desse fato, as projeções de custo do Departamento Norte-americano de Energia e dos principais laboratórios de pesquisa em energia dos EUA e Europa, de cerca de US\$0,05 por kWh, são plausíveis — custa menos do que a geração de energia nuclear, sendo compatível com os custos de uma usina de combustão de fósseis de alta eficiência.

### Energia fotovoltaica

Os avanços na área dos PV nas duas últimas décadas têm sido grandes, pois os custos por unidade caíram em quase duas ordens de magnitude num período de 20 anos (ver box). Isso é mais ou menos como a velocidade média de um avião a jato de hoje está para a de uma diligência (contando-se as paradas) há 150 anos — uma realização técnica extraordinária, especialmente em se considerando que as políticas públicas na verdade têm trabalhado contra as fontes renováveis ao subsi-

diarem fortemente os combustíveis fósseis e a energia nuclear.

O efeito fotoelétrico foi descrito pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel. Em sua aplicação moderna, nas pilhas fotovoltaicas, a luz que brilha num material semiconductor libera elétrons



República Árabe do Egito

Sudão

### De quanta terra necessitaria um esquema solar?

A energia solar não exige uso intensivo de terra, como fica patente quando se compara a quantidade de terra necessária a esse recurso com a que exigem os sistemas hidrelétricos. O quadrado mostra a área que seria ocupada por um esquema de 4.080 megawatts-pico, que gerasse tanta energia quanto o sistema de Assuã. (Supõe-se a conversão líquida de 10% de eficiência e a insolação anual de 2.500 gigawatts-hora por quilômetro quadrado.) A capacidade instalada do sistema de Assuã é de 2.715 megawatts-pico, e a represa gerou 10.200 gigawatts-hora no ano passado.

de dentro do material a partir de pontos fixos: as pilhas são projetadas de modo a que os elétrons não possam voltar facilmente para aqueles pontos, exceto fluando através de um circuito externo, gerando assim uma corrente. As pilhas são conectadas entre si, embaladas em um selo protetor, e vendidas como "módulos", que mais tarde podem ser agregados dentro de painéis e em séries para uso em aplicações de alta voltagem.

No início dos anos 70, os custos estavam acima de US\$300 mil por quilowatt-pico (kWp) somente para o módulo, mas desde então caíram para cerca de US\$6 mil kWp (incluindo-se os custos de equilíbrio de sistemas, chegam perto dos US\$10 mil/kWp). Isso é ainda muito caro para a geração de energia em grande escala. No entanto, tem havido um rápido crescimento dos mercados — de 1MW em 1978 para mais de 60MW em 1992 — para aplicações em telecomunicações, clínicas médicas, iluminação de aldeias, e bombas d'água movidas a energia solar para irrigação e abastecimento em pequenas povoações. Nos EUA, os PV também estão sendo cada vez mais usados para fornecer energia suplementar às redes de distribuição. Tais mercados ainda são pequenos em relação ao tamanho da indústria de energia elétrica, cerca de um milésimo das demandas anuais de nova capacidade de geração. Porém, mais de 40 grandes fabricantes estão investindo na tecnologia, e vários deles já

se encaminham para um segundo estágio de produção em maior escala, prevendo o aumento dos mercados e outras reduções de custo.

Um aspecto notável do mercado de PV é a ampla variedade dos métodos explorados — estão sendo testados e usados não só vários materiais, como também qualidades alternativas de um mesmo material. É intensa a concorrência de idéias (sempre um bom sinal), sendo impossível determinar quais as que eventualmente predominarão. As pilhas PV de primeira geração baseavam-se em pilhas de silicone de cristal único e película espessa com alta eficiência de conversão, a fonte de energia para a maioria dos satélites. Desde meados dos anos 80, porém, as pilhas amorfas de silicone de película fina passaram a ocupar um terço do mercado; são mais baratas, mas sua eficiência é menor. Os avanços posteriores incluem:

- o uso de lentes para concentrar a luz solar sobre pilhas de alto grau e alta eficiência (os chamados sistemas concentradores);
- métodos para aumentar a probabilidade de captar fótons por meio de modificações na forma da superfície da pilha;
- o uso de um dispositivo de multijunção para captar uma porção maior do espectro solar; no caso das pilhas amorfas de silicone, as eficiências dobraram para 10%; e
- inovações na manufatura para viabilizar a produção em lotes — isso é mais

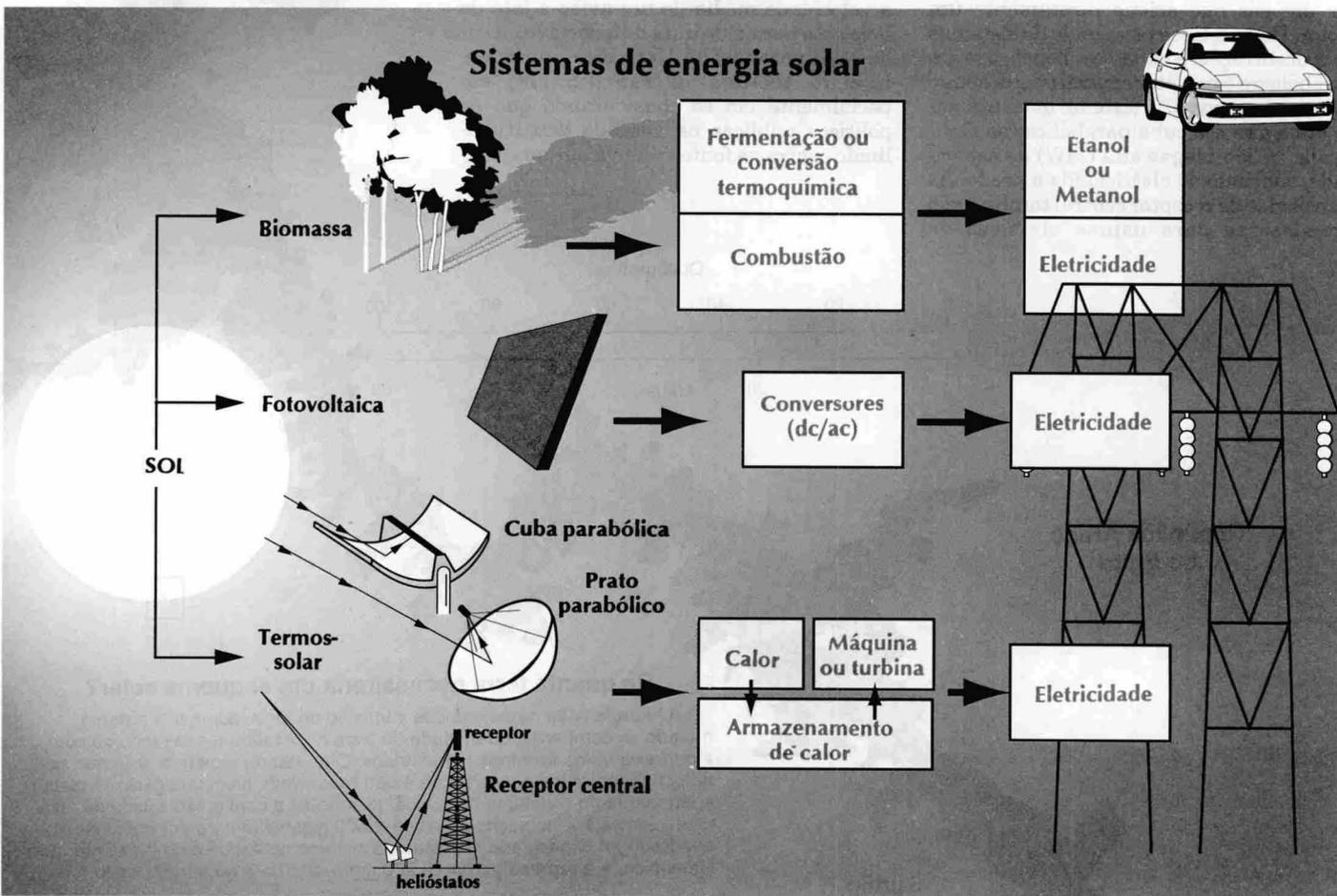
provável com a expansão dos mercados (as economias de escala ainda não foram bem exploradas).

Nos módulos em uso, a eficiência de conversão da luz em energia elétrica é de 3-17%, comparada a uma eficiência máxima teórica de 47% para as pilhas de alto grau. Isso está abaixo da eficiência alcançada nos laboratórios, de 6-34% (dependendo do tipo de pilha). A defasagem entre as eficiências das pilhas em uso e de laboratório está em torno de sete anos.

Um problema persistente da eletricidade PV é o custo do armazenamento, sobretudo nas aplicações fora da grade. A bateria ácida comum de chumbo ainda é a opção mais usada, embora não sirva, é claro, para a geração em grande escala. Vai depender muito do desenvolvimento da pilha-combustível — uma área de pesquisa hoje importante para os países industrializados interessados na comercialização do carro elétrico.

## Energia da biomassa

À diferença dos sistemas termossolares e PV, que captam o sol diretamente, a biomassa converte o dióxido de carbono da atmosfera em açúcares, depois libera novamente dióxido de carbono e energia quando queimada. Pode ser usada diretamente para produzir eletricidade — como em várias usinas de co-geração encontradas nas regiões agrícolas que usam resíduos das



agroindústrias — ou transformada, para produzir álcool e combustíveis gasosos.

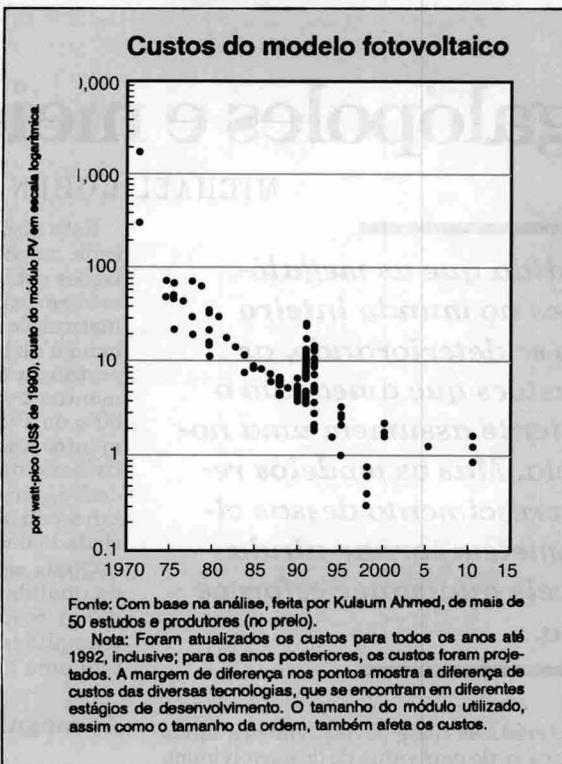
No campo da eletricidade, um fato novo é o uso de métodos de gaseificação da biomassa nos ciclos de usinas de energia elétrica, para aproveitar as altas eficiências das tecnologias de ciclo combinadas. Existem tecnologias de controle de emissões para eliminar partículas e reduzir os óxidos nitrosos (praticamente sem enxofre algum). E se a biomassa for produzida de maneira sustentável, as emissões líquidas de dióxido de carbono serão negativas, por causa dos estoques permanentemente ampliados de biomassa (quanto mais árvores houver, mais carbono é armazenado). No campo do combustível líquido, o Brasil é hoje o maior usuário de combustível líquido derivado da biomassa, neste caso, da cana-de-açúcar.

Tradicionalmente, o uso da biomassa como fonte alternativa de energia tem acarretado dois problemas-chave. Primeiro, no início seu custo era alto em relação à gasolina, embora ainda não se tenha apreciado suficientemente o quanto os custos estão caindo em termos reais desde os anos 70, devido aos avanços técnicos da fermentação e outras etapas do processo. De fato, os custos estavam começando a ficar bem compatíveis com os da gasolina até o colapso dos preços do petróleo em 1986. Entretanto, será difícil para o etanol competir nos mercados de combustível líquido, e a melhor oportunidade para a biomassa talvez esteja nos mercados de geração de eletricidade, que oferecem maior valor adicional.

Segundo, a biomassa é intensiva em terras. Teoricamente, a eficiência máxima de conversão via fotossíntese para uma energia útil de biomassa é de 6,7% em culturas como as de milho e cana-de-açúcar, e de 3,3% nas de arroz, trigo e árvores. Mas na prática a taxa é de apenas 0,2-3,0%. Assim, argumenta-se, com razão, que a tecnologia será mais bem utilizada quando tiver de ser utilizada de qualquer modo, isto é, em áreas cujas culturas podem servir também para outros fins (por exemplo, nas plantações de árvores para recuperar bacias hídricas degradadas). Isso também aumentaria o retorno econômico dos projetos. Além disso, recomenda-se a mistura de espécies para evitar os perigos ambientais da síndrome da monocultura.

## Políticas energéticas

O que pode ser feito para estimular o desenvolvimento e o uso mais difundido das fontes renováveis, de maneira condizente com os objetivos de um bom planejamento? Primeiro, os países industrializados, em particular, têm de diversificar suas carteiras de P&D. Não só a energia



solar recebe um financiamento mínimo se comparado ao das tecnologias de energia fóssil e nuclear (cerca de 5% da P&D oficial em energia), como também a sua parcela de um orçamento já decrescente tem encolhido nos últimos 13 anos.

Segundo, as fontes renováveis sem dúvida se beneficiariam com a adoção de políticas de preços comerciais de energia, aliada ao fim das distorções no nível e na estrutura dos preços da energia, derivadas dos controles governamentais e monopólios públicos. Os custos de fornecer eletricidade de carga máxima é de 15-20% por kWh em vários países, o que não difere muito do custo dos sistemas termosolares de armazenamento a curto prazo. Mas poucos países adotaram uma política de preços de carga máxima, o que não incentiva muito o desenvolvimento de sistemas de armazenamento. Para a geração de força em grande escala, em que a energia termosolar tem um resultado promissor imediato e a PV um resultado a médio prazo, as aplicações nos países em desenvolvimento

estão sendo reprimidas pelos amplos subsídios à energia hidrelétrica e aos combustíveis fósseis. Em muitos países, os preços são em média menos da metade dos custos do fornecimento — cerca de US\$0,04 por kWh, quando na verdade os custos ultrapassam US\$0,10 por kWh.

Em nível internacional, o Serviço para o Meio Ambiente Global (GEF) está oferecendo uma excelente oportunidade de ajuda nos testes e na criação de tecnologias renováveis nos países em desenvolvimento. O serviço é gerido conjuntamente pelo Banco Mundial, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), e foi criado para financiar os custos incrementais nos projetos que beneficiam o meio ambiente global (nas áreas de aquecimento global, destruição da biodiversidade, rombo da camada de ozônio e poluição de águas internacionais). Ele já está financiando vários projetos de energia renovável, como a gaseificação de aparas de madeira e bagaço de cana para a geração de força em modernas turbinas de gás no Brasil, sistemas de energia PV na Índia e Zimbábue, e muitas

outras tecnologias, como a energia eólica (na Costa Rica) e geotermal. O Banco, o Pnud e muitas agências de desenvolvimento também estão financiando aplicações em pequena escala da energia renovável em diversos países.

Por facilitar as aplicações no mercado, o GEF e os fundos para o desenvolvimento ajudarão a reduzir custos e a demonstrar tecnologias, sendo que, como se verificou acima, tais tecnologias podem ser perfeitamente justificadas apenas do ponto de vista econômico. Se for o caso, não será o primeiro exemplo de política destinada a tratar de um problema ambiental que contém as sementes de uma surpresa econômica. ■

Para maiores informações, ver *Renewable energy, sources for fuels and electricity*, organizado por Thomas B. Johansson, Henry Kelly, Amulya K.N. Reddy, Robert H. Williams e Laurie Burnham, Fort Myers Beach, FL, Island Press, 1993.



**Dennis Anderson**, da Grã-Bretanha, é consultor do Departamento de Energia e Indústria, do Banco. Graduado em engenharia e economia, foi nomeado para várias funções na indústria e no governo.



**Kulsum Ahmed**, do Paquistão, é conselheira do Departamento de Meio Ambiente, do Banco. Estudou na Universidade de Cambridge e é PhD em química pelo Colégio Imperial, da Universidade de Londres.