

## Capítulo II

# Recursos energéticos renováveis: realidade e potencial

Por José Luiz Cardoso Cruz\*

Por longos períodos da história, o homem viveu como nômade. Toda a energia que usava era proveniente dos seus próprios músculos. Durante muito tempo, até mesmo durante as civilizações grega e romana, a energia motriz mais eficiente e utilizada era a humana. Houve época em que, na cidade-Estado de Atenas (Grécia), a mão de obra escrava representava 80% da população.

Após dominar, desenvolver ou esquecer algumas formas rudimentares de aproveitamento energético, os humanos deram ênfase à energia eólica. A navegação à vela fez dos ventos um aproveitamento energético de destaque, cujo ponto culminante foi alcançado no segundo milênio antes de Cristo, pelo povo fenício.

A humanidade consumia quantidades mínimas de energia até meados do século XIX. A força muscular dos animais e do próprio homem e a utilização da alavanca, da roda e da roldana eram o bastante para atender às necessidades das atividades humanas até então desenvolvidas. Entretanto, os hidrocarbonetos foram descobertos e se tornaram os combustíveis fósseis mais conhecidos. Primeiro, o carvão, depois o petróleo e, em seguida, o gás natural. As aparentemente intermináveis quantidades de matérias-primas disponíveis possibilitaram a utilização desenfreada de grandes blocos de energia e isso passou a ser sinônimo de desenvolvimento.

Hoje o consumo mundial está atrelado a essa matriz energética extremamente dependente de

recursos não renováveis (hidrocarbonetos e urânio) e isso é acompanhado proporcionalmente por um danoso e elevado impacto ambiental, cuja reversibilidade é duvidosa.

O Brasil ocupa a quinta posição no uso das energias limpas. O consumo de etanol, que foi de 25,5 bilhões de litros em 2009, deve chegar a 60 bilhões em 2017. A biomassa responde atualmente por 8,7% da matriz energética mundial e 13,9% da matriz brasileira.

Os recursos energéticos renováveis são naturais como a energia radiante do sol, a energia cinética dos ventos, a energia da água, da biomassa, das ondas, do gradiente térmico dos oceanos e a energia das marés, que são naturalmente reabastecidos. Mesmo o carvão vegetal, obtido pela pirólise ou carbonização, é produto resultante da madeira, fonte energética natural. Em 2008, cerca de 20% do consumo mundial de energia final veio de fontes renováveis, com 13% provenientes da tradicional biomassa, que é usada principalmente para aquecimento e 3,2% a partir da hidroeletricidade. Novas energias renováveis (PCHs, biomassa, eólica, solar, geotérmica e de biocombustíveis) representaram outros 2,7%. Esse percentual está crescendo muito rapidamente. A porcentagem das energias renováveis na geração de eletricidade é de 18%, com 15% da eletricidade global vindo de hidroelétricas e 3% de novas energias renováveis. As fontes renováveis suprirão 80% da energia mundial

em 2050. A biomassa, a energia eólica e a energia solar serão as que mais contribuirão para essa oferta de energia.

No relatório do IPCC, o cenário futuro que emerge para o mundo já é antecipado, de certa forma, no Brasil: predominância de hidroelétricas na matriz energética; crescente instalação de usinas eólicas para produção de eletricidade; amplo uso do etanol como combustível no setor de transportes e a infraestrutura daí decorrente, como os carros flex e os postos de combustíveis adaptados para diferentes tipos de tanques de armazenamento.

A matriz energética mundial é fortemente dominada pelo uso de hidrocarbonetos, o que torna o mercado consumidor extremamente vulnerável às variações de preço por qualquer motivo. Para a produção de eletricidade, o carvão mineral é a principal fonte de transformação energética.

No Brasil, a matriz energética total ainda tem muito de participação dos hidrocarbonetos. No entanto, nossa matriz elétrica conta com uma participação fundamental (80%) da fonte hidrelétrica, considerada limpa e renovável. Dos 20% restantes, temos grande participação da biomassa no sistema de cogeração para a produção de eletricidade, com destaque para o setor sucroalcooleiro.

Diante das pressões de movimentos populares mundiais e líderes de organizações internacionais, os países buscam alternativas às fontes energéticas finitas, quase todas responsáveis pela poluição do planeta e pelo aumento do efeito estufa.

Assim, entram em cena os recursos energéticos renováveis e busca tecnológica do melhor aproveitamento energético das fontes naturais fornecedoras. Temos então a instalação de parques geradores à base de biomassa, energia solar, energia geotérmica, energia eólica, energia das ondas e das marés, gradientes térmicos, células combustíveis (fuel cells) e a energia do hidrogênio.

A energia solar incidente sobre a superfície da terra é superior a cerca de 10.000 vezes a demanda bruta de energia atual da humanidade. Entretanto, sua baixa densidade (energia/área) e sua variação geográfica e temporal representam grandes desafios técnicos para o seu aproveitamento direto em larga escala. A conversão fotovoltaica é a conversão direta de energia luminosa em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico, objeto principal do presente artigo. A conversão térmica é o aproveitamento direto da energia térmica do sol, seja para utilização imediata (aquecimento de água, processos industriais, por exemplo), ou para a geração de eletricidade por intermédio de um processo termodinâmico (geração de vapor, por exemplo).

### *Energia solar fotovoltaica*

Os Estados Unidos, Japão e países da Europa já implementam programas para utilização direta da energia solar. No caso do

aproveitamento fotovoltaico, principalmente, sob forma de sistemas conectados à rede elétrica existente.

Nos países em desenvolvimento, a energia solar tem sido agente impulsionador para suprir pequenas demandas em áreas isoladas. O Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (Prodeem), do Ministério das Minas e Energia (MME), é um exemplo desta utilização. No caso do Brasil, de grandes áreas isoladas, outro agente motivador será a preocupação estratégica com a Amazônia, na qual existe campo para aplicação de sistemas híbridos fotovoltaico/diesel. Nosso país tem uma vantagem significativa sobre os países ditos desenvolvidos no que tange à utilização de energia solar, pois se localiza em latitude onde a incidência da radiação do sol é muito superior à que atinge aqueles países.

Três países da Europa (Espanha, Alemanha e Portugal) lideram a transformação mundial de energia solar, mas o Japão cresceu 109%. Quase metade da produção de células solares já é feita na China e em Taiwan. As usinas solares fotovoltaicas no mundo todo atingiram um recorde de 6,43 GW em 2009, um crescimento de 6% em relação ao ano anterior, de acordo com o relatório Solarbuzz 2010, uma pesquisa de mercado internacional sobre a energia solar. As maiores usinas solares estão nos Estados Unidos, mas a tecnologia atual ainda se detém diante da necessidade de grandes espaços para a produção de eletricidade via energia solar, a preços competitivos. A maior usina solar brasileira, por exemplo, para produzir 1 MW, com 4.680 painéis (logo chegará a 11.580), ocupa uma área de 12 mil metros quadrados.

A tecnologia solar vai gerar 3 mil gigawatts de energia em 2050, contra 900 megawatts em 2030, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), na sigla em inglês. Isso significa que cerca de 11% da eletricidade no mundo será gerada por energia solar naquele ano. A previsão de 3.000 gigawatts de capacidade até 2050 vai produzir 4.500 terawatt-hora de eletricidade por ano.

Partindo desse movimento tecnológico na busca da produção de eletricidade renovável, a energia fotovoltaica, baseada em dispositivos em que os elementos ativos produzem tensão elétrica na presença da luz solar, também cresce no mundo. A Europa é maior produtora, com cerca de 15.000 MW; Japão, com aproximadamente 6.000 MW; os Estados Unidos com mais de 3.000 MW; e o restante do mundo, com produção em torno de 2.000 MW. O percentual de produção da Europa, em relação ao mundo, é 81%; Estados Unidos, 6%; Coreia do Sul, 5%; Japão, 4%; restante do mundo, 4%. Na produção europeia destacam-se Espanha, cujo crescimento tecnológico no setor foi destaque em 2008, com 56% do total; a Alemanha, com 33%; e a Itália com 6%.

No nosso país, o uso de energia solar é lei. A cidade de São Paulo já tem uma lei em vigor – a Lei n. 14.459. Outras cidades também já aprovaram suas leis solares, como é o caso de Birigui, no interior de São Paulo, onde o uso dos aquecedores solares é obrigatório em habitações de interesse social. Em Campina Grande, segunda maior cidade da Paraíba, quem usa aquecedor

solar tem desconto no IPTU.

Segundo dados do Banco de Informações de Geração – BIG/Aneel, de 2010, o Brasil contava com apenas uma usina solar (SOL) com 20 KW de potência fiscalizada. E, para pesquisa, temos a Casa Solar (2 kWp), que é parte do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) e do Centro de Aplicação de Tecnologias Eficientes (CATE), cujo objetivo é divulgar as aplicações da energia solar e as tecnologias de uso eficiente de energia elétrica.

Com a inauguração da usina solar MPX Tauá, a primeira unidade solar de geração de energia em escala comercial ligada ao sistema elétrico nacional, o Brasil finalmente entrou no clube dos países que acreditam em um futuro baseado nas energias renováveis. Localizada no município de Tauá, a 350 km de Fortaleza (CE), a usina gera, atualmente, 1 MW de energia elétrica, suficiente para as necessidades de 1.500 famílias. A MPX é a empresa responsável pelo empreendimento. O projeto final concebido para a planta de Tauá chegará a 50 MW e, quando essa potência for atingida, serão injetados anualmente na rede elétrica nacional 77,4 milhões de kWh. Outro grande problema brasileiro ainda é o domínio da tecnologia e o preço dos equipamentos, ambos importados.

### Energia térmica

O Brasil implementou um programa sem precedentes no mundo. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (Proinfa) prevê a implantação de 3.300 MW de geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas, tais como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), parques eólicos e usinas de biomassa, divididas em 1.100 MW para cada fonte, em um período de apenas 30 meses. Até 2010, o País tinha 358 PCHs, com potência outorgada de 3.019 MW e potência fiscalizada de 2.975 MW, o que representava 2,77 % da matriz de energia elétrica nacional.

Mesmo sob forte pressão de entidades ambientalistas, as grandes hidroelétricas (UHE) ainda compõem predominantemente a matriz de energia elétrica brasileira. É uma fonte de energia limpa, apesar das afirmações de que os seus reservatórios emitem gases de efeito estufa (GEE). Nosso país precisa, num cálculo sem compromissos maiores, de 1.000 MW no seu parque gerador para cada 1% de crescimento do seu PIB. Isto é, precisa de energia elétrica para que seu parque industrial e seu comércio não parem e para que suas residências, suas ruas, avenidas e outros logradouros públicos não fiquem às escuras. É preciso considerar também que o Brasil explora apenas 30% de todo o seu potencial hidrelétrico.

Outro fator poluente: nossa matriz energética total é dominada ainda pelos hidrocarbonetos. Na produção de energia termoelétrica, queima-se cerca de 70% de combustíveis fósseis e aproximadamente 25% de biomassa. O diesel produz eletricidade a R\$ 492 o MWh; o óleo combustível, a R\$ 330; o gás natural, R\$ 141; o carvão nacional, a R\$ 135; o carvão importado, a R\$ 128; o GNL a R\$ 126, contra R\$ 119 das hidroelétricas; R\$ 117 das PCHs; R\$ 148 (caindo) das eolielétricas e R\$ 102 da geração a

biomassa. O Brasil dispõe em torno de 116.000 MW de potência elétrica. Importa cerca de 8.000 MW. Dos 108.000 MW nacionais, aproximadamente 79.000 MW são produzidos com a utilização da força hidráulica.

A utilização de biomassa, para fins energéticos, é tão antiga quanto a própria civilização. Até o século XVIII, a principal fonte de energia da humanidade era a lenha. O Brasil ainda é o maior produtor mundial de lenha e carvão vegetal. Apenas nos séculos XIX e XX, com a progressiva inserção dos combustíveis fósseis, a biomassa foi relegada a um plano secundário na matriz energética global, caindo no rol das fontes de geração alternativas. A utilização de biomassa como combustível, para geração de média e de larga escala, vem sendo objeto de estudo em diversos países, inclusive no Brasil.

Os romanos praticamente desmataram a Europa, antes de levarem suas forjas para os países nórdicos, em busca de madeira para queimar. Ainda que grandes áreas do planeta estejam desprovidas de florestas, a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas, o que significa cerca de 400 toneladas per capita. Em termos energéticos, isso corresponde a mais ou menos 3.000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano).

O peso relativo da biomassa na geração mundial de eletricidade, segundo projeções da Agência Internacional de Energia (1998) indicam que ela deverá passar de 10 TWh em 1995 para 27 TWh em 2020 (AEI, 1998). Nos Estados Unidos, a capacidade instalada do parque gerador de energia oriunda de biomassa, no final dos anos de 1970, era de apenas 200 MW, subindo para 8,4 GW no início dos anos 1990. A maioria corresponde a plantas de cogeração, com utilização de resíduos agrícolas e florestais. Espera-se que o desenvolvimento de novas tecnologias, como o acoplamento de sistemas de gaseificação e a integração da pirólise às turbinas a gás, aumente substancialmente a eficiência termodinâmica das plantas e reduza os custos de capital e geração. Em termos de eficiência, estima-se que os índices serão de 35% a 40%. Quanto aos custos, o kW instalado deverá ficar na faixa de US\$ 770 a US\$ 900 e o MWh gerado, entre US\$ 40 e US\$ 50.

No Brasil, a imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de eletricidade. A produção brasileira de energia elétrica com a biomassa soma 356 usinas que utilizam bagaço de cana, licor negro, madeira, biogás e casca de arroz é de mais de 6.000 MW, o que representa em torno de 6% de toda a produção do parque gerador nacional.

### Energia maremotriz

A geração de energia elétrica mundial também busca a

força das marés, das ondas do mar, da energia geotérmica e dos gradientes térmicos. O Brasil está no campo de pesquisas em relação às tecnologias da geração de eletricidade por meio da transformação da energia maremotriz, que são relativamente novas e pouco usadas, em comparação com as tecnologias para aproveitamento das fontes solar e eólica. Os custos ainda são altos, o que as deixam pouco competitivas do ponto de vista econômico.

França, Japão e Inglaterra já utilizam a energia maremotriz para gerar eletricidade. No Brasil, existem cidades com grandes amplitudes de marés, como São Luís (Baía de São Marcos), no Maranhão - com 6,8 m e Tutóia, com 5,6 m. As maiores marés brasileiras acontecem no Amapá, com 11 m de amplitude. Mas, nessas regiões, infelizmente, a topografia do litoral não favorece a construção econômica de reservatórios, o que impede seu aproveitamento. No mundo existem marés de mais de 15 m.

Na Europa, foi construída uma central pioneira de produção de energia das marés em La Rance (França), a 10 km da desembocadura do rio Rance no Canal da Mancha. Neste local, a amplitude da maré é de 13 metros. Está em funcionamento desde 1966 e produz cerca de 550 GWh anualmente.

O potencial energético das ondas nas áreas costeiras é entre dois e três milhões de megawatts. O sul da África, a Austrália e o norte do Canadá são algumas das áreas consideradas ricas em potencial maremotriz.

Estudo recente prevê que, até 2050, a energia das ondas poderá render até 190 GW de eletricidade, o que significa três vezes toda a energia elétrica produzida hoje no Reino Unido.

A energia das ondas poderá representar a maior fonte de energia renovável da Terra. Isso explica porque a União Europeia tenha previsto que, até o ano 2010, 22% do consumo energético de toda a comunidade europeia teria como origem alguma fonte de energia renovável como o sol, o vento ou as ondas. O Japão estuda formas de obter energia das ondas do mar. Testou um gerador flutuante que chamou de "Baleia Poderosa". O governo britânico fixou como meta ter em 2020 uma potência instalada de 2 GW, o que significa multiplicar por seis a atual potência instalada no mundo. Canadá, Estados Unidos, Irlanda e Portugal atualmente trabalham na fixação de metas semelhantes.

No Brasil, a primeira usina undielétrica vai funcionar no Porto de Pecém, instalada a 3 km da costa. Ocupará uma área de 200 metros quadrados no Terminal de Múltiplas Utilidades do Pecém (TMUT). Inicialmente irá produzir 100 KW, equivalente ao consumo de 60 casas de padrão médio, energia suficiente para ser aproveitada no abastecimento das instalações do próprio Porto de Pecém.

O projeto da usina foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), do COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação em Engenharia (hoje) e Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (antes).

### **Energia geotérmica**

A primeira tentativa para gerar eletricidade por meio de fontes geotérmicas ocorreu em 1904, em Lardarello, na Toscana (Itália). Os esforços foram infrutíferos por causa dos ataques químicos que as máquinas sofriam.

Em 1913, uma geradora de 250 kW foi construída com sucesso. Por ocasião da Segunda Guerra Mundial, estavam sendo produzidos 100 MW, entretanto, as instalações foram destruídas pela guerra.

Na Nova Zelândia, o campo de gases de Wairakei, nas ilhas do Norte, aproveitamentos foram desenvolvidos por volta de 1950. Em 1964, 192 MW eram produzidos. Num campo de gêiseres na Califórnia eram produzidos 500 MW de eletricidade em 1970. México, Japão, Filipinas, Quênia, Islândia e Itália são alguns países que têm expandido a produção de eletricidade por meio geotérmico.

A geração de energia elétrica a partir do potencial dos gradientes térmicos no mar foi concebida na França, pelo físico Jacques Arsene d'Arsonval, em 1881. O princípio do sistema OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) é evaporar amônia com a água quente de superfície que se expande movimentando turbinas que geram energia elétrica.

Em 1930, George Claude, discípulo de Arsonval, construiu em Cuba a primeira planta de geração de energia a partir do gradiente de temperatura e outra no Brasil em 1935. Os protótipos foram destruídos pelo mau tempo. Nova tentativa foi feita na década de

1950 pelos franceses na Costa do Marfim, na África. Os custos operacionais inviabilizaram sua construção e a ideia foi novamente abandonada. A partir de 1974, os Estados Unidos assumiram a liderança na pesquisa de novos OTECs na tentativa de reduzir custos de construção e atingir a viabilidade econômica.

### **Energia eólica**

Do vento ao vento. Os primeiros visitantes que aqui chegaram, desde tempos remotos, vieram trazidos pela energia dos ventos. Quando os portugueses chegaram ao Brasil em suas nove naus e três caravelas, também vieram impulsionados pela força eólica. A humanidade sempre usufruiu da força dos ventos para poupar a sua própria energia.

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m<sup>2</sup>, a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 m/s a 8 m/s. O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel/Eletrobras) publicou o mapa Brasil Potencial Eólico, com levantamentos relativos a essa altura. No entanto, os aerogeradores já produzem com velocidades bem menores e altura maiores. Existem turbinas a 140 m de altura e outras que geram a 4,5 m/s.

Segundo dados do Relatório Mundial de Energia Eólica, o vento gerou cerca de 340 TWh de energia no mundo em 2009, o suficiente para abastecer a Itália durante um ano.





**As fontes renováveis suprirão 80% da energia mundial em 2050. A biomassa, a energia eólica e a energia solar serão as que mais contribuirão para essa oferta de energia.**

A Europa sempre concentrou a maioria das turbinas eólicas, pois desde cedo houve tecnologia e vontade política para investir em tecnologias limpas. Mas, o potencial está se esgotando. Apenas 27% de novos aerogeradores foram instalados na Europa recentemente, deixando o continente em terceiro lugar no ranking de energia eólica.

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo.

O crescimento mais acelerado é verificado na Ásia. O continente assumiu a dianteira na produção eólica mundial e em 2009 foi responsável por 40% de todos os novos cataventos instalados. A maioria deles está na China, onde o número de turbinas duplicou pelo quarto ano consecutivo e o país está entre os cinco maiores fabricantes de turbinas eólicas do mundo.

A lista dos maiores produtores de eletricidade por meio da força eólica esteve muito agitada nos últimos anos. A Dinamarca dominou nos anos de 1970 do século passado, quando iniciou a transferência da tecnologia para o Brasil, com a instalação das turbinas eólicas em Fernando de Noronha, em cooperação com entidade de ensino pernambucana. Depois, veio a Espanha, Alemanha e, logo, os Estados Unidos assumiram a liderança. Até que a China despertou para a necessidade de flexibilizar sua matriz energética e, por meio de pesados investimentos, subiu ao topo da lista dos maiores produtores de eolioeletricidade, ultrapassando todos os outros países com grande vantagem. Está gerando, com a força dos ventos, mais de 40 GW de potência.

Em 2010, o mundo tinha 196 GW de potência eolioelétrica e gerou 430 TWh, ou seja, 2,5% do consumo mundial. A Dinamarca atendia a 25% de sua demanda com eletricidade eólica. As fontes renováveis representavam 19% de toda a geração do mundo e as não-renováveis 81%.

Na América do Sul, a utilização de energia eólica se desenvolve

mais lentamente. Apenas 2% das novas instalações eólicas são construídas na América Latina.

No Brasil, os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha (PE), no início dos anos 1990. Os resultados dessas medições possibilitaram a determinação do potencial eólico local e a instalação das primeiras turbinas eólicas no País. Hoje estão presentes no Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Minas Gerais, Ceará e Rio Grande do Norte. Vários projetos estão em execução e novos parques devem ser inaugurados nos próximos anos, grande parte graças ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). Os Estados do Ceará e Rio Grande do Sul concentram a maior geração brasileira. Alemães e espanhóis estão investindo no setor. Contudo, os especialistas brasileiros estão tornando o Brasil tecnologicamente competitivo e, futuramente, detentor de conhecimento próprio.

As fontes renováveis de energia no Brasil em 2010, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) representavam 74% do consumo total do País. Nesse percentual estavam incluídos 6,02% de eólica e biomassa. Os ventos aqui geravam 709 MW. Agora são mais de 1.470 MW, mais que a UHE de Furnas, primeira dos sistema da empresa, com 1.216 MW de potência nominal. Essa empresa é uma das que mais está investindo em parque geradores eólicos: venceu leilões para construir 17 deles no Ceará e no Rio Grande do Norte, totalizando 437 MW de potência instalada.

*\* José Luiz Cardoso Cruz tem formação em eletrotécnica, luminotécnica, energia eólica e Direito. Autor do livro A Eletricidade no Brasil, do Império à República de Hoje, é instrutor no Centro de Treinamento de Furnas, em Minas Gerais, na área de produção e transmissão de energia elétrica, recursos energéticos renováveis e energia eólica.*

**Continua na próxima edição**  
**Confira todos os artigos deste fascículo em**  
**www.osetoreletrico.com.br**  
**Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o**  
**e-mail [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)**