

**ENERGIA LIMPA: ADEQUAÇÃO AMBIENTAL, PROTEÇÃO À VIDA E A BUSCA  
PELA DIGNIDADE DA PESSOA HUMANA**

**CLEAN ENERGY: ENVIRONMENTAL SUITABILITY, PROTECTING LIFE AND  
THE SEARCH FOR HUMAN DIGNITY**

**DAVID AUGUSTO FERNANDES**

Pós-doutorando em Democracia e Direitos Humanos pela Universidade de Coimbra/Portugal, Doutor e Mestre em Direito. Professor Adjunto do Instituto de Ciências da Sociedade da Universidade Federal Fluminense/Macaé. Delegado de Polícia Federal. fernandes.ddaf@gmail.com

**RESUMO:** O presente artigo aborda as ações desenvolvidas pela sociedade mundial, no sentido de privilegiar a produção de energia limpa, procedimento implementado após a edição da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ECO-92), realizada no Rio de Janeiro em junho de 1992, e que vem ganhando corpo no decorrer dos anos. Durante o desenvolvimento deste artigo, constata-se que o Brasil possui um grande potencial a ser explorado, objetivando a produção de energia limpa. O país precisa dotar-se de políticas governamentais cujos esforços sejam concentrados na produção de fontes de energia renováveis limpas, objetivando inibir a degradação ambiental e promover a melhoria da vida humana. Tal procedimento demonstra cabalmente sua necessidade, quando se constata que, desde o século XIX, a energia utilizada para a manutenção das indústrias é proveniente, em grande parte, de combustíveis fósseis, que são fontes muito poluidoras. Este uso desenfreado afeta de forma direta o meio ambiente e prejudica, no decorrer dos anos, a saúde do ser humano, ferindo frontalmente a dignidade da pessoa humana, com sua vida posta em risco irreversivelmente.

**PALAVRAS-CHAVES:** Meio ambiente. Dignidade da Pessoa Humana. Energia limpa.

**ABSTRACT:** This article discusses the actions taken by the world society, to give priority to clean energy production, implemented procedure after the publication of the United Nations Conference on Environment and Development (ECO-92), held in Rio de Janeiro in June 1992, and has been gaining body over the years. During the development of this article, it appears that Brazil has a great potential to be explored, aiming at the production of clean energy. The country needs to equip itself with government policies whose efforts are focused on the production of clean renewable energy sources, aiming to inhibit environmental degradation and promote the improvement of human life. This procedure fully demonstrates their need when it notes that, since the nineteenth century, the energy used for maintenance of industries comes largely from fossil fuels, which are very polluting sources. This rampant use directly affects the environment and harms, over the years, the health of human beings, injuring frontally the dignity of the human person, his life endangered irreversibly.

**KEYWORDS:** Environment. Dignity of human person. Clean energy.



## INTRODUÇÃO

O mundo contemporâneo assiste a um forte movimento de conscientização pela preservação do meio ambiente, visando à melhoria da qualidade de vida, tal como foi materializada com a construção, em Abu Dhabi, de Masdar<sup>1</sup>, uma cidade totalmente isenta de CO<sub>2</sub>. Diante desta oportuna iniciativa, verifica-se sua importância alinhada com a atual preocupação com o meio ambiente, ainda mais realçada a partir da ECO-92 e atingindo uma intensa conscientização mundial no ano de 2015, com a edição da Conferência do Clima da Organização das Nações Unidas de Paris, quando foram fixados inadiáveis compromissos das nações participantes pela melhoria do meio ambiente e a preservação da vida no planeta.

O presente trabalho apresenta as várias formas de se produzir energia limpa, mediante tecnologias não agressivas, sua capacidade instalada ou por instalar, custos para utilização, locais onde são instalados no Brasil, com o objetivo de alcançar um meio ambiente mais favorável ao ser humano. Entende-se que um meio ambiente saudável é fator primordial para promover sintonia da dignidade da pessoa humana e a preservação do ser humano neste planeta. Torna-se imperioso perceber que, ocorrendo estes dois fatores, a vida do ser humano será mais duradoura e desprovida de malefícios à saúde.

Ao longo deste artigo são apresentados em primeiro plano os Direitos Humanos e a dignidade da pessoa humana, já que a preocupação mundial pelo meio ambiente foi introduzida pela ação direta da Organização das Nações Unidas (ONU) no cotidiano dos vários países do mundo. No segundo capítulo se focaliza a necessidade da implementação de políticas governamentais, fator preponderante para o desenvolvimento de projetos voltados para a proteção ambiental e seu direcionamento para produção de energia limpa. Em seguida, é feita a exposição das várias energias renováveis e limpas em utilização no período contemporâneo, complementada com informações sobre seu custo, aplicabilidade e plantas existentes no Brasil.

## 1 DIREITOS HUMANOS E A DIGNIDADE DA PESSOA HUMANA

---

<sup>1</sup>Masdar (em árabe: مصدر *maşdar*, "recurso") é uma cidade planejada que está sendo construída em Abu Dhabi, nos Emirados Árabes Unidos. Sua principal característica é a sustentabilidade, incluindo a meta de tornar-se neutra de CO<sub>2</sub>. A cidade sediará uma universidade, a Masdar Institute of Science and Technology e várias empresas. Estão envolvidos em sua construção entidades como Massachusetts Institute of Technology, General Electric, BP, Royal Dutch Shell, Mitsubishi, Rolls-Royce, Total S.A., Mitsui, Fiat e Conergy, esta última envolvida especialmente na construção de uma estação de captação de energia solar com potência de 40 MW.

O século passado caracterizou-se por proporcionar várias discussões para se definirem os direitos do homem, partindo da premissa segundo a qual os direitos são aqueles que pertencem, ou deveriam pertencer, a todos os homens, ou dos quais nenhum homem poderia ser despojado. Em 1947, o relator da Comissão de Direitos Humanos, Charles Malik, já afirmava o seguinte:

“A expressão Direitos do homem refere-se obviamente ao homem, e com direitos só se pode designar aquilo que pertence à essência do homem, que não é puramente acidental, que não surge e desaparece com a mudança dos tempos, da moda, do estilo ou do sistema; deve ser algo que pertence ao homem como tal” (MELLO *apud* MALIK, 1997, p.3).

Entretanto, tal definição ainda era imprecisa e mereceu um aperfeiçoamento ao longo do tempo, passando a vigorar da seguinte forma: “Direitos do homem como aqueles cujo reconhecimento é condição necessária para o aperfeiçoamento da pessoa humana, ou para o desenvolvimento da civilização”. Contudo, no decorrer dos anos a preocupação fundamental prende-se não especificamente ao problema de justificar estes direitos, mas o de protegê-los. Trata-se de um problema não filosófico, mas sim político, pois são os governos que decidem a sua adoção e aplicabilidade em determinado momento (BOBBIO, 1992, p.17-24).

O direito à vida é o primeiro adquirido pela pessoa desde o nascimento, e vai lutar por ele enquanto existir. É considerado também o mais elementar, estando descrito nos artigos 3º e 25 da Declaração Universal dos Direitos Humanos (DHNET, 2015) <sup>2</sup>. É condição precípua da própria humanidade da pessoa e, nesta perspectiva, a condição de verdadeiro direito a ter direitos, sendo um antecedente à própria dignidade da pessoa humana. Além disso, o direito à saúde vincula-se diretamente ao direito à vida, ambos entrelaçados na integridade física do ser humano (SARLET, 2004, p. 320).

Na esfera interna da Constituição Federal (artigos 6º, 196 e seguintes), observa-se que a proteção ao direito à saúde apresenta-se normatizado, sendo o artigo 196 uma norma de cunho programático, ao explicitar que a saúde é direito de todos e dever do Estado, além de impor aos poderes públicos uma série de procedimentos nesta área (SARLET, 2004, p. 321). Projetando tal ideal para a sociedade mundial, verifica-se a busca pela melhoria do meio

---

<sup>2</sup> Artigo 3 – Todo o homem tem direito à vida, à liberdade e à segurança pessoal.

[...]

Artigo 25 – Todo o homem tem direito a um padrão de vida capaz de assegurar a si e a sua família saúde e bem-estar, inclusive alimentação, vestuário, habitação, cuidados médicos e os serviços sociais indispensáveis, e direito à segurança em caso de desemprego, doença, invalidez, viuvez, velhice ou outros casos de perda de meios de subsistência em circunstâncias fora de seu controle.

ambiente através de vários atos, de forma intermitente e claudicante, no sentido de obter energia de forma limpa e renovável.

No final do século passado foi provocado o despertar mundial para a mudança climática com a ECO-92, quando foram traçados planos para melhoria do meio ambiente. Tais intenções geraram outros acordos internacionais na mesma vertente, a ponto de culminar, no ano de 2015, com o Acordo de Paris, quando as nações se comprometeram a combater os fatores que provocam as mudanças climáticas, abrindo nova perspectiva para o exercício do direito à vida do ser humano e dos demais seres vivos no planeta<sup>3</sup>.

Criada a consciência mundial para a melhoria climática, desenvolvem-se em paralelo vários programas direcionados à produção de energia limpa, demonstrando o respeito e a proteção à vida por parte dos vários governos ao redor do mundo<sup>4</sup>.

## **2 POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS E FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS**

A oferta de energia primária no mundo compõe-se de 13% de fontes renováveis e 87% não renováveis, onde a distribuição relativa destas fontes apresenta o predomínio do petróleo (32,8%), seguindo-se do carvão mineral (27,2%), gás natural (20,9%) e nuclear (5,8%) como principais fontes de energia utilizada no mundo e, com a conscientização ambiental verifica-se a migração para energia renovável.

A energia renovável é obtida de fontes naturais capazes de se regenerar e, portanto, virtualmente inesgotáveis. Para que seja possível abordar a prerrogativa das energias renováveis, é necessária uma discussão sobre política energética e as suas implicações na adoção das mais diversas formas de energia por um Estado (GUERRA; YOUSSEF, 2011, p. 102)<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> Após anos de negociações, em dezembro de 2015, líderes mundiais adotaram, na capital francesa, o texto do Acordo de Paris. O documento indica medidas de combate à mudança climática, incluindo o compromisso das nações reduzirem as emissões de gases de efeito estufa e assim, evitar que a temperatura média global suba mais do que 2º Celsius.

Mas para entrar em vigor, primeiro o acordo precisa ser firmado. O documento estará aberto para assinaturas, durante o prazo de um ano, a partir de 22 de abril, quando é celebrado o Dia da Terra, até abril de 2017.

<sup>4</sup> Fugindo, dentre outras, da energia nuclear, haja vista os desastres já ocorridos, como em Chernobyl e em Nagoya, mostrando quão mortífera é esta fonte energética para o ser humano.

<sup>5</sup> A utilização de fontes renováveis de energia é primordial para as mudanças climáticas, pela menor concentração dos recursos naturais utilizados como fontes renováveis, elas são capazes de prover maior segurança energética aos países que as utilizam, e seu aproveitamento em maior escala é um dos principais instrumentos de combate às mudanças climáticas decorrentes da elevação dos gases de efeito estufa na atmosfera.

O objetivo essencial de qualquer política energética é garantir o suprimento de energia necessária ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar de uma sociedade. Nesse sentido, a política energética busca

Inclui-se no rol de energia renovável a energia limpa, considerada aquela que não libera, durante seu processo de produção ou consumo, resíduos ou gases poluentes geradores do efeito estufa e o aquecimento global. As fontes de energia que liberam quantidades muito baixas destes gases ou resíduos também são consideradas fontes de energia limpa. Suas principais fontes são a eólica, a solar, a das marés e o biogás. Conforme Robert Bryce, no início deste século, vários países iniciaram um investimento pesado em energia renovável, deparando-se com um fator inesperado: o alto custo, apesar de o sol e o vento serem grátis (BRYCE, 2011)<sup>6</sup>.

É evidente que o desenvolvimento de fontes renováveis não se dá de uma hora para outra, mas existe a necessidade indelegável do interesse governamental para criação de uma logística eficiente, visando ao preparo para adequação e utilização de energias renováveis, tornando-as aptas a atingir o desenvolvimento sustentável, segurança energética e combate às mudanças climáticas.

Situam-se como obstáculos ao desenvolvimento das fontes renováveis de energia as falhas de mercado e barreiras econômicas, barreiras de informação e conscientização, barreiras socioculturais e as barreiras institucionais e políticas (IPCC, 2011).

No que concerne às falhas de mercado e às barreiras econômicas, especificamente direcionadas ao caso das energias alternativas, poderão ocorrer as seguintes situações: a)

---

responder a questões conjunturais, mas, acima de tudo, estruturar o futuro de um país ou de uma região. Logo, a política energética é, de forma incontornável, uma política pública e seu sujeito principal é o Estado.

As políticas energéticas tiveram seu rumo modificado, desde 2005, devido a dois fatores: a) o primeiro fator é a percepção que vem sendo disseminada dos maus efeitos causados ao meio ambiente pela queima de combustíveis fósseis, ocasionando as mudanças climáticas e o efeito estufa; b) o segundo, que está alterando os rumos das políticas energéticas, são os elevados preços do petróleo; além do que, tal recurso se encontra concentrado em alguns poucos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), os quais estão reafirmando a questão da segurança energética.

<sup>6</sup> Pegue como exemplo a energia eólica. Uma turbina precisa de 50 toneladas de estanho para produzir 1 MW (megawatt) de energia. Já com gás natural, uma turbina produz essa mesma energia com apenas 0,3 tonelada de estanho. O vento pode sair de graça, mas precisamos de minérios para erguer a infraestrutura que permitirá gerar energia.

Os minérios não são o único recurso natural exigido pelas energias renováveis. Também temos de encontrar muita terra disponível. Os números mostram por quê: em cada metro quadrado de terreno, é possível gerar 1W (watt) com energia eólica, 20 vezes menos do que qualquer usina de gás natural. A energia solar precisa de áreas menores. É possível produzi-la no seu próprio telhado.

O custo de instalação dos painéis tem baixado cada vez mais, e hoje está em US\$ 5 mil por KW (quilowatt) (dados de 2011). Mas é um custo similar ao da energia nuclear - que tem a vantagem de funcionar também à noite. A prática mostra quão dispendiosa podem ser as energias renováveis. O estado americano da Califórnia pretende obter um terço da sua energia (cerca de 17 mil megawatts) de fontes limpas em 2020. Se essa meta for dividida meio a meio entre sol e vento, será necessário ocupar uma área 5 vezes maior do que Manhattan (87 km<sup>2</sup>) para os painéis solares e outra 70 vezes maior do que a ilha para as turbinas eólicas. Não que devamos parar de investir em energias renováveis. Mas precisamos ser claros quanto ao retorno que podemos ter com elas. O Brasil é um exemplo: tido como representante da importância do etanol, produz quase 28 bilhões de litros de álcool por ano. É pouco perto do que o país precisa.

A energia solar pode ser uma boa alternativa para a Arábia Saudita. A hidrelétrica para o Brasil e para a África Central.

externalidades negativas ou positivas não precificadas, como emissão de poluentes e de gases de efeito estufa; b) investimentos iniciais elevados, como, por exemplo, o custo de aquisição de painéis fotovoltaicos, que serão amortizados em 20 anos ou mais<sup>7</sup>; c) riscos econômicos associados à utilização de novas tecnologias de eficiência ainda não comprovada; d) baixa demanda inicial, impedindo a obtenção de ganhos de escala e mantendo elevado o custo das novas tecnologias (UCZAI, 2012, p. 35).

A falta de dados referentes aos potenciais energéticos solares, eólicos, geotérmicos e hidráulicos são frutos das barreiras de informação. A falta de profissionais capacitados para promover a instalação, operação e manutenção de fontes renováveis representa também importante barreira a ser superada, pois estas ações estão interligadas (UCZAI, 2012, p. 37).

Outro obstáculo são as barreiras socioculturais diante da aceitação das novas tecnologias pelo público em geral, que transparecem na visão estética da instalação de painéis solares e dos telhados das residências, assim como na aceitação da modificação da paisagem natural provocada pela instalação de turbinas eólicas.

Observam-se, também, as barreiras institucionais e políticas vivenciadas na resistência das indústrias tradicionais em aceitar uma perda de participação no mercado de energia. As grandes empresas desse setor, tanto no campo da energia elétrica, como no de petróleo, gás natural, ou mesmo biocombustíveis, podem opor forte resistência à produção descentralizada de energia renovável. Preferem, geralmente, operar por meio de sistemas centralizados e de elevada densidade energética (UCZAI, 2012, p. 38)<sup>8</sup>.

Na atualidade existem mais de 115 países utilizando algum tipo de política para promover o desenvolvimento das fontes renováveis de energia. As políticas aplicadas são para superar as barreiras mencionadas e promover o aumento da participação das fontes renováveis, tornando-se imprescindível o estímulo das mudanças no funcionamento dos sistemas energéticos tradicionais.

---

<sup>7</sup>Devido aos custos iniciais elevados de algumas tecnologias, uma questão crucial é a obtenção de apoio financeiro pelos empreendedores. Todavia, as instituições financeiras, normalmente, preferem disponibilizar recursos para grandes projetos energéticos, tendo dificuldade em prover capital a maior número de empreendimentos de escala mais reduzida.

<sup>8</sup>As normas que regulamentam as atividades energéticas, muitas vezes, foram elaboradas para atender a tais sistemas centralizados e podem apresentar restrições ao aproveitamento de fontes renováveis, especialmente quanto à produção descentralizada de energia em pequena escala apresentar restrições ao aproveitamento de fontes renováveis, especialmente quanto à produção descentralizada de energia em pequena escala. Além disso, os órgãos de planejamento e regulação das indústrias de energia precisam adequar sua cultura interna, anteriormente focada nas formas tradicionais de produção e distribuição de energia, para que passem a considerar, apropriadamente, as diversas modalidades de fontes renováveis disponíveis.

No desenvolvimento e implantação de fontes renováveis, as políticas para promoção de pesquisa, geralmente, são classificadas em três categorias: a) incentivos fiscais – correspondem à aplicação de recursos públicos que não serão reembolsados, incluindo mecanismos tributários, como reduções de alíquotas, isenções, deduções e créditos tributários, bem como a concessão de subsídios; b) mecanismos estatais de financiamento – aplicação de recursos públicos com expectativa de retorno financeiro, incluindo a concessão de financiamentos, garantias e participação societária em empreendimentos; c) políticas regulatórias – estabelecimento de regras que devem ser obedecidas pelos agentes regulados (IPCC, 2011).

Como observado acima, existe um consórcio entre as fontes renováveis e as políticas públicas ou privadas visando à pesquisa e ao desenvolvimento de novas fontes renováveis, a fim de responder a questões conjunturais para formatar o futuro de um país ou de uma região, buscando a melhoria da qualidade de vida de todos.

### **3 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS EM UTILIZAÇÃO NA ATUALIDADE**

No Brasil, a base da matriz elétrica nacional é a hidráulica (70,7%), seguida das fontes biomassa (7,4%) e eólica (1,1%), todas de geração de energia limpa, sendo que as demais fontes não são limpas. Neste tópico se abordam as várias matrizes de energia limpa e os diversos meios para obtenção da eletricidade, sua tecnologia, custos e capacidade tanto no Brasil como em outros países.

#### **3.1 ENERGIA DA BIOMASSA**

Para produção de energia elétrica, a partir da biomassa, podem ser utilizadas várias fontes de matéria-prima, dentre elas se destacam: a) resíduos agrícolas; b) dejetos de animais; c) resíduos das indústrias florestais, de papel e celulose e alimentícia; d) resíduos urbanos (lixo); e) matéria orgânica de esgotos sanitários; f) culturas energéticas, como as provenientes de rotação de cultura, florestas energéticas (eucalipto e pinus), gramíneas (capim elefante), culturas de açúcar (cana-de-açúcar e beterraba), culturas de amido (milho e trigo) e oleaginosas (soja, girassol, colza, sementes oleaginosas, pinhão-manso e óleo de palma) (UCZAI, 2012, p. 61).

Existem, também, os resíduos orgânicos, urbanos, industriais e rurais, que são, em geral, as principais fontes para a produção de eletricidade e cogeração. Isso porque os produtos primários das culturas energéticas possuem normalmente custo mais elevado, sendo utilizados para a produção de biocombustíveis, como etanol e biodiesel, ou como redutores e fontes de calor na indústria siderúrgica, como o carvão vegetal proveniente de plantações de eucalipto (UCZAI, 2012, p.61).

As principais tecnologias aplicadas para a produção de eletricidade e cogeração são: a) queima conjunta<sup>9</sup>; b) queima em usinas dedicadas à biomassa<sup>10</sup>; c) gaseificação<sup>11</sup>; d) digestão anaeróbica<sup>12</sup> (UCZAI, 2012, p.64).

A produção de eletricidade a partir da queima de resíduos sólidos urbanos apresenta custos mais elevados, pois exige rígido controle da emissão de poluentes, provenientes da grande diversidade de materiais presentes no lixo das cidades. Assim, em consequência dos elevados custos de capital e de operação, semelhantes usinas são viáveis apenas quando o

---

<sup>9</sup>O processo de queima conjunta consiste em utilizar biomassa sólida e carvão mineral em usinas termelétricas a carvão mineral. Essa forma de geração faz uso das usinas a carvão já existentes, exigindo baixos investimentos iniciais, realizados na preparação da biomassa para queima e na adaptação de sistemas de alimentação de combustível. O custo adicional para adaptar as usinas a carvão mineral para a queima conjunta varia de US\$ 50 a US\$ 250 por quilowatt. Onde existe matéria-prima orgânica a baixo custo, ou sem custo, a biomassa pode reduzir o custo de geração para cerca de US\$ 20 por megawatt-hora. Se a biomassa está disponível a custos entre US\$ 3 e US\$ 3,5 por GJ (gigajoules), o custo de geração ultrapassa o custo da geração a carvão, indo para a faixa de US\$ 30 a US\$ 50 por megawatt-hora.

<sup>10</sup>Esse material é queimado para produção de eletricidade, ou de eletricidade e calor (cogeração), por intermédio de sistemas que utilizam caldeira, turbina a vapor e gerador elétrico. A capacidade típica dessas plantas – de 1 a 100 MW – é cerca de dez vezes menor que a potência de grandes usinas a carvão, em razão da disponibilidade de matéria-prima e para evitar maiores custos de transporte. Essa tecnologia é usada com o objetivo de aproveitar grandes quantidades de resíduos, como o bagaço de cana, por exemplo. A menor dimensão das unidades praticamente dobra os investimentos por quilowatt e resulta em menor eficiência elétrica, em comparação com as usinas a carvão. Todavia, em plantas de cogeração, a competitividade pode ser maior, uma vez que é possível alcançar uma faixa de eficiência total (elétrica mais térmica) entre 80% e 90%.

<sup>11</sup>É um processo termoquímico em que a biomassa é transformada em gás combustível. O gás combustível, em princípio, pode ser queimado diretamente em motores de combustão interna ou turbinas a gás para mover um gerador elétrico. A energia elétrica pode também ser obtida em usinas de ciclo combinado, que alcançam maiores eficiências, e utilizam turbinas a gás e a vapor.

Estima-se o custo de geração em plantas de gaseificação da biomassa entre US\$ 100 e US\$ 130 por megawatt-hora, considerando-se um custo de US\$ 3 por gigajoules para a matéria-prima.

<sup>12</sup>A digestão anaeróbica é o processo de degradação biológica da biomassa por bactérias, na ausência de oxigênio, produzindo biogás. Esse gás pode então ser usado para a produção de energia elétrica, tipicamente, por meio de sua combustão em motores estacionários.

A digestão anaeróbica é particularmente adequada para o aproveitamento de matérias-primas com alto teor de umidade, como dejetos de animais, lodo decorrente do tratamento de esgotos sanitários, resíduos agrícolas úmidos e a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.

A digestão anaeróbica também ocorre naturalmente no interior de aterros sanitários, que podem conter sistema de captação e transporte do biogás com a finalidade de produção de energia elétrica.

A produção de eletricidade a partir do biogás originado de resíduos orgânicos apresenta também grande vantagem sob o aspecto ambiental, pois evita que esses resíduos sejam descartados no ambiente sem tratamento, poluindo, especialmente, os recursos hídricos.

Um exemplo de experiência de sucesso no tratamento de resíduos animais é o programa desenvolvido por Itaipu no Sul do Brasil, que estimula e apoia a produção de biogás por criadores de suínos, o que trouxe melhora da qualidade da água dos corpos hídricos que deságuam no lago da usina hidrelétrica.

responsável pelos resíduos assume parte dos custos (IPCC, 2011)<sup>13</sup>. Motivo pelo qual são aplicáveis somente em locais onde outra forma de disposição é impossível ou muito onerosa. Porém, esse tipo de tratamento de resíduos sólidos tem a vantagem de apresentar balanço de emissão de gases de efeito estufa mais favorável que nos aterros sanitários, por exemplo.

Estima-se que a capacidade instalada mundial de geração de energia elétrica a partir da biomassa, ao final de 2010, era de 62 GW (gigawatts). Nesse ano, ocorreram importantes acréscimos de capacidade de geração em países da Europa, Estados Unidos, China, Índia e muitos países em desenvolvimento (UCZAI, 2012, p.64). Os cinco países que possuem a maior capacidade instalada para a produção de energia elétrica da biomassa são Estados Unidos, Brasil, Alemanha, China e Suécia.

Nos Estados Unidos, a maior parte da eletricidade produzida de matéria orgânica provém de resíduos florestais e agrícolas e da lixívia<sup>14</sup>. Uma parcela crescente é derivada de gás de aterro, que somou 8 terawatts-hora em 2010, a partir de mais de 550 plantas, que detêm 1,7 GW de capacidade (UCZAI, 2012, p.64).

No Brasil a biomassa, assim como ocorre no caso da energia eólica, é uma fonte complementar da hidroeletricidade nas regiões Sul e Sudeste, onde a colheita de safras propícias à geração de energia elétrica – cana-de-açúcar e arroz, por exemplo – ocorre em período diferente do chuvoso (GUERRA; NOGUEIRA, 2008, p.20).

Com relação à biomassa de cana-de-açúcar, estima-se que, para o Brasil atender à futura demanda mundial por etanol em 2025 (para substituir 10% da demanda por gasolina), seriam necessários 35 milhões de hectares de novos canaviais, cuja expansão se daria sem substituição de culturas, sem necessidade de irrigação, apenas utilizando a disponibilidade existente de terras segundo critérios do estudo elaborado pelo Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Unicamp (NIPE) (GUERRA; YUSSEF, 2011, p.18; TOLMASQUIM, 2012, p. 147)<sup>15</sup>.

---

<sup>13</sup>As plantas dedicadas à biomassa com capacidade típica entre 10 e 100 megawatts elétricos, tem estimado seus custos da energia elétrica entre US\$ 69 e US\$ 150 por megawatt-hora, a uma taxa de juros de 7% ao ano.

<sup>14</sup>Também chamada de licor negro (matéria orgânica subproduto da indústria de papel e celulose).

<sup>15</sup>Porém, para permitir o aproveitamento de todo potencial existente e do futuro potencial de energia de biomassa de cana-de-açúcar, é necessária uma estratégia baseada em três medidas.

Primeiro, os critérios de valorização praticados no âmbito dos leilões de energia nova, inclusive o Índice de Custo Benefício (ICB) e o Custo Econômico de Curto Prazo (CEC), deveriam ter valores preestabelecidos dentro de uma faixa móvel com teto e piso, assegurando a rentabilidade dos investimentos.

Segundo: considerando que a bioeletricidade da cana-de-açúcar tem consumo próprio, a legislação do desconto da tarifa do uso do fio, atualmente determinada em 30MW de potência instalada, deveria considerar potência disponibilizada para venda e não potência instalada, aumentando para 50MW.

Terceiro: aprovar a integração dessa fonte que é sazonal e complementar a hidroeletricidade no caso de venda no mercado.

### 3.2 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica provém da energia cinética do ar em movimento – o vento – captada por turbinas, cujo rotor está ligado a um gerador elétrico, seja diretamente ou por intermédio de uma caixa de engrenagens (EBAH, 2016)<sup>16</sup>. Os sistemas eólicos podem ser instalados em terra (*onshore*) ou sobre o mar (*offshore*). Os primeiros sistemas apresentam a vantagem de aproveitarem ventos normalmente mais favoráveis e utilizam as grandes turbinas para instalação em terra com adaptações, como maior proteção à corrosão<sup>17</sup>. Enfrentam, contudo, dificuldades que, até o momento, tornam os projetos no mar mais desafiadores e custosos. A geração no mar requer dispendiosas estruturas de suporte para as torres, exige sistemas submersos de transmissão de eletricidade e possui condições de construção, manutenção e operação mais restritas (UCZAI, 2012, p.70).

---

Conforme assinalado por TOLMASQUIM: “Vale ressaltar que a expansão do cultivo da cana não é restrição para a expansão da agropecuária no país. Isto decorre da disponibilidade de terras subutilizadas, seja na pecuária extensiva, seja em terras não produtivas e fora dos biomas Amazonas e Cerrado.

O balanço total de emissões associado ao aproveitamento energético da cana é neutro, pois a etapa de fixação de carbono, através da fotossíntese, iguala à de liberação na sua utilização. *Por isto, esses derivados são considerados limpos e contribuem para a renovabilidade da matriz energética.*

O desenvolvimento no país da tecnologia de veículos *flex-fuel*, assegurando aos consumidores o direito de escolha no ato de abastecer, permite que o etanol, sempre que competitivo, tenha o seu mercado assegurado. Como, em geral, o etanol tem todas as condições de ser mais competitivo que a gasolina, as perspectivas de crescimento deste combustível são bastante promissoras no Brasil. O Plano Nacional de Expansão de Energia 2020 apresenta uma taxa de crescimento da demanda de etanol de 11% ao ano entre 2010 e 2020. Além disso, estima-se que, em 2020, 78% da frota de veículos leves sejam compostos por veículos *flex-fuel*”(grifos do autor deste artigo).

<sup>16</sup>Aplicações de energia eólica são verificadas no mundo há milhares de anos, em moinhos de vento para moagem de grãos e bombeamento de água, embarcações à vela etc. No fim do século XIX, surgiu a primeira aplicação de energia eólica para produção direta de eletricidade, através do advento da primeira turbina eólica, também conhecida como aerogerador. Após um período de pouco interesse, já no século XX, a crise do petróleo nos anos 1970 despertou um maior interesse pela energia eólica, sendo introduzidas melhorias significativas nos sistemas, principalmente na aerodinâmica das pás, nos geradores elétricos e nos sistemas de comando e controle. Atualmente, centrais eólicas de diversos portes são utilizadas em vários países do mundo, especialmente na Europa e nos Estados Unidos da América, para produzir energia elétrica. Países como a Alemanha, a Espanha e a Dinamarca estão na vanguarda no uso de parques eólicos, tanto em terra quanto, no caso da Dinamarca, no mar (*offshore*).

A maturidade tecnológica alcançada pelos sistemas eólicos faz surgir equipamentos de portes cada vez maiores, já sendo verificada a disponibilidade comercial de turbinas da ordem de 5 MW. Grandes centrais geradoras, conhecidas como parques ou fazendas eólicas, com capacidade de até centenas de megawatts encontram-se em operação ao redor do mundo, principalmente em países como Alemanha, Espanha e Estados Unidos, líderes em capacidade instalada. Nesse último encontra-se o maior parque eólico do mundo, com capacidade de 300 MW, no Estado de Washington.

No Brasil há uma abundância de ventos em quase toda a costa, sendo estimado um potencial global de cerca de 140 GW, dos quais uma boa parte poderá ser efetivamente explorada. A maior parte desse potencial encontra-se no litoral, mas existem também locais fora do litoral que podem ser convenientemente utilizados tanto para centrais de grande porte quanto, e principalmente, para aproveitamentos de pequeno e médio porte, no atendimento de localidades isoladas da rede elétrica convencional.

<sup>17</sup>Para os empreendimentos sobre o mar, os custos estão entre US\$ 180 e US\$ 190 por MWh e entre US\$ 100 e US\$ 200 por MWh.

As turbinas eólicas produzem energia com ventos a partir de 15 km/h até 90 km/h. As maiores turbinas eólicas atuais são de 5 MW a 6 MW de potência por unidade, com um diâmetro de rotor de 126 metros<sup>18</sup>. As turbinas comerciais típicas têm capacidade entre 1,5 MW e 3 MW (UCZAI, 2012, p.70).

Em 2010, o acréscimo da potência instalada em energia eólica foi de 39 GW, maior que qualquer outra fonte alternativa. Em 2011, de acordo com Conselho Global de Energia Eólica (*Global Wind Energy Council*– GWEC), a capacidade instalada em energia eólica no mundo cresceu 21%, com o acréscimo de 41,2 GW, alcançando assim um total de 238 GW (GWEC, 2011)<sup>19</sup>. Os principais países que utilizam essa fonte, em ordem de capacidade instalada são a China, seguida pelos Estados Unidos, Alemanha e Espanha. O Brasil foi o país que em 2011 apresentou o maior crescimento relativo no mundo, equivalente a 63%, com sua capacidade instalada passando de 927 MW, em 2010, para 1.509 MW, em 2011 (GWEC, 2011).

Os custos de investimentos em energia eólica têm apresentado redução expressiva a partir do início dos anos 1980, apesar de ter ocorrido elevação do preço das turbinas, no período entre 2007 e 2009, devido à demanda aquecida e ao aumento dos preços de matérias-primas para sua fabricação. Entretanto, recentemente, com o desenvolvimento do mercado abaixo da expectativa, ocorreu um excesso de capacidade de fabricação, o que levou a uma queda nos preços das turbinas. Para contratos assinados no final de 2010, para entrega no segundo semestre de 2011, os preços das turbinas estavam em US\$ 1.350 por kW, 19% inferiores aos preços de pico entre 2007 e 2008 (GUERRA; YUSSEF, 2011, p.19).

O mercado de energia eólica é o que ostenta o maior potencial de crescimento dentre as chamadas fontes alternativas de energia, a uma taxa média anual de 40% no mundo. Atualmente, com os avanços operacionais e produção em larga escala, esta tecnologia já é considerada economicamente viável para competir com as fontes tradicionais de geração de eletricidade em países como Alemanha, Dinamarca, EUA, Portugal e Espanha. Além disso, ainda é grande o potencial eólico a ser explorado em diversos países, principalmente no Brasil (GUERRA; YUSSEF, 2011, p.19).

---

<sup>18</sup>As turbinas têm aumentado de tamanho muito rapidamente, mas é esperada uma diminuição desse ritmo de crescimento para as turbinas em terra, devido a restrições estruturais, de transporte, e de instalação.

<sup>19</sup>No final de 2010, a capacidade instalada de energia eólica na União Europeia representava 5,3% do consumo de eletricidade na região. Muitos países, no entanto, obtiveram maior participação da energia eólica no atendimento da demanda por eletricidade, incluindo a Dinamarca (22%), Portugal (21%), Espanha (15,4%), Irlanda (10,1%) e Alemanha (6%). Na Alemanha, quatro estados atenderam a mais de 40% de suas necessidades de energia elétrica por meio da energia eólica.

No Brasil, especificamente na região nordeste, a energia eólica é uma alternativa para complementar a hidroeletricidade, já que o período com maior regime de ventos ocorre quando há baixa precipitação de chuvas. Além do mais, o maior potencial eólico brasileiro encontra-se nessa região.

Em 2011, a potência eólica instalada no país era de 1 GW. O total estava distribuído entre os 50 empreendimentos em operação no território nacional (GUERRA; YUSSEF, 2011, p.19-20)<sup>20</sup>. Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, elaborado em 2001 pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), o valor do potencial brasileiro é de 143 GW de potência ou 272 TWh por ano de energia. Este potencial foi medido para torres de 50 metros de altura, padrão da tecnologia eólica à época da realização do Atlas (TOLMASQUIM, 2012, p. 148).

Em função da evolução tecnológica, que hoje permite a instalação de turbinas a mais de 100 metros de altura, este potencial certamente apresentará valores bem maiores quando revisto (TOLMASQUIM, 2012, p. 149)<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup>Essa meta foi atingida com a entrada em operação do parque eólico Elebrás Cidreira 1, pertencente à associada EDP Energias do Brasil, localizado no município de Tramandaí (RS). Local onde estão instalados 31 aerogeradores fabricados pela *Wobben Wind Power*, com capacidade total de 70 MW.

Com isto, de acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) atualizados até 2011, as usinas eólicas já respondem por quase 1% da energia outorgada em relação à capacidade de geração de energia do país. A expectativa, segundo especialistas, é que a geração eólica represente 5,2 GW na matriz brasileira até 2013. O valor considera os resultados dos leilões de 2009 e 2010.

O Ministério de Minas e Energia e a Empresa de Pesquisa Energética têm sinalizado na direção de manter a participação das eólicas nos leilões. Com isso, espera-se que, por ano, sejam licitados entre 2 mil MW e 2,5 mil MW eólicos.

<sup>21</sup>Assim como outras fontes renováveis, a energia eólica é um recurso variável e intermitente. *No Brasil, a predominância hidrelétrica do Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN) traz um duplo benefício para a fonte eólica* (grifos deste artigo).

Em primeiro lugar, em função das características do SIN, a regularização das usinas eólicas poderá ser feita através da utilização dos reservatórios das usinas hidrelétricas. Estes reservatórios podem acumular água quando houver excesso de geração eólica, e vice-versa. Quanto maior a capacidade de armazenamento do parque hidrelétrico, maior a capacidade de penetração de parques eólicos.

Em segundo lugar, se verifica uma significativa complementaridade mensal entre os regimes de vento e de vazões naturais nas principais bacias hidrográficas brasileiras, isto é, na estação seca há mais vento e em períodos com menos vento há maiores vazões afluentes. Isto torna o aproveitamento combinado hidro-eólico uma opção interessante para o binômio sustentabilidade e expansão energética.

### 3.3 ENERGIA GEOTÉRMICA

A energia geotérmica consiste no aproveitamento da energia térmica armazenada no interior da terra, em rochas ou a partir de água aprisionada no estado líquido ou de vapor, para a produção de eletricidade ou calor. São utilizados poços para a produção de fluidos aquecidos, que movimentam turbinas a vapor para a produção da energia mecânica, a ser convertida em eletricidade por meio de geradores elétricos. Atualmente são utilizadas três tecnologias para a exploração desses recursos (plantas de vapor rápido, plantas de vapor seco e plantas binárias) (UCZAI, 2012, p.75)<sup>22</sup>.

A capacidade instalada mundial para a produção de energia elétrica em usinas geotérmicas atingiu 11 GW ao final de 2010. Os principais países a explorar essa fonte de energia, de acordo com a mensuração em GW, são: Estados Unidos – 3.1; Filipinas – 1.9; Indonésia – 1.2; México – 1; Nova Zelândia – 0.8; Islândia – 0.6; Japão – 0.5. Observe-se que esses locais possuem importante atividade vulcânica<sup>23</sup>.

Em média, os custos de produção de energia elétrica em plantas de vapor rápido a partir de recursos hidrotermais de alta temperatura situam-se entre US\$ 50 e US\$ 80 por MWh. Já em plantas binárias, os custos variam entre US\$ 60 e US\$ 110 por MWh, mas em plantas menores e com recursos geotérmicos que apresentam temperaturas mais baixas, chegam a US\$ 200 por MWh (UCZAI, 2012, p.75).

### 3.4 ENERGIA DAS HIDRELÉTRICAS

A hidroeletricidade é proveniente da energia da água dos rios que flui de elevações mais altas para mais baixas. Nessas usinas, a energia potencial da água é transformada em energia cinética, que é convertida na turbina para energia mecânica, por sua vez transformada

---

<sup>22</sup>Plantas de vapor rápido, que utilizam vapor originado da redução da pressão da água proveniente de reservatórios hidrotermais de alta temperatura. Esse tipo de usina representa dois terços da capacidade hoje instalada em energia geotérmica.

Plantas de vapor seco, quando se dispõe de reservatórios que produzem vapor seco, isto é, sem água líquida, que pode ser enviado diretamente para as turbinas a vapor.

Plantas binárias, que podem utilizar recursos geotérmicos de baixas para médias temperaturas, que vaporizam fluidos de baixo ponto de ebulição por meio de trocadores de calor.

<sup>23</sup>Em termos relativos, a liderança é da Islândia, que produziu, em 2010, 26% de sua eletricidade a partir de energia geotérmica, enquanto nas Filipinas, 18% da eletricidade se originaram dessa mesma fonte.

em energia elétrica no gerador (IPCC, 2011) <sup>24</sup>. O Brasil dispõe do terceiro maior potencial hidrelétrico do mundo, correspondente a cerca de 10% do potencial mundial, atrás apenas da China (13%) e da Rússia (12%), estimado em cerca de 260 GW, dos quais apenas um terço já foi aproveitado. Os empreendimentos hidrelétricos em operação geram mais de 80% da energia elétrica hoje consumida no país (TOLMASQUIM, 2012, p. 144) <sup>25</sup>.

Os três principais tipos de aproveitamento da energia das hidrelétricas são usinas com reservatório de acumulação <sup>26</sup>, usinas a fio d'água <sup>27</sup> e usinas com bombeamento <sup>28</sup>.

A hidroeletricidade é também uma fonte de energia renovável que apresenta grande flexibilidade, podendo operar como usina de base ou para atender o pico da demanda, permitindo ainda o armazenamento de energia. Destaca-se que a capacidade de geração de muitas usinas já existentes poderia ser elevada de 5% a 20% por meio da instalação de novas e mais eficientes turbinas. Semelhantes reformas são a maneira mais rápida, econômica e de menor impacto ambiental para obtenção de capacidade adicional de geração (UCZAI, 2012, p.66).

Estima-se que, em 2010, a capacidade instalada mundial teve um acréscimo de 30 GW, chegando a 1010 GW. Em 2009, a produção de energia hidrelétrica no mundo foi de 3.329 TWh, representando 16,5 % da produção mundial de eletricidade (IEA, 2011a). Estima-se que, em 2010, essa produção de eletricidade tenha aumentado em 5% (UCZAI, 2012, p. 67). Os países que detêm maior capacidade instalada de energia hidrelétrica, em GW, são: China – 213; Brasil - 80,7; Estados Unidos – 78; Canadá – 75,6; Rússia - 55, enquanto aqueles que possuem maior participação, em percentual, dessa fonte nas respectivas matrizes elétricas são: Noruega - 99; Brasil - 83,9; Venezuela - 73,4; Canadá - 59; Suécia - 48,8.

---

<sup>24</sup>O processo de conversão de energia é altamente eficiente nas modernas centrais hidrelétricas. A eficiência é normalmente superior a 90% nas turbinas e mais de 99% nos geradores, levando o fator de conversão total a mais de 90%. É, portanto, a forma mais eficiente de produção de energia elétrica disponível.

<sup>25</sup>Considerando que esta fonte de energia ainda é bastante competitiva com relação às alternativas hoje existentes e dadas suas características de renovabilidade e abundância no país, justifica-se plenamente a continuidade do aproveitamento do potencial hidrelétrico remanescente.

Uma vez construída, uma usina hidrelétrica apresenta longa vida útil, podendo gerar grande quantidade de eletricidade com baixo custo de geração por mais de cem anos.

<sup>26</sup> Neste tipo de usina é construída uma barragem para o represamento da água do curso d'água, criando um reservatório que permite a formação do desnível necessário para o armazenamento da água em volume adequado para a regularização da vazão dos rios, que varia devido a períodos de chuva ou estiagem.

<sup>27</sup> Nas usinas a fio d'água, não são construídos reservatórios de acumulação e a energia gerada depende da vazão do rio. São aproveitamentos que reduzem as áreas de alagamento, mas não permitem que seja estocada água para regularizar a produção de eletricidade.

<sup>28</sup> Já as usinas com bombeamento possuem dois reservatórios, sendo a água bombeada do inferior para o superior em momentos de baixa demanda, utilizando-se a energia da rede elétrica. Nos momentos de maior demanda, essa água é então liberada, gerando energia elétrica.

O investimento inicial necessário para implantação de cada aproveitamento hidrelétrico varia de acordo com as particularidades do local do projeto, mas normalmente é inferior a US\$ 2.000 por kW. O custo da energia gerada, por sua vez, é influenciado por diversos fatores, como investimento inicial, escala do projeto, presença e dimensão do reservatório, custo de capital e fator de capacidade. Todavia, apesar de muito variável, geralmente situa-se na faixa entre US\$ 50 e US\$ 100 por MWh (IEA, 2011), portanto, entre R\$ 316,25 a R\$ 512,50 por MWh, para uma taxa de conversão de R\$ 3,50 por dólar americano (UCZAI, 2012, p.69).

Conforme salientado por Tolmasquim, cerca de 60% do potencial hidrelétrico remanescente situa-se na região Norte, onde se encontra um dos mais ricos ecossistemas, o bioma Amazônia (TOLMASQUIM, 2012, p. 145). O autor também informa que a necessidade de conservação desse patrimônio natural é inquestionável. Vale lembrar que mais da metade desta região é constituída por unidades de conservação e de terras indígenas. A exploração de parte do potencial hidrelétrico da região não é incompatível com a preservação ambiental da Amazônia, mas, ao contrário, a hidrelétrica tem todas as condições de ser um vetor de desenvolvimento sustentável da região.

O desenvolvimento de qualquer potencial hidráulico não apenas deve cuidar para que os impactos ambientais provocados sejam mitigados ou compensados, mas pode também ser um instrumento de recuperação de áreas degradadas e um fator inibidor de processos de desmatamento (TOLMASQUIM, 2012, p. 146)<sup>29</sup>.

Assim, dentro de uma visão mais contemporânea, usinas hidroelétricas são mais que uma fábrica de eletricidade. Constituem, na verdade, vetores do desenvolvimento regional e de preservação ambiental. Além disso, é importante salientar que, no caso do Brasil, a construção das usinas pode ser feita praticamente com 100% de fornecimento e serviços nacionais, o que significa geração de emprego e renda no país (TOLMASQUIM, 2012, p. 146).

### 3.5 ENERGIAS DOS OCEANOS

---

<sup>29</sup>Nesse sentido, enormes progressos têm sido feitos nos últimos tempos, tais como: a) preservação de áreas no entorno de reservatórios e recuperação de matas ciliares. Áreas no entorno de reservatórios já instalados no país estão hoje entre as mais bem conservadas, inclusive com relação à biodiversidade; b) programas de salvamento da flora e da fauna e também de sítios arqueológicos. Eles têm sido, muitas vezes, a garantia de conservação de elementos chave do bioma atingido; c) no aspecto socioeconômico, é emblemático o efeito de projetos mais recentes, em torno dos quais núcleos urbanos chegam a apresentar índices de desenvolvimento humano superiores aos da região na qual se inserem.

A energia dos oceanos apresenta menor grau de maturidade, com limitada aplicação comercial, mas com uma ampla gama de dispositivos ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento (REN21, 2011). Para o aproveitamento dos recursos energéticos dos oceanos, cinco alternativas tecnológicas são consideradas (energia das marés, energia das correntes de maré e marinhas, energia das ondas, energia de gradientes de temperatura e energia de gradientes de salinidade) (UCZAI, 2012, p.75)<sup>30</sup>.

Até o final de 2010, apenas os sistemas de energia das marés com o uso de barragens atingiram escala comercial. A capacidade instalada mundial é de apenas 0,3 GW, decorrente, principalmente, da usina de La Rance, na França, que utiliza uma barragem para aproveitar a energia de maré e possui 240 MW de capacidade instalada, tendo sido inaugurada em 1966.

O custo da energia proveniente da exploração da diferença de nível das marés é estimado entre US\$ 180 e US\$ 240 por MWh, a uma taxa de juros de 7% ao ano (UCZAI, 2012, p.76)

### 3.6 ENERGIA SOLAR

As primeiras usinas de concentração solar comerciais iniciaram a operação na Califórnia, no período de 1984 a 1991, devido a incentivos estaduais e federais quando se chegou a uma capacidade instalada de cerca de 350 MW (megawatts). Com a queda dos preços dos combustíveis fósseis houve um decréscimo nos incentivos as usinas solares termoelétricas, no âmbito estadual e federal, culminando com a desativação das mesmas (UCZAI, 2012, p.59).

Em 2006, as atividades referentes a essa fonte ressurgiram nos Estados Unidos, com a implantação de uma planta de calhas parabólicas de 64 MW, resultante de políticas de cotas, que obrigam as distribuidoras a obter parte da energia de que necessitam a partir de fontes

---

<sup>30</sup>Energia das marés, extraída a partir da construção de barragens em locais que apresentam grandes diferenças de nível entre a alta e a baixa maré.

Energia das correntes de maré e marinhas, derivada da energia cinética associada às correntes das marés e correntes marinhas, aproveitada por meio da instalação de turbinas que aproveitam o fluxo da água, sem a necessidade de construção de barragens.

Energia das ondas, que aproveita a energia cinética ou potencial associada às ondas do mar para a produção de energia elétrica, por meio de grande variedade de dispositivos em desenvolvimento.

Energia de gradientes de temperatura, obtida a partir da utilização da diferença de temperatura entre a superfície e o fundo dos oceanos, por meio de diferentes processos de conversão de energia térmica dos oceanos.

Energia de gradientes de salinidade, que aproveita a diferença de salinidade entre a água do mar e a água doce dos rios em estuários, explorando a diferença de potencial químico ou a diferença de pressão osmótica entre as duas soluções.

renováveis. Na Espanha, até 2010, foram instalados projetos de concentração que somaram cerca de 350 MW de capacidade instalada, como resultado da adoção de tarifas *feed-in* para essa fonte. Assim, a capacidade instalada total no mundo, ao final de 2010, atingiu aproximadamente 764 MW. Todavia, novos projetos estão sendo planejados e construídos em diversos países, incluindo Argélia, Egito, Marrocos, Austrália, China, Índia, Israel, Jordânia, México, África do Sul e Emirados Árabes. Se todos os projetos forem concluídos, a capacidade global da fonte solar termoeletrica poderá superar 7,4 GW (gigawatts) em 2016, com a liderança da Espanha, seguida dos Estados Unidos. A maioria desses projetos utiliza a tecnologia de calhas parabólicas<sup>31</sup>.

A energia solar pode ser produzida de três formas distintas, isto levando em considerando o meio tecnológico a ser aplicado: a fotovoltaica, a termossolar e a solar termoeletrica.

---

<sup>31</sup> A energia solar possui as seguintes vantagens: a) não polui durante seu uso; b) a poluição decorrente da fabricação dos equipamentos necessários para a construção dos coletores solares e módulos fotovoltaicos é totalmente controlável utilizando as formas de controles existentes atualmente; c) as centrais de geração, especialmente as fotovoltaicas, necessitam de pouca manutenção; d) os módulos fotovoltaicos são a cada dia mais potentes, ao mesmo tempo em que o custo dos mesmos vem decaindo. Isto torna cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável; e) a energia solar é excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão; f) em países tropicais, como o Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território e em locais longe dos centros de produção energética, e sua utilização ajuda a diminuir a demanda energética nesses locais e, conseqüentemente, a perda de energia que ocorreria na transmissão; g) a energia solar é um recurso importante e economicamente competitivo quando dirigida para determinados nichos como aquecimento de água para residências, eletrificação rural, bombeamento de água, cercas elétricas, telecomunicações, ou utilização geral em localidades isoladas e de acesso difícil ou restrito.

Em contrapartida suas desvantagens são: a) existe variação nas quantidades produzidas de acordo com as condições climáticas (nuvens, chuvas, neve, etc.), além de durante a noite não existir produção alguma, o que obriga a que existam meios de armazenamento da energia produzida durante o dia em locais onde o sistema de geração não esteja interligado à rede elétrica; b) locais em latitudes médias e altas sofrem quedas bruscas de produção durante os meses de inverno, devido à menor disponibilidade diária de energia solar; c) locais com frequente cobertura de nuvens tendem a ter variações diárias de produção de acordo com o grau de nebulosidade; d) as formas de armazenamento da energia solar são pouco eficientes quando comparadas, por exemplo, aos combustíveis fósseis, a energia hidráulica e a biomassa; e) apesar de ser hoje uma tecnologia madura, seu custo ainda é a maior desvantagem, se comparado ao de outras formas de energia usadas para iluminação e acionamento de máquinas, por exemplo.

### 3.6.1 A energia fotovoltaica

Os sistemas fotovoltaicos transformam, diretamente, a energia solar em energia elétrica (EBAH, 2016; UCZAI, 2012, p. 46)<sup>32</sup>. Eles apresentam a vantagem de utilizarem, além de a luz solar direta, também a componente difusa, para a produção de eletricidade, permitindo seu funcionamento em dias em que o céu não está completamente limpo (UCZAI, 2012, p. 46).

A energia fotovoltaica foi a fonte que apresentou maior crescimento no mundo entre os anos de 2000 a 2010, a uma taxa média de cerca de 39% ao ano, em evolução praticamente exponencial. A capacidade instalada atingiu cerca de 40 GW (gigawatts) no final de 2010, contra 1,5 GW em 2000. Entre os anos de 2005 e 2010, o crescimento foi ainda mais expressivo, alcançando uma taxa média de 49% (EPIA, 2011)<sup>33</sup>.

Observa-se que 72% da capacidade instalada se encontram em países da Europa e no Japão, que dispõem de menor insolação que os países tropicais, como o Brasil. Essa realidade demonstra que a formatação da política para o setor é mais importante que os próprios

---

<sup>32</sup>O aproveitamento da energia solar para produção direta de eletricidade teve início há pouco mais de 160 anos quando, em 1839, o cientista francês Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico ao observar, em um experimento com uma célula eletrolítica (dois eletrodos metálicos dispostos em uma solução condutora), que a geração de eletricidade aumentava quando a célula era exposta à luz. A partir daí, foram estudados os comportamentos de diversos materiais expostos à luz até que, no ano de 1954, Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson desenvolverem a primeira célula fotovoltaica (FV) de silício, com eficiência de 6%, capaz de converter energia solar em eletricidade suficiente para alimentar equipamentos elétricos. No ano de 1958, iniciou-se a utilização de células FV em aplicações espaciais, e até hoje essa fonte é reconhecida como a mais adequada para essas aplicações.

Desde então, a evolução do mercado FV vem sendo bastante intensa, tornando comuns aplicações em sistemas domésticos, sinalização marítima, eletrificação de cercas e outros. Em 2004 foi finalizado o projeto do maior sistema FV do mundo, o parque solar da Bavária, Alemanha, de 10 MWP de potência instalada. Com relação ao mercado de fabricação de células solares, também é verificado um contínuo crescimento, com a empresa Sharp sendo a líder mundial.

O dispositivo responsável pela conversão da luz incidente em eletricidade é denominado de célula fotovoltaica. Os materiais empregados na sua construção são elementos semicondutores, sendo, em escala comercial, a maioria fabricada de silício, devido a três fatores principais: o silício não é tóxico, é o segundo elemento mais abundante na natureza (o primeiro é o oxigênio), e possui uma tecnologia consolidada devido à sua utilização predominante no ramo da microeletrônica.

A célula fotovoltaica é o componente básico do sistema, sendo constituída de material semicondutor que converte a energia solar em eletricidade em corrente contínua. As células fotovoltaicas são interconectadas para formar um módulo, ou painel fotovoltaico, cuja capacidade típica situa-se entre 50 e 200 W (watts).

Esses painéis são então combinados com outros componentes, como inversores e baterias<sup>1</sup>, de acordo com a aplicação desejada. São extremamente modulares, podendo formar sistemas de alguns watts até dezenas de megawatts (MW).

Os módulos fotovoltaicos utilizam, basicamente, duas tecnologias: silício cristalino e filmes finos.

<sup>33</sup>O mercado mundial de energia solar fotovoltaica continua mantendo um elevado crescimento anual: expandiu 42% de 2003 a 2004, atingindo 2,6 GW, dos quais 2,1 GW correspondem a aplicações conectadas à rede. Apenas ao longo da última década, o mercado duplicou quatro vezes. Da capacidade instalada em 2004 (770 MW), 94% foram instaladas somente no Japão, Alemanha e Estados Unidos.

recursos energéticos (UCZAI, 2012, p. 48)<sup>34</sup>. Em nosso país o mercado ainda encontra-se de forma pífia, concentrado em programas governamentais, exemplo do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM)<sup>35</sup> e os projetos de eletrificação de comunidades isoladas (ANEEL, 2011).

Esses projetos atuam basicamente com quatro tipos de sistemas: a) bombeamento de água, para abastecimento doméstico; b) irrigação e piscicultura; c) iluminação pública; d) sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários; e) atendimento domiciliar (GUERRA; YOUSSEF, 2011, p. 24). Também existem os sistemas híbridos, composto por painéis fotovoltaicos e grupos geradores a diesel, sendo que o maior está localizado no município de Nova Mamoré, em Rondônia.

### 3.6.2 A energia termossolar

Em um sistema de aquecimento solar, o coletor transforma a radiação solar em calor e, por meio de um fluido, como a água, o transfere para armazenamento em reservatório termicamente isolado, para posterior utilização. As principais tecnologias utilizadas para aquecimento de água são os coletores planos, envidraçados ou não envidraçados, e os coletores de tubos a vácuo.

---

<sup>34</sup>Os preços dos módulos fotovoltaicos têm apresentado uma tendência de queda expressiva. O preço médio no mundo caiu de US\$ 22 por watt (W) em 1980 para menos de US\$ 1,5 por watt em 2010, a preços de 2005. Nos últimos vinte anos, os preços dos módulos fotovoltaicos apresentaram uma redução média de 20% cada vez que dobrou a capacidade acumulada dos módulos vendidos. Em consequência, os preços dos sistemas fotovoltaicos declinaram em 50% nos últimos cinco anos na Europa e é esperada uma redução nos próximos dez anos de 36% a 51%.

Portanto, considerando uma taxa de conversão de R\$ 1,75 por dólar americano, a energia elétrica de origem fotovoltaica, produzida a partir de módulos montados em telhados, pode apresentar custos que se situam entre R\$ 241,50 a R\$ 1.204,00 por megawatt-hora. Portanto, o preço da energia em locais que apresentam condições propícias, como elevada incidência de radiação solar, já apresentam custos competitivos com os preços cobrados pelas distribuidoras pela energia elétrica, uma vez que são comuns tarifas aplicadas a consumidores residenciais superiores a US\$ 200 por megawatt-hora (MWh), ou seja, R\$ 350 por megawatt-hora, à mesma taxa cambial.

<sup>35</sup>Uma significativa parcela dos sistemas fotovoltaicos existentes no país foi instalada no âmbito do PRODEEM, instituído pelo Governo Federal em dezembro de 1994, sob os auspícios 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.

Esses projetos incluem bombeamento de água, iluminação pública e sistemas energéticos coletivos.

A grande maioria desses sistemas localiza-se nas regiões Norte e Nordeste do país. 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).

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 principal aplicação dos coletores solares é para o aquecimento de água em habitações individuais. Todavia, em alguns países da Europa e na Índia, outras aplicações apresentam participação notável, como grandes sistemas em edificações residenciais coletivas, assim como sistemas combinados de aquecimento de água e calefação (UCZAI, 2012, p.56 *apud* WEISS; MAUTHNER, 2011).

O custo da energia solar térmica para aquecimento de água é competitiva até mesmo com as fontes de geração de grande porte. Todavia, a situação dessa energia solar em relação à energia elétrica é ainda mais favorável, pois seu custo compete com o valor das tarifas referentes aos consumidores finais, que incluem, além do custo de geração, os de transmissão e de distribuição (UCZAI, 2012, p.56; IPCC, 2011)<sup>36</sup>.

No Brasil 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 (GUERRA; YUSSEF, 2011, p.27; ABRAVA, 2001; WEISS; MAUTHNER, 2011)<sup>37</sup>.

### 3.6.3A energia solar termoelétrica

---

<sup>36</sup>Na China, maior mercado dos sistemas de aquecimento solar de água, o custo dos investimentos iniciais varia de US\$ 120 a US\$ 540 por quilowatt térmico instalado. Para o topo da faixa, considerando um fator de capacidade de 10%, um custo anual de operação e manutenção de US\$ 5 por kW, prazo de amortização de 15 anos e uma taxa de juros de 7% ao ano, chega-se a um custo de US\$ 73 por megawatt-hora térmico. Esse valor corresponde a R\$ 128 por MWh, a uma taxa de conversão de R\$ 1,75 por dólar americano.

Na Europa, por sua vez, os sistemas solares de aquecimento de água apresentam custos entre € 50 e € 160 por megawatt-hora de calor, o que corresponderia a R\$ 115 a R\$ 345 por MWh, considerando uma taxa de conversão de R\$ 2,30 por euro.

<sup>37</sup>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 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-MG. Outro elemento propulsor dessa tecnologia é a Lei nº 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.

A utilização da energia solar para o aquecimento de água, especialmente para o consumo residencial tem grande potencial no Brasil, pois o país é privilegiado por receber altos níveis de radiação solar. Além disso, o custo do MWh (megawatt-hora) térmico é menor que as tarifas residenciais em vigor no Brasil.

Na China o custo está no máximo na faixa de R\$ 130 por MWh. Já na Europa, onde, em relação ao Brasil, é necessária maior área de equipamentos instalados para produzir uma determinada quantidade de energia, o custo estimado varia de R\$ 115 a R\$ 345 por MWh.

Entretanto, apesar da grande vantagem comparativa, a área instalada de aquecedores solares no Brasil, em 2009, de 5,3 milhões de metros quadrados, é 27 vezes menor que a chinesa, quase quatro vezes menor que a norte-americana, e menos da metade do total instalado na Alemanha ou na Turquia.

As usinas solares termoeletricas concentram a radiação solar diretamente para aquecimento de um receptor, que, por sua vez, aquece um fluido. O calor absorvido pelo fluido é então transformado em energia mecânica por meio de turbinas a vapor, por exemplo, e então convertido em energia elétrica. Trata-se, portanto, de processo semelhante ao utilizado para a produção de energia termelétrica convencional, como a obtida a partir de gás natural, carvão ou energia nuclear. A diferença principal é a forma de obtenção do calor que aquecerá o fluido de trabalho (UCZAI, 2012, p.56-58; IPCC, 2011)<sup>38</sup>.

Como somente a radiação solar direta pode ser concentrada, as plantas de concentração precisam ser instaladas em locais de grande insolação, como regiões áridas e semiáridas. Assim, os sistemas de concentração solar necessitam de sistemas de transmissão para transportar a energia elétrica dos locais de produção até os centros de consumo<sup>39</sup>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há 150 anos o homem vivia em harmonia com o meio ambiente, mas com o advento da Revolução Industrial este elo foi partido. No século XX, com a ECO 92 se inicia a

---

<sup>38</sup>As usinas solares termoeletricas utilizam, basicamente, quatro tecnologias: sistemas de calhas parabólicas, sistemas de refletores Fresnel lineares, torres solares e discos parabólicos.

Sistemas de calhas parabólicas consistem em fileiras de espelhos refletores, curvados em uma dimensão, que focalizam os raios solares sobre tubos absorvedores de calor isolados a vácuo do meio externo por intermédio de tubos de vidro. No interior dos tubos absorvedores, circula o fluido que transferirá o calor captado para o sistema composto de turbina a vapor e gerador elétrico.

Sistemas de refletores Fresnel lineares são constituídos por longas fileiras de espelhos planos, ou quase planos, que refletem a radiação solar sobre um único receptor horizontal fixo, alinhado com as fileiras de espelhos. Esse sistema tem a vantagem de apresentar menor custo por área, sendo, porém, menos eficiente que o sistema de calhas parabólicas.

Os sistemas de torres solares, ou sistemas de receptores centrais, utilizam centenas, ou milhares de espelhos planos para concentrar os raios do sol sobre um receptor central situado no topo de uma torre.

Alguns sistemas comerciais utilizam sal derretido como fluido que fará a transferência de calor, podendo realizar também o armazenamento dessa energia, de modo que a central possa operar em horários em que não ocorra a incidência de radiação solar.

Já o disco parabólico concentra os raios de sol no ponto focal situado acima de seu centro. Todo o sistema acompanha o Sol, movendo-se em dois eixos. A maioria dos discos possui um conjunto individual motor-gerador no ponto focal, que utiliza, por exemplo, motores Stirling ou microturbinas.

Os discos parabólicos oferecem o melhor desempenho na conversão de energia solar para elétrica entre todos os sistemas de concentração. A capacidade típica dos sistemas que utilizam motores Stirling situa-se entre 10 kW e 25 kW de energia elétrica.

As plantas solares termoeletricas podem ser também equipadas com sistema de produção de energia a partir de combustíveis, como gás natural, por exemplo, compartilhando um único conjunto turbina-gerador. Nessa configuração híbrida, podem se comportar como usinas de base.

<sup>39</sup> Necessitando aqui de uma infraestrutura para que ocorra a transmissão, onde a construção de um sistema deve estar coligada a rede de transmissão, inibindo a perda de investimento, visto que um depende do outro para atingir o objetivo final.

soldagem desse elo, fase a ser completada ainda com a adequação do homem ao meio ambiente.

Conforme assinalado na Introdução, a cidade de Masdar serve como paradigma para a visão atual da sociedade mundial, preocupada com a dignidade da pessoa humana, no sentido de deixar um legado para as gerações futuras, fornecendo um meio ambiente mais favorável à vida humana. Durante a elaboração deste artigo, buscou-se referenciar, mediante dados e fatos, as iniciativas que demonstram a preocupação mundial com o bem-estar do ser humano em nosso planeta, uma vez que já existe consciência plena de que o ambiente poluído concorre para afetar a saúde do homem, violando o direito de uma vida digna, assegurado a toda pessoa.

Para concorrer para o saneamento do meio ambiente se faz necessária uma política governamental firme e direcionada pela pesquisa e financiamento de fontes de energia limpas e renováveis, visando à garantia do suprimento da energia necessária ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar da sociedade. No decorrer dos anos, está comprovado que o próprio homem é o maior causador da mudança climática e, portanto, terá de ser por meio de suas ações que se vai resolver a questão ambiental.

Verifica-se que o comprometimento dos governos em outros países, como exemplo, a Alemanha no desenvolvimento da energia eólica, são muito mais proativos do que os governantes do Brasil, onde as políticas públicas para o financiamento de novas tecnologias se apresentam de forma vagarosa e inconstante, prejudicando o grande potencial oferecido pelo ecossistema. Tal desperdício se constata com inegável clarividência no Nordeste, onde o calor constante e o vento possibilitam a captação da energia eólica e a solar, carecendo somente de investimento e de recursos tecnológicos suficientes para um aproveitamento exponencial.

A esperança é que persista a conscientização das gerações futuras sobre a conservação e melhoria do meio ambiente, fortalecendo-se como um dos fatores primordiais que, conjugada a políticas governamentais permanentes alinhadas a este pensamento, proporcione chegarmos a um ambiente sadio para o ser humano usufruir plenamente uma vida em perfeita comunhão com o planeta.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANEEL. Disponível em: <[http://www.ANEEL.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www.ANEEL.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 4 abr. 2016.

BOBBIO, Norberto. **A era dos direitos**. Tradução: Carlos Nelson Coutinho. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

BRYCE, Robert. O rastro sujo da energia limpa. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/problemas-energias-limpas-eolica-solar-636269.shtml>>. Acesso em: 3 abr. 2016.

DHNET. **Declaração Universal dos Direitos Humanos**. Disponível em: <<http://www.dhnet.org.br/direitos/deconu/textos/integra.htm>>. Acesso em: 5 maio 2016.

EBAH. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAsG8AL/energia-renovaveis>>. Acesso em: 7 maio 2016.

EPIA. EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION [EPIA]. Market Report 2011. Disponível em: <<http://www.epia.org>>. Acesso em: 8 maio 2016.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). Global Wind Statistics 2011. Disponível em: <[http://www.gwec.net/fileadmin/images/News/Press/GWEC\\_-\\_Global\\_Wind\\_Statistics\\_2011.pdf](http://www.gwec.net/fileadmin/images/News/Press/GWEC_-_Global_Wind_Statistics_2011.pdf)>. Acesso em: 8 maio 2016.

GUERRA; Danielle R. S.; NOGUEIRA, Manoel Fernandes Martins. Caracterização da geração de energia elétrica na Amazônia. *In*: RENDEIRO, Gonçalo et al. (Coords.). **Combustão e gaseificação de biomassa sólida**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008, p. 19.

GUERRA, José Baltazar Salgueirinho Osório de Andrade; YOUSSEF, Ahmad Youssef (Orgs.). **As energias renováveis no Brasil: entre o mercado e a universidade**. Palhoça: EdUnisul, 2011.

IPCC. Special report on renewable energy sources and climate change mitigation, 2011. Disponível em: <<http://www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports>>. Acesso em: 3 abr. 2016.

MELLO, Celso Duvivier de Albuquerque. **Direitos humanos e conflitos armados**. Rio de Janeiro: Renovar, 1997.

SARLET, Ingo Wolfgang. **A eficácia dos direitos fundamentais**. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2004.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. A política energética atual e as fontes renováveis de energia, *In*: UCZAI, Pedro (Rel.). **Cadernos de Altos Estudos da Câmara dos Deputados: energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. Brasília, n. 10, p. 147, 2012.

UCZAI, Pedro (Rel.). **Cadernos de Altos Estudos da Câmara dos Deputados: energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade**. Brasília, n. 10, p. 147, 2012.