

## **Introdução**

Em primeiro lugar, a boa notícia. A energia renovável, combinada ao uso racional e eficiente de energia, será capaz suprir metade da demanda energética global até 2050. O presente relatório, “Revolução Energética – Um Caminho Sustentável para um Futuro de Energia Limpa”, conclui que a redução das emissões globais de CO<sub>2</sub> em até 50% nos próximos 43 anos é economicamente viável, e que a adoção maciça de fontes de energia renovável também é tecnicamente possível – falta apenas o apoio político para que isso ocorra.

A má notícia é que o tempo está se esgotando. Hoje já existe um esmagador consenso científico de que as mudanças climáticas são uma realidade e sua principal causa são as atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis. Somam-se a isso evidências científicas sólidas de que, se nada for feito, as conseqüências serão catastróficas, como assegura o Painel Intergovernamental Sobre Mudança Climática (IPCC), instituição da ONU que reúne mais de mil cientistas e fornece subsídios para a elaboração de políticas públicas. É pouco provável que o novo relatório do IPCC, que deverá ser lançado neste ano, apresente um cenário mais otimista.

Em resposta à ameaça do aquecimento global, o Protocolo de Kyoto determinou que os países industrializados signatários reduzissem em 5,2% suas emissões de carbono em relação aos níveis de 1990 no período de 2008 a 2012. O acordo gerou a adoção de uma série de metas de redução regionais e nacionais. A União Européia, por exemplo, assumiu o compromisso de uma redução de 8%. Para atingir este objetivo, a UE concordou também em aumentar a participação de energias renováveis em sua matriz energética de 6% para 12% até 2010.

Os signatários de Kyoto negociam atualmente a segunda fase do acordo, que abrange o período de 2013 a 2017, no qual os países industrializados deverão reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> em 18% em relação aos níveis de 1990; no período entre 2018 e 2022, a redução deve aumentar para 30%. Apenas com esses cortes teremos chance de manter o aumento médio da temperatura global abaixo do limite de 2°C. Caso o aumento da temperatura ultrapasse os 2°C, os impactos da mudança do clima serão incontroláveis.

Além do aquecimento global, outros desafios se tornaram prementes. A demanda mundial de energia cresce a um ritmo alarmante. A dependência das importações de energia de alguns poucos países, em sua maioria politicamente instáveis, aliada à volatilidade dos preços do petróleo e do gás, ameaça minar a economia mundial, tornando a questão da segurança energética um item prioritário na agenda política global. Se, por um lado, há um forte entendimento de que é preciso mudar a maneira como hoje produzimos e consumimos energia, por outro, ainda há muita divergência sobre como isso deve ser feito.

## **Cenário Energético Global**

O Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC, na sigla em inglês) e o Greenpeace Internacional produziram este Cenário Energético Global como um plano de ação para atingir as metas de redução de emissões de CO<sub>2</sub> e assegurar o suprimento de energia necessário para garantir um desenvolvimento econômico mundial sustentável. Ambos os objetivos podem ser alcançados. Devido à necessidade urgente de mudanças no setor energético, a elaboração deste cenário tomou por base apenas tecnologias testadas e sustentáveis, tais como fontes renováveis de energia e a co-geração descentralizada eficiente. Isso exclui, por exemplo, “usinas a carvão livres de CO<sub>2</sub>” e energia nuclear.

Encomendado pelo Greenpeace e pelo EREC ao Departamento de Análises de Sistemas e Avaliação de Tecnologia (Instituto de Termodinâmica Técnica) do Centro Aeroespacial Alemão (DLR), este relatório propõe um caminho a ser seguido para a adoção global de uma matriz energética sustentável até 2050. O potencial das fontes de energias renováveis foi avaliado com base em informações fornecidas por todos os setores da indústria de energia ao redor do mundo e forma a base do Cenário de Revolução Energética.

Os cenários de oferta de energia adotados neste relatório, que incluem projeções da Agência Internacional de Energia (AIE) e vão além, foram calculados usando o modelo de simulação MESAP/PlaNet.

Posteriormente, a consultoria Ecofys desenvolveu ainda mais a metodologia para que os cenários abrangessem também o potencial futuro das medidas de eficiência energética. O estudo Ecofys prevê um ambicioso caminho de desenvolvimento global para a exploração do potencial de eficiência energética, focado nas melhores práticas atuais assim como nas tecnologias que estarão disponíveis no futuro. O resultado obtido mostra que, sob o Cenário de Revolução Energética, a demanda mundial de energia pode ser reduzida em até 47% em 2050.

### **O potencial para a energia renovável**

Este relatório demonstra que a energia renovável não é um sonho para o futuro – é real, madura e pode ser aplicada em larga escala. Décadas de progresso tecnológico demonstram que as tecnologias de energia renovável, como as turbinas de vento, os painéis solares fotovoltaicos, as usinas de biomassa e os coletores solares térmicos progrediram constantemente para se transformarem na principal tendência do mercado energético hoje. O mercado global de energia renovável vem crescendo substancialmente; em 2006, suas vendas movimentaram US\$ 38 bilhões, 26% a mais que no ano anterior.

No entanto, o tempo hábil que temos para a transição do uso de combustíveis fósseis para as energias renováveis é relativamente curto. Na próxima década, a maioria das usinas de energia existentes nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) chegarão ao fim de suas vidas úteis e terão que ser substituídas. A decisão de construir uma usina a carvão hoje resultará em mais emissões de CO<sub>2</sub> até 2050. Assim, quaisquer que sejam os planos de geração de energia para os próximos anos, estes definirão o suprimento de energia para as próximas gerações. Temos convicção de que esta deve ser a “geração solar”.

Enquanto o mundo industrializado precisa urgentemente repensar sua estratégia energética, o mundo em desenvolvimento deve aprender com os erros passados e construir suas economias, desde o começo, sobre as bases sólidas de um fornecimento de energia sustentável. Uma nova infra-estrutura deve ser construída para possibilitar que isso aconteça.

As energias renováveis poderiam suprir 35% das necessidades mundiais de energia até 2030, considerando a vontade política de promover sua aplicação em larga escala, em todos os setores e de forma global, unida a medidas de eficiência energética de longo alcance. Este relatório ressalta que o futuro do desenvolvimento das energias renováveis dependerá fortemente de escolhas políticas feitas hoje por governos nacionais e pela comunidade internacional.

Ao optar por energias renováveis e eficiência energética, países em desenvolvimento podem virtualmente estabilizar suas emissões de CO<sub>2</sub>, e, ao mesmo tempo, aumentar o consumo de energia através do crescimento econômico. Os países da OECD terão que reduzir suas emissões em até 80%.

Porém, vale ressaltar que isso não significa que teremos que passar a viver sem luz ou eletricidade. Padrões técnicos rígidos assegurarão que apenas geladeiras, sistemas de aquecimento, computadores e veículos mais eficientes serão vendidos. Os consumidores têm o direito de comprar produtos que não aumentem suas contas de luz e que não destruam o meio ambiente.

### **Do sonho à realidade**

O presente estudo, baseado nas projeções do Panorama Energético Mundial, feito pela Agência Internacional de Energia, mostra que um cenário referencial sem mudanças, ou “business as usual”, não é uma opção plausível para as futuras gerações. As emissões de CO<sub>2</sub> quase dobrariam até 2050 e a temperatura média global teria um aumento bem maior do que o limite considerado ‘aceitável’ de 2°C, o que acarretaria consequências catastróficas para o meio ambiente, a economia e a humanidade.

Nós, portanto, apelamos para os governos de todo o mundo para tomarem este sonho uma realidade. As opções políticas dos próximos anos determinarão as condições ambientais e econômicas de várias décadas futuras. O planeta não suportará a continuidade do atual padrão de desenvolvimento energético,

fundamentado no uso de combustíveis fósseis, na energia nuclear e em outras tecnologias obsoletas. A energia renovável pode e deve desempenhar um papel central no cenário energético do futuro.

Por um meio ambiente saudável, estabilidade política e economias prósperas, este é o momento de empenhar-se por um futuro energético verdadeiramente seguro e sustentável – um futuro construído com tecnologias limpas, desenvolvimento econômico e a criação de milhões de novos empregos.

Arthouros Zervos  
Conselho Europeu de Energia Renovável

Sven Teske  
Greenpeace Internacional

## **Sumário Executivo**

### **Ameaças Climáticas e Soluções**

A mudança climática global, conseqüência do incessante aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera do planeta, já está alterando ecossistemas e causando cerca de 150 mil mortes por ano. Um aquecimento global médio de 2°C ameaça milhões de pessoas com o aumento da fome, malária, inundações e escassez de água. O principal gás responsável pelo efeito estufa é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), produzido pela queima de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade e transporte. Para que a elevação da temperatura seja mantida dentro de limites aceitáveis, é necessário reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa. Isto faz sentido tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Impulsionada pelos recentes aumentos excessivos do preço do petróleo, a questão da segurança do fornecimento de energia foi alçada à prioridade da agenda política internacional. Uma das razões para esses aumentos de preço é o esgotamento progressivo dos suprimentos de todos os combustíveis fósseis – petróleo, gás e carvão – e a conseqüente elevação dos custos de produção. Os tempos de “petróleo e gás baratos” estão chegando ao fim. Urânio, o combustível das usinas nucleares, também é um recurso finito. As reservas de energias renováveis, por sua vez, são tecnicamente acessíveis a todos e abundantes o suficiente para fornecer cerca de seis vezes mais energia do que a quantidade consumida mundialmente hoje – e para sempre.

Tecnologias de energias renováveis variam imensamente entre si em termos de desenvolvimento técnico e competitividade econômica, mas há uma gama de opções cada vez mais atrativas. As fontes de energia renovável incluem vento, biomassa, fotovoltaico, solar térmica, geotérmica, oceânica e hidrelétrica. Todas, no entanto, apresentam duas características em comum: produzem pouco ou nenhum gás de efeito estufa e contam com fontes naturais virtualmente inesgotáveis. Algumas destas tecnologias já são competitivas e podem ficar ainda mais com investimentos em pesquisa e desenvolvimento, aumentos contínuos do preço dos combustíveis fósseis e a possibilidade de terem valor comercial no mercado de créditos de carbono.

Paralelamente, há um enorme potencial para a redução de nosso consumo de energia, sem implicar, necessariamente, uma redução na oferta de “serviços” de energia. Este estudo detalha uma série de medidas de eficiência energética que, juntas, podem reduzir substancialmente a demanda de energia nas indústrias, casas e empresas de serviços.

Apesar de a energia nuclear produzir pouco dióxido de carbono, sua utilização acarreta múltiplas ameaças às pessoas e ao meio ambiente. Dentre elas, incluem-se os impactos ambientais da mineração, processamento e transporte de urânio, o risco da proliferação de armas nucleares, o insolúvel problema do lixo nuclear e a ameaça constante de acidentes graves. A opção nuclear, portanto, não foi considerada nesta análise. A solução para nossas necessidades futuras de energia encontra-se, ao contrário, no maior uso das fontes de energias renováveis, tanto para aquecimento quanto para geração de energia elétrica.

### **A Revolução Energética**

O imperativo da mudança climática exige nada menos do que uma Revolução Energética. No cerne desta revolução, está uma mudança no modo como usamos, distribuímos e consumimos energia. Os cinco princípios-chave para essa mudança são:

1. Implementar soluções renováveis, especialmente através de sistemas de energia descentralizados
2. Respeitar os limites naturais do meio ambiente
3. Eliminar gradualmente fontes de energia sujas e não sustentáveis
4. Promover a Equidade na utilização dos recursos
5. Desvincular o crescimento econômico do consumo de combustíveis fósseis

Sistemas descentralizados de energia, nos quais energia ou calor são produzidos próximos ao destino final de uso, evitam o atual desperdício de energia durante a conversão e distribuição. A descentralização é essencial para empreender a Revolução Energética, bem como para garantir o fornecimento de energia para os dois bilhões de pessoas no mundo todo que hoje vivem sem acesso à energia elétrica.

Dois cenários para o ano de 2050 foram elaborados neste relatório. O Cenário Referência tem por base um cenário de “business as usual” publicado pela Agência Internacional de Energia (AIE) no relatório Panorama Energético Mundial 2004 (WEO 2004), projetado a partir do período de 2030. O novo Panorama Energético Mundial 2006 da AIE considera uma taxa média de crescimento anual do Produto Interno Bruto (PIB) para o período entre 2004-2030 de 3,4%, levemente maior que a taxa de 3,2% considerada no relatório de 2004. O relatório de 2006 também prevê um consumo final de energia, em 2030, 4% maior que o WEO 2004. Uma análise do impacto do crescimento econômico na demanda de energia sob o Cenário de Revolução Energética mostra que um aumento médio anual do PIB mundial de 0,1% (sobre o período de 2003-2050) leva a um aumento na demanda energética final de cerca de 0,2%.

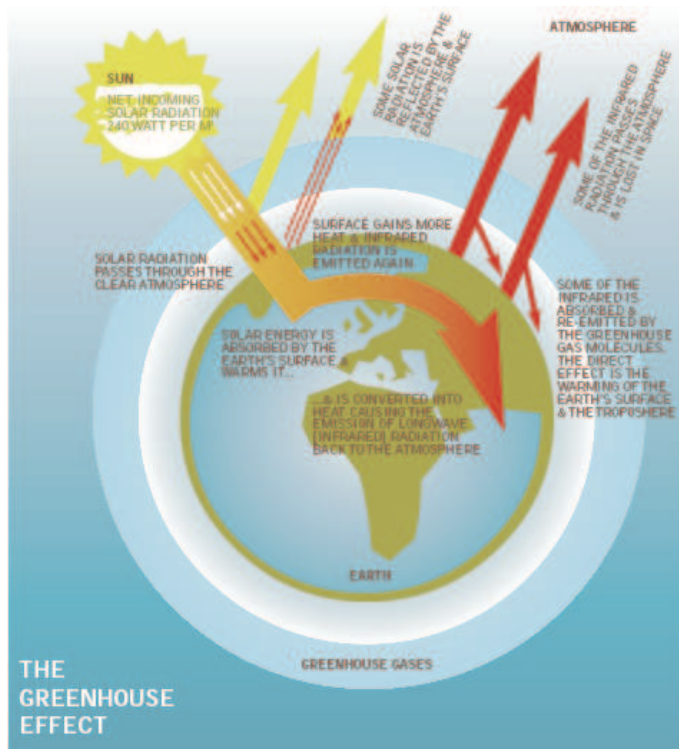
O Cenário de Revolução Energética tem, como meta para 2050, a redução das emissões mundiais de CO<sub>2</sub> em 50% em relação aos níveis de 1990, o que significa a redução para menos de 1.3 toneladas por ano das emissões per capita de dióxido de carbono, a fim de manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C. Um segundo objetivo é mostrar que essa meta pode ser alcançada mesmo com a eliminação gradual de energia nuclear. Para alcançar esses objetivos, o cenário é caracterizado por esforços significativos na exploração do vasto potencial de eficiência energética. São também exploradas todas as possibilidades rentáveis de energias renováveis para a geração de calor e de eletricidade, assim como a produção de biocombustíveis.

## **1. Proteção do Clima**

### **O Efeito Estufa e as Mudanças Climáticas**

O efeito estufa é o processo pelo qual a atmosfera retém parte da energia irradiada pelo Sol e a transforma em calor, aquecendo a Terra e impedindo uma oscilação muito grande das temperaturas. Um aumento dos “gases de efeito estufa”, provocado pela atividade humana, está acentuando este efeito artificialmente, elevando a temperatura global e alterando o clima do planeta. Entre os gases de efeito estufa, estão o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) - produzido pela queima de combustíveis fósseis e pelo desmatamento, o metano - liberado por práticas agrícolas, animais e aterros de lixo, e o óxido nítrico - resultante da produção agrícola e de uma série de substâncias químicas industriais.

Figura 2:



O EFEITO ESTUFA

SOL

RADIAÇÃO SOLAR BRUTA QUE ENTRA  
240 WATTS POR m<sup>2</sup>

A RADIAÇÃO SOLAR PASSA ATRAVÉS DA ATMOSFERA LIMPA

PARTE DA RADIAÇÃO SOLAR É REFLETIDA PELA ATMOSFERA E PELA SUPERFÍCIE DA TERRA

A ENERGIA SOLAR É ABSORVIDA PELA SUPERFÍCIE DA TERRA & A AQUECE...

A SUPERFÍCIE GANHA MAIS CALOR E A RADIAÇÃO INFRAVERMELHA É EMITIDA NOVAMENTE

... & É CONVERTIDA EM CALOR CAUSANDO A EMISSÃO DE RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS (INFRAVERMELHA) DE VOLTA À ATMOSFERA

PARTE DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA PASSA ATRAVÉS DA ATMOSFERA & É PERDIDA NO ESPAÇO

PARTE DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA É ABSORVIDA & RE-EMITIDA PELAS MÁLÉCULAS DE GÁS DE EFEITO ESTUFA. O EFEITO DIRETO É O AQUECIMENTO DA SUPERFÍCIE DA TERRA & TROPOSFERA

ATMOSFERA

TERRA

**GASES DE EFEITO ESTUFA**

TOP 10 WARMEST YEARS GLOBALLY*		
YEAR	GLOBAL TEMPERATURE ANOMALY	RANK
1998	0.63°C	1
2003	0.56°C	2 (Tie)
2002	0.56°C	2 (Tie)
2004	0.54°C	4
2001	0.51°C	5
1997	0.47°C	6
1995	0.40°C	7 (Tie)
1990	0.40°C	7 (Tie)
1992	0.38°C	9
2000	0.37°C	10

TEMPERATURES BETWEEN 1850 & 2005  
TOP 10 WARMEST YEARS GLOBALLY\*

SOURCE: National Climatic Data Center  
\*With Respect to 1850-2000 Mean

Table 1:

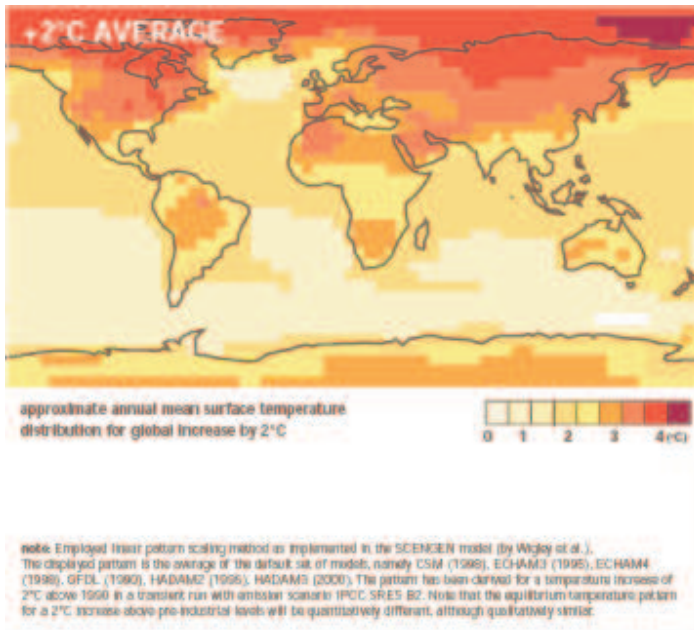
**(TEMPERATURAS ENTRE 1850 & 2005**

**OS 10 ANOS MAIS QUENTES NO MUNDO\***

**ANO                      TEMPERATURA DA TERRA                      COLOCAÇÃO**

**FONTE: National Climatic Datacenter**

Todos os dias, o meio ambiente é prejudicado pelo uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás) para energia e transporte. Como consequência, as mudanças climáticas já estão afetam a vida de bilhões de pessoas. A previsão é que estas alterações no clima destruirão o modo de vida de muitas pessoas nos países em desenvolvimento, além de acarretar a perda de ecossistemas e espécies nas próximas décadas. É necessário reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa, tanto por razões ambientais como econômicas.



**Figure 3**

**Figura 3:**

**MÉDIA + 2°C**

**Temperatura média anual aproximada na superfície**

**distribuição por aumento médio de 2°C**

**Nota: Empregado o método incremental de padrão linear como implementado no modelo SCENGEN (por Wigley *et al.*). O padrão desenvolvido é a média de valores de uma série de modelos, nominalmente CSM (1998), ECHAM3 (1995), ECHAM4 (1998), GFDL (1990), HADAM2 (1995), HADAM3 (2000). O modelo foi originado para um aumento de temperatura de 2°C em relação a 1990 em uma operação transitória com um cenário de emissão IPCC SRES B2. Note que o padrão de equilíbrio de temperatura para um aumento de 2°C anterior aos níveis pré-industriais será quantitativamente diferente, embora similar qualitativamente.**

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), órgão das Nações Unidas que elabora relatórios baseados no melhor conhecimento científico disponível, a temperatura mundial poderá aumentar até 5.8°C nos próximos cem anos. Esse aumento seria a alteração climática mais brusca já vivida pela humanidade. Para evitar que isso ocorra, uma política climática global deve ter por objetivo manter o aumento da temperatura global em menos de 2°C em relação aos níveis pré-industriais. Acima desse limite, os prejuízos aos ecossistemas e a alteração do sistema climático serão muito mais drásticos. Há pouco tempo hábil para mudar o sistema energético global e impedir que isso ocorra: no mais tardar, até o final da próxima década, as emissões globais de gases estufa terão que atingir seu pico e entrar em declínio para atingir o objetivo de manter o aumento da temperatura abaixo de 2°C.

Hoje, as mudanças climáticas já prejudicam pessoas e ecossistemas, como provam o derretimento das geleiras polares e do *permafrost* (solo congelado da região ártica), a destruição de recifes de corais, o aumento do nível do mar e as ondas de calor cada vez mais intensas. Não são somente os cientistas que estão testemunhando essas mudanças. Dos Inuits que vivem no Ártico aos moradores de ilhas equatoriais, as pessoas já sofrem os impactos das mudanças climáticas. Um aquecimento global médio de 2°C já representa uma ameaça a milhões de pessoas, com aumento do risco de fome, malária, inundações e falta de água.

Esta é a primeira vez que a humanidade encontra-se diante de uma crise ambiental de tamanha magnitude. Se não houver ação imediata para deter o aquecimento global, os danos serão irreversíveis. A única maneira de evitar os danos é reduzir rapidamente as emissões de gases estufa na atmosfera.

**Este é um resumo de alguns prováveis efeitos do aquecimento global, se a tendência atual for mantida:**

#### *Prováveis efeitos de um aquecimento leve a moderado*

- Elevação do nível do mar provocado pelo derretimento das geleiras e pela expansão térmica dos oceanos devido ao aumento da temperatura média global.
- Liberação extensiva de gases de efeito estufa com o derretimento das camadas congeladas de solo (*permafrost*) e a morte de florestas perenes.
- Aumento na frequência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas e inundações de alta intensidade. A incidência global de secas já dobrou nos últimos 30 anos.
- Impactos regionais severos. Na Europa, aumento das inundações em rios e zonas costeiras, erosão e perda de pântanos. Enchentes também afetarão severamente áreas baixas nos países em desenvolvimento, como Bangladesh e o sul da China.
- Ameaça à sobrevivência de sistemas naturais como geleiras, recifes de corais, manguezais, ecossistemas alpinos, florestas boreais e tropicais, pradarias, pântanos e campos nativos.
- Aumento do risco de extinção de espécies e de perda da biodiversidade.
- Maiores impactos nos países mais pobres da África subsaariana, sul e sudeste da Ásia e da América do Sul andina, bem como nas pequenas ilhas incapazes de se proteger do aumento das secas e do nível do mar, da disseminação de doenças e do declínio da produção agrícola.

#### *Efeitos catastróficos de longo prazo*

- O aquecimento causado pelas emissões pode disparar o irreversível derretimento da manta de gelo da Groenlândia, aumentando em mais de sete metros o nível do mar nos próximos séculos. Novas

evidências da taxa de desprendimento de partes de gelo da Antártida apontam para o risco de derretimento do continente.

- A diminuição, substituição ou desaparecimento da Corrente Atlântica do Golfo trará dramáticos efeitos para a Europa e pode abalar o sistema global de circulação oceânica.
- Grandes liberações de metano, provocadas pelo derretimento do *permafrost* e aquecimento dos oceanos, aumentarão a concentração desse gás na atmosfera, provocando mais aquecimento.

## **O Protocolo de Kyoto**

Ao reconhecer essas ameaças, as nações signatárias da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, de 1992, criaram o Protocolo de Kyoto em 1997. O Protocolo de Kyoto passou a vigorar no início de 2005 e seus 165 países-membros encontram-se duas vezes ao ano para negociar novos detalhes e as etapas subsequentes do acordo. Apenas duas grandes nações industrializadas, Estados Unidos e Austrália, não ratificaram o protocolo.

O Protocolo de Kyoto obriga seus signatários a reduzir suas emissões de gases estufa em 5,2% em relação aos níveis de 1990, no período de 2008 a 2012. Este compromisso resultou na adoção de uma série de metas de redução regionais e nacionais. A União Européia, por exemplo, comprometeu-se com uma redução total de 8%. Para alcançar esse objetivo, a UE também concordou em aumentar a proporção da energia renovável na sua matriz energética de 6% para 12% até 2010.

No momento, os países signatários de Kyoto estão negociando a segunda fase do acordo, que cobre o período de 2013 a 2017. O Greenpeace exige que os países industrializados reduzam suas emissões em 18%, considerando seus níveis de 1990, para o segundo período de compromisso, e em 30% na terceira fase, que abrange o período de 2018 a 2022. Somente com esses cortes teremos uma chance razoável de manter o aquecimento global abaixo do limite de 2°C.

O Protocolo de Kyoto baseia-se fundamentalmente em um compromisso legal de redução obrigatória das emissões. Para alcançar as metas estabelecidas, o acordo prevê alguns mecanismos financeiros, pelos quais as emissões de carbono são transformadas em uma mercadoria que pode ser comercializada. O objetivo é oferecer um incentivo econômico para a redução das emissões e alavancar investimentos do setor privado em tecnologias limpas que transformem o mercado de energia. Contudo, devido à longa demora para o Protocolo entrar em vigor, depois que os Estados Unidos desistiram de ratificar o acordo no início de 2001, o prazo para as negociações está se esgotando.

O ano de 2007 é crucial para o futuro do clima, já que os países-membros do Protocolo de Kyoto devem definir, no encontro agendado para dezembro na Indonésia, um novo mandato de negociações para fechar acordos sobre o segundo período de compromisso ainda em 2008 ou, no mais tardar, em 2009. Caso contrário, não haverá tempo hábil para ratificar e implementar metas mais ambiciosas de redução para o segundo período, que vai de 2013 a 2017.

## **2. Ameaça Nuclear**

Embora as usinas nucleares produzam muito menos dióxido de carbono do que a queima de combustíveis fósseis para gerar energia, seu funcionamento causa diversas ameaças às pessoas e ao meio ambiente.

Os principais riscos são:

- Proliferação Nuclear
- Lixo Nuclear
- Riscos de Segurança

Estes riscos explicam porque a energia nuclear não foi considerada como uma tecnologia futura no Cenário de Revolução de Energia.

## 1. Proliferação Nuclear

A fabricação de uma bomba nuclear requer material físsil especial – urânio 235 ou plutônio 239. A maioria dos reatores nucleares utiliza urânio como combustível e produz plutônio como resíduo de suas operações. É impossível evitar totalmente que uma grande usina de reprocessamento nuclear evite a transformação do plutônio em armas nucleares. Uma usina de separação de plutônio de pequena escala pode ser construída em um período de quatro a seis meses, portanto, qualquer país com um reator ordinário pode produzir armas nucleares de forma relativamente rápida.

O fato é que as usinas e as armas nucleares cresceram como irmãs siamesas. Depois que os controles internacionais contra a proliferação nuclear começaram, Israel, Índia, Paquistão e Coreia do Norte obtiveram armas nucleares, demonstrando a conexão entre a energia nuclear para fins civis e militares. Tanto a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), como o Tratado de Não Proliferação Nuclear (NPT), carregam uma contradição inerente – buscam promover o desenvolvimento da energia nuclear “pacífica” e, ao mesmo tempo, tentam deter a disseminação das armas nucleares.

Israel, Índia e Paquistão utilizam suas atividades nucleares civis como fachada para se capacitar na fabricação de armamentos, operando fora das salvaguardas internacionais. Mesmo sendo uma signatária do NPT, a Coreia do Norte desenvolveu uma arma nuclear. O maior desafio para os controles da proliferação nuclear tem sido a disseminação da tecnologia de enriquecimento de urânio para países como Irã, Líbia e Coreia do Norte. O próprio diretor geral da AIEA, Mohamed El Baradei, já afirmou que “se um país com total competência no ciclo de desenvolvimento de combustíveis nucleares decidir, por qualquer razão, abandonar seus compromissos de não-proliferação, a maioria dos especialistas acredita que ele estaria apto a produzir uma arma nuclear em questão de meses”.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas das Nações Unidas também tem alertado que as tentativas de resolver o problema das mudanças climáticas com um programa de construção de reatores rápidos – que utilizam plutônio como combustível – representam uma grave ameaça à segurança global. Mesmo os reatores tradicionais espalhados ao redor do mundo podem ser alimentados com combustível de óxidos mistos, do qual o plutônio pode ser facilmente separado.

Tampouco seria uma solução restringir a produção de material físsil especial para poucos países “confiáveis”. Uma medida como esta poderia gerar ressentimentos e criar uma enorme ameaça à segurança. Uma nova agência da ONU é necessária para combater as ameaças conjuntas das mudanças climáticas e da proliferação nuclear, através da eliminação progressiva do poder nuclear e a estimulação do uso da energia sustentável, promovendo a paz no mundo, ao invés de ameaçá-la.

## 2. Lixo Nuclear

A indústria nuclear alega que pode resolver o problema de seus resíduos nucleares enterrando-os profundamente no solo, mas sabe-se que esta medida não isolará o material radioativo do meio ambiente para sempre. Um depósito profundo apenas diminuirá a liberação de radioatividade no meio ambiente. A indústria faz projeções de durabilidade argumentando que as doses de radiação liberada no entorno destas áreas seriam “aceitavelmente baixas” no caso de um eventual vazamento. Porém, o conhecimento científico disponível hoje não é suficientemente avançado para fazer tais previsões com segurança.

Além disso, como parte de sua campanha para a construção de novas usinas nucleares ao redor do mundo, a indústria alega que os problemas associados ao enterro dos rejeitos nucleares estão mais relacionados à aceitação pública do que a questões técnicas, citando, com frequência, as propostas de disposição final do lixo nuclear de países como Finlândia, Suécia e Estados Unidos. Ao tentar reforçar sua argumentação, a indústria omite o fato de que esses países até hoje não conseguiram achar uma solução aceitável para o problema crescente do lixo nuclear.

O resíduo nuclear mais perigoso produzido por uma usina é o combustível usado que sobra no processo de geração de energia pelos reatores nucleares. Esse dejetado, altamente radioativo, mantém-se radioativo por centenas de milhares de anos. Em alguns países, a situação se agrava pelo “reprocessamento” do

combustível usado – o que envolve a dissolução em ácido nítrico para separar o plutônio. O plutônio pode ser utilizado na fabricação de armas atômicas. Esse processo produz ainda um resíduo líquido altamente radioativo. Existem cerca de 270 mil toneladas de resíduos de combustível nuclear usado armazenado, em grande parte, nos terrenos dos próprios reatores. Cerca de 12 mil toneladas de combustíveis usados se acumulam por ano e aproximadamente 25% são reprocessados. Nenhum país no mundo encontrou uma solução final para esses resíduos.

Apesar das exigências internacionais de segurança, a AIEA reconhece que, em relação aos resíduos, “... só podem haver estimativas a respeito das doses de radiação a que os indivíduos estarão submetidos no futuro e as incertezas associadas a essas estimativas aumentarão muitas vezes no futuro”.

Atualmente, a opção menos prejudicial para destinar os resíduos nucleares é a estocagem do material acima do solo, em armazéns secos construídos no local da . Esta opção, porém, também apresenta um grande risco à segurança. Portanto, a única solução real é deixar de produzir resíduos nucleares.

### 3. Riscos à Segurança

Windscale (1957), Three Mile Island (1979), Chernobyl (1986) e Tokaimura (1999) são somente alguns das centenas de acidentes nucleares que já ocorreram até hoje.

Recentemente, uma simples falha de energia em uma usina nuclear da Suécia demonstrou nossa vulnerabilidade a catástrofes nucleares. Como resultado, a Suécia fechou quatro de suas dez usinas nucleares após outras falhas terem sido descobertas. Sistemas de energia de emergência na usina de Forsmark falharam por 20 minutos durante uma queda de energia. Se a energia não tivesse sido restituída em tempo, um acidente de enormes proporções poderia ter ocorrido em apenas algumas horas. Um ex-diretor da usina posteriormente declarou que “foi pura sorte que não houve um derretimento do reator”. Com o fechamento das usinas, a Suécia perdeu, de uma só vez, 20% da sua oferta de eletricidade.

O funcionamento de um reator é uma operação muito complexa. Uma reação nuclear em cadeia deve ser mantida sob controle. As radiações perigosas precisam, tanto quanto possível, ser contidas dentro dos reatores, manejando com cuidado os produtos radioativos e mantendo-os isolados dos seres humanos. As reações nucleares geram altas temperaturas e os líquidos utilizados para o resfriamento dos reatores são geralmente mantidos sob pressão. O efeito combinado da intensa radioatividade e das altas temperaturas e pressões tornam a operação de reatores nucleares muito arriscadas e complexas.

No mais, a media em que os reatores em operação envelhecem, aumenta a probabilidade de acidentes. A maioria dos reatores mundiais têm mais de 20 anos e, portanto, estão mais propensos a apresentar falhas. Diversas empresas de serviços estão tentando estender a vida útil desses reatores, originariamente projetados para durar 40 anos, para cerca de 60 anos, o que os tornaria ainda mais suscetíveis a falhas.

Paralelamente, a desregulamentação tem levado as usinas nucleares a diminuir os investimentos em segurança e limitado seu quadro pessoal. Ao mesmo tempo, aumentam a pressão, a temperatura operacional e a queima de combustíveis nos reatores, o que acelera o envelhecimento e diminui as margens de segurança das instalações. As agências de regulamentação da indústria nuclear nem sempre são capazes de lidar com esse novo regime.

Por fim, os chamados novos reatores seguros possuem sistemas de segurança que foram substituídos por processos ‘naturais’, como o resfriamento emergencial por água e ar alimentado pela gravidade, o que os torna mais vulneráveis a ataques terroristas.

Fim das Ameaças Nucleares (Figura 4): da mineração ao depósito de resíduos

#### 1. EXPLORAÇÃO DE URÂNIO

Utilizado nas usinas de energia nuclear, o urânio é extraído de enormes minas no Canadá, Austrália, Rússia e Nigéria. Os mineiros podem inspirar gás radioativo, aumentando suas chances de contrair câncer pulmonar. A mineração de urânio produz enormes quantidades de resíduos, inclusive partículas radioativas que podem contaminar a água e os alimentos.

## 2. ENRIQUECIMENTO DE URÂNIO

O urânio natural e o concentrado (yellow cake) contêm somente 0,7% do urânio 235. Para utilizar o material em um reator nuclear, a proporção precisa ser de 3% ou 5%, daí a necessidade de enriquecimento de urânio, processo atualmente realizado em 16 instalações em todo o mundo. O enriquecimento gera enormes quantidades de resíduos, já que 80% do volume total viram produto residual, um lixo radioativo de longa duração. Este material residual pode ser utilizado como matéria prima para a produção de bombas atômicas ou blindagem de tanques de guerra.

## 3. PRODUÇÃO DE VARETAS DE COMBUSTÍVEL

O material enriquecido é convertido em dióxido de urânio e comprimido em projéteis, que preenchem tubos de 4 metros de comprimento e são chamados de varetas de combustível. Estas varetas são utilizadas nos reatores. O pior acidente com esse tipo de equipamento aconteceu em setembro de 1999 em Tokaimura, no Japão. Dois trabalhadores da usina morreram e várias centenas de pessoas foram contaminadas.

## 4. PRODUÇÃO DE ENERGIA NA USINA NUCLEAR

Os núcleos do átomo de urânio são quebrados no reator nuclear (a chamada fissão nuclear) e liberam grandes quantidades de energia. A água do reator esquenta, gerando vapor. O vapor comprimido é convertido em eletricidade por uma turbina geradora. Esse processo cria um “coquetel” radioativo com mais de cem subprodutos. Um deles é o plutônio, altamente tóxico e de longa duração. Um reator nuclear gera, anualmente, plutônio suficiente para produzir até 39 armas nucleares. Em caso de acidentes nas usinas, o material radioativo pode ser liberado no meio ambiente. O pior acidente da história aconteceu em Chernobyl, na antiga União Soviética, em 1986 e matou pelo menos 93 mil pessoas.

## 5. REPROCESSAMENTO

O reprocessamento envolve a extração química de urânio e plutônio radioativos das varetas de combustíveis usadas dos reatores. Atualmente, há mais de 230 toneladas de plutônio estocados em todo o mundo, frutos do reprocessamento. Apenas 5 kg são suficientes para fazer uma bomba nuclear. Reprocessar não significa reciclar: significa aumentar o volume de resíduos em dezenas de vezes, além de despejar, todos os dias, milhões de litros de dejetos radioativos no mar. O reprocessamento também demanda transporte material radioativo e resíduos nucleares em navios, trens, aviões e rodovias em todo o mundo. Um acidente ou ataque terrorista durante este transporte poderia contaminar o meio ambiente com enormes quantidades de material radioativo. Não há nenhum modo de garantir a segurança do transporte nuclear.

## 6. ESTOCAGEM DE RESÍDUOS

Não há instalações de armazenamento definitivo para resíduos nucleares disponíveis em lugar algum do mundo. O armazenamento seguro de resíduos que se mantêm altamente radioativos por milhares de anos continua improvável, deixando uma herança fatal para as futuras gerações. Apesar disso, a indústria nuclear continua a gerar quilos e quilos de resíduos diariamente.

## 3. A Revolução Energética

A iminência das mudanças climáticas exige nada menos que uma Revolução Energética. O consenso entre os especialistas é que esta mudança fundamental deve começar imediatamente e estar em curso adiantado

nos próximos dez anos, para impactos ainda mais drásticos. A sociedade não precisa de energia nuclear. O que a sociedade precisa é de uma completa transformação no modo como produz, consome e distribui energia. Somente uma revolução poderá limitar o aquecimento global a um patamar inferior a 2°C. Se a temperatura média da Terra aumentar acima de 2°C, os impactos serão devastadores.

A atual geração de eletricidade baseia-se, principalmente, na queima de combustíveis fósseis em enormes estações energéticas que desperdiçam grande parte da energia primária. Ao longo da rede de transmissão e durante a conversão de alta voltagem para voltagens adequadas ao consumo doméstico e comercial, mais energia é perdida. Este sistema é muito vulnerável a problemas como falhas técnicas locais interrupções provocadas por eventos meteorológicos ou até mesmo panes provocadas de forma deliberada. Falhas deste tipo provocam um efeito cascata que resulta em blecautes e interrupção do fornecimento para grandes áreas. Qualquer tecnologia utilizada para gerar eletricidade neste modelo antiquado estará, inevitavelmente, sujeita a esses problemas. Portanto, no cerne da Revolução Energética está a necessidade de uma mudança radical na forma como a energia é produzida e distribuída.

### **Princípios Fundamentais**

A Revolução Energética pode ser alcançada pela adesão a cinco princípios fundamentais:

#### **1. Implantar de sistemas de energia limpa, soluções renováveis e descentralizadas**

Não há falta de energia. Tudo o que deve ser feito é utilizar as tecnologias existentes para aproveitar a energia de modo mais eficiente. Energias renováveis e medidas de eficiência energética estão disponíveis, são viáveis e cada vez mais competitivas. Eólica, solar e outras tecnologias de energia renovável obtiveram crescimentos de mercado de dois dígitos na década passada.

As mudanças climáticas são realidade. O setor de energias renováveis também. Sistemas descentralizados e sustentáveis de energia produzem menos emissões de carbono, são mais baratos e menos dependentes da importação de combustíveis. Criam mais empregos e dão poder às comunidades locais. Sistemas descentralizados são mais seguros e mais eficientes. Este é o objetivo da Revolução Energética.

#### **2. Respeitar os limites naturais**

A sociedade precisa aprender a respeitar os limites da natureza. A atmosfera não tem capacidade de absorver tanto carbono. A cada ano, as atividades humanas emitem o equivalente a cerca de 23 bilhões de toneladas de carbono, literalmente saturando os céus. As reservas geológicas de carvão poderiam fornecer combustível por mais algumas centenas de anos, mas queimar este combustível seria ultrapassar os limites de segurança. O desenvolvimento da indústria de petróleo e de carvão precisa chegar ao fim.

*“A Idade da Pedra não terminou por falta de pedras, e a Era do Petróleo terminará muito antes que o mundo esgote o petróleo.”*

Sheikh Zaki Yamani, ex- ministro de petróleo da Arábia Saudita

Com o objetivo de evitar que o clima da Terra fique totalmente fora de controle, a maior parte das reservas de combustíveis fósseis do mundo – carvão, petróleo e gás – devem permanecer no solo.

#### **3. Eliminar gradualmente energias sujas e não-sustentáveis**

As usinas a carvão e nucleares devem ser gradualmente eliminadas e substituídas. Não se pode continuar a construir usinas a carvão em um momento em que as emissões oferecem um perigo real à manutenção da vida no planeta. Os incentivos às inúmeras ameaças nucleares também devem ser banidos, já que o

pretexto de que a energia nuclear pode, de algum modo, ajudar no combate às mudanças climáticas não se sustenta. Não existe função para a energia nuclear na revolução energética.

#### **4. Promover equidade e justiça**

Considerando-se os limites naturais, deve-se buscar uma distribuição justa dos benefícios e dos custos entre as sociedades, nações e gerações presente e futuras. Por um lado, um terço da população mundial não tem acesso à eletricidade, enquanto a maioria dos países industrializados consome muito mais do que a sua justa parte.

Os efeitos das mudanças climáticas nas comunidades mais pobres são agravados pela enorme desigualdade de distribuição da energia global. Um dos princípios básicos para abordar as mudanças climáticas é o da igualdade e justiça, de modo que os benefícios dos serviços de energia – como luz, aquecimento, eletricidade e transporte – sejam disponibilizados a todos. Somente assim poderá se alcançar uma real segurança energética, bem como as circunstâncias para o genuíno conforto da humanidade.

#### **5. Desvincular crescimento econômico do uso de combustíveis fósseis**

Começando pelos países desenvolvidos, o crescimento econômico deve ser totalmente desvinculado dos combustíveis fósseis. É uma falácia sugerir que o crescimento econômico deve ser atrelado ao aumento da queima de petróleo ou carvão.

- É necessário usar a energia produzida de modo muito mais eficiente e
- É necessário fazer uma transição ágil para as energias renováveis de modo a proporcionar um crescimento limpo e sustentável

#### **Dos princípios à prática**

Atualmente, cerca de 80% da oferta de energia primária hoje ainda vem de combustíveis fósseis e o 7% da energia nuclear. As fontes de energias renováveis suprem apenas 13% da demanda mundial de energia primária. A cota da energia renovável na geração de eletricidade é de 18%. A contribuição das renováveis para a demanda de energia primária na oferta de aquecimento é de 26%. A biomassa, que é utilizada principalmente para aquecimento, é a maior fonte de energia renovável disponível.

Esse quadro precisa mudar. A próxima década será crucial para realizar mudanças estruturais substanciais no setor energético. Muitas das usinas nos países industrializados, como Estados Unidos, Japão e União Européia, serão desativadas; mais da metade de todas as usinas em operação tem mais de 20 anos e estarão obsoletas em um futuro próximo. Por outro lado, países em desenvolvimento como China, Índia e Brasil, terão que aumentar sua capacidade energética para suprir a crescente demanda resultante de sua expansão econômica.

Nos próximos dez anos, será decidido como suprir o aumento da demanda de energia, seja com o aumento do uso de combustíveis fósseis e nucleares ou pelo uso eficiente da energia renovável. O cenário da Revolução Energética baseia-se em uma nova conjuntura política favorável à energia renovável e à co-geração combinada à eficiência energética. Para que isso aconteça, tanto a energia renovável como a co-geração –em larga escala ou em pequenas unidades descentralizadas – devem crescer mais rápido do que a demanda geral de energia e substituir os antigos sistemas de geração.

Como não é possível abandonar de uma vez o sistema atual de geração energética, uma fase de transição é necessária para a implementação de uma nova infra-estrutura para geração de energia renovável.

Embora exista o firme compromisso com a promoção de fontes renováveis de energia, reconhecemos que o gás, usado em usinas de co-geração de escala apropriada, é uma opção válida como combustível de transição, capaz de ajudar na descentralização da infra-estrutura energética. Com verões mais quentes, geradores triplos, que incorporam resfriadores de absorção de calor utilizando a energia térmica, tornar-se-

ão um método particularmente valioso para que se atinjam as metas de redução de emissões de gases estufa.

### **Um Caminho para o Desenvolvimento**

A Revolução Energética prevê um caminho de desenvolvimento que transforma o atual modelo energética em um sistema sustentável. Para tanto, há dois passos principais:

#### **Passo 1: Eficiência Energética**

A Revolução Energética tem como objetivo uma ampla exploração do potencial de eficiência energética, priorizando as melhores práticas atuais e as tecnologias que estarão disponíveis no futuro, assumindo uma contínua inovação. A energia economizada é distribuída igualmente pelos três setores – indústria, transporte e doméstico/negócios. O uso inteligente, não a abstinência, é a filosofia básica para a conservação energética.

As mais importantes opções de economia energética envolvem o aperfeiçoamento dos processos de isolamento térmico e projetos de construção, máquinas e motores ultra-eficientes, substituição de sistemas elétricos de aquecimento pelo aquecimento renovável como os coletores solares e a redução no consumo de energia por veículos utilizados para o transporte de mercadorias e pessoas. Os países industrializados, que atualmente usam energia de modo mais ineficiente, podem reduzir seu consumo drasticamente sem perder o conforto domiciliar, o acesso à informação ou o entretenimento proporcionados por eletrônicos.

O cenário da Revolução Energética utiliza a energia economizada nos países da OCDE como compensação para o aumento das exigências energéticas dos países em desenvolvimento. O objetivo final é a estabilização do consumo global de energia nas próximas duas décadas. Ao mesmo tempo, também é criar “igualdade energética” – trocando a atual unilateralidade do desperdício de energia nos países industrializados por uma distribuição mundial mais justa e uso mais eficiente.

Uma redução drástica na demanda de energia primária comparada ao “cenário de referência” da Agência Internacional de Energia (veja capítulo 4) – levando-se em conta as mesmas taxas de crescimento do PIB e populacional – é pré-requisito essencial para aumentar significativamente a proporção das fontes de energias renováveis na matriz energética e compensar a redução da energia nuclear e dos combustíveis fósseis.

#### **Passo 2: Mudanças Estruturais**

##### **Energia descentralizada e uso de renováveis em larga escala**

Para atingir maior eficiência e reduzir perdas na distribuição, o Cenário Revolução Energética faz uso extensivo da Energia Descentralizada (ED), gerada no entorno ou no próprio local de consumo.

A ED é conectada a um sistema de rede de distribuição local, suprindo casas e escritórios, ao invés de acionar um sistema de transmissão de alta voltagem. A proximidade da usina de geração de eletricidade dos consumidores permite que qualquer desperdício de calor dos processos de combustão seja canalizado para prédios ao redor, num sistema conhecido como co-geração, ou calor e energia combinados. A descentralização permite que quase toda a energia produzida seja utilizada, ao contrário do que acontece hoje com as usinas movidas as combustíveis fósseis centralizadas e tradicionais. A ED também inclui sistemas isolados totalmente independentes das redes públicas.

As tecnologias de ED incluem ainda sistemas consagrados como bombas térmicas que utilizam o ar e a terra como fontes de calor, aquecimento solar térmico e biomassa. Todas estas tecnologias podem ser comercializadas em nível doméstico para promover aquecimento sustentável com baixa emissão de gases estufa. Embora as tecnologias ED possam ser consideradas ‘problemáticas’ por não se adequarem ao mercado e sistema de eletricidade que existem hoje, com mudanças apropriadas a ED tem o potencial para crescer exponencialmente, causando uma “destruição criativa” do atual setor energético.

Uma enorme fração da oferta de energia global em 2050 será produzida pelas fontes descentralizadas de energia. A energia renovável de larga escala ainda será necessária para se atingir a transição para um sistema dominante de renováveis. Neste contexto, grandes fazendas costeiras de vento e usinas de energia solar concentrada (CSP) nas regiões mais ensolaradas do planeta desempenharão um importante papel. .

### **Co-geração**

Aumentar o uso da geração combinada de calor e energia (CHP) melhorará a eficiência da conversão de energia dos sistemas movidos a gás natural ou biomassa. No longo prazo, a diminuição da demanda por aquecimento e o enorme potencial para a produção de calor diretamente de fontes de energia renovável limitarão um maior uso da CHP.

- **Eletricidade Renovável**

O setor de eletricidade será o pioneiro na utilização da energia renovável. Nos últimos 20 ou 30 anos, todas as tecnologias renováveis para geração de eletricidade têm crescido continuamente, na ordem de 35% ao ano. Considera-se que esse tipo de energia estará consolidada por volta de 2030 a 2050. Até 2050, a maior parte da eletricidade será produzida a partir de fontes de energia renováveis.

- **Aquecimento Renovável**

No setor de aquecimento, a contribuição das renováveis crescerá significativamente. Espera-se que as taxas de crescimento sejam similares às daquelas do setor de eletricidade. Combustíveis fósseis serão rapidamente substituídos por tecnologias modernas mais eficientes, em particular biomassa, coletores solares e geotérmicos. Até 2050, tecnologias de energias renováveis irão suprir a maior parte da demanda de aquecimento e resfriamento.

- **Transporte**

O enorme potencial de eficiência energética deve ser explorado antes que os biocombustíveis assumam um papel substancial no setor de transportes. Neste estudo, considera-se a biomassa principalmente para aplicações estacionárias (geração de energia a partir de usinas). O uso dos biocombustíveis para transporte é limitado e depende da disponibilidade do recurso, que deve ser obtido de maneira sustentável.

Acima de tudo, para alcançar um crescimento economicamente atrativo das fontes de energias renováveis, é importante equilibrar o uso das diversas tecnologias. Este equilíbrio depende da disponibilidade de recursos, potencial de redução de custos e do desenvolvimento tecnológico.

### **Um futuro de energia descentralizada**

#### **Figura 5**



que aconteceu nas décadas de 70 e 80, quando a maioria das usinas centralizadas de energia em operação hoje foi construída nos países da OCDE. Para vender a eletricidade produzida durante a noite nas usinas nucleares e à carvão, foram construídas novas linhas de distribuição de energia de alta voltagem, aquecedores de armazenamento noturno foram comercializados e enormes aquecedores de água quente elétricos foram instalados.

Vários países da OCDE já demonstraram que é possível integrar em seu sistema uma grande proporção de energia proveniente de fontes descentralizadas e variáveis, como o vento. Um bom exemplo é a Dinamarca, que tem a porcentagem mais alta de geração combinada de calor e energia e energia eólica da Europa. Com forte apoio político, 50% da eletricidade e 80% do aquecimento local são supridos pelas usinas de co-geração. Hoje, a contribuição da energia eólica já corresponde a 18% da demanda de eletricidade dinamarquesa. Sob algumas condições, a geração de eletricidade pela co-geração e pelas turbinas de vento chega a exceder a demanda. A compensação de carga requerida para a estabilidade da rede na Dinamarca é administrada tanto pela regulação da capacidade das poucas grandes estações de energia como através da importação e exportação de países vizinhos. Um sistema de três séries de tarifas permite equilibrar a geração de energia das usinas descentralizadas com o consumo de eletricidade do dia-a-dia.

É importante otimizar o sistema de energia como um todo através da administração inteligente, tanto pelos produtores como pelos consumidores, por uma combinação apropriada de usinas de eletricidade elétricas e através de novos sistemas para armazenamento de eletricidade.

**Combinação apropriada de estações de energia:** A oferta de energia nos países OCDE é, em sua maioria gerada por carvão – e, em alguns casos – por usinas nucleares, que são difíceis de regular. As modernas estações energéticas de gás, ao contrário, são altamente eficientes e mais fáceis e rápidas de regular e, portanto, melhores para compensar flutuações de cargas. Usinas nucleares e de carvão têm custos de combustíveis e de operação mais baixos, mas custos de investimentos comparativamente maiores. Elas precisam, portanto, funcionar continuamente com “carga básica” para ter um retorno do investimento. As estações de energia a gás têm demandas menos investimentos e são lucrativas até mesmo com baixa produção, tornando-as mais adequadas para equilibrar as variações de oferta de fontes de energia renováveis.

**Gerenciamento de carga:** Para reduzir o consumo nos horários de pico, o nível da demanda por eletricidade pode ser administrado proporcionando aos consumidores incentivos financeiros para cortar seu fornecimento nos horários de pico de consumo. Tecnologias de controle podem ser utilizadas para executar esse controle. Esse sistema já é utilizado por alguns grandes consumidores industriais. Um fornecedor de energia norueguês inclui até consumidores domésticos privados, enviando mensagens de texto com um aviso para que cortem o uso. Cada morador pode decidir, com antecedência, se quer ou não participar. Na Alemanha, estão sendo realizados testes com tarifas flexíveis, de modo que as máquinas de lavar possam operar à noite e refrigeradores podem ser desligados temporariamente durante os períodos de grande demanda.

Este tipo de gerenciamento de carga é simplificado pelos avanços em tecnologias de comunicação. Na Itália, por exemplo, 30 milhões de novos medidores de consumo de eletricidade foram instalados para permitir a leitura remota e controlar a informação sobre o consumo e serviços. Muitos produtos ou sistemas elétricos domésticos, como refrigeradores, máquinas de lavar pratos, máquinas de lavar roupas, aquecedores de armazenamento, bombas de água e ar condicionados podem ser administrados tanto pelo desligamento temporário como pela reprogramação de seu período de operação, liberando, assim, a carga de eletricidade para outras finalidades.

**Gerenciamento de geração:** Sistemas de geração de eletricidade renovável também podem ser envolvidos na otimização da carga. Fazendas eólicas, por exemplo, podem ser temporariamente desligadas quando há muita energia disponível na rede.

**Armazenamento de energia:** Outro método para equilibrar a oferta e a demanda de eletricidade é o armazenamento intermediário. Esta estocagem pode ser descentralizada, por exemplo, em baterias, ou centralizada. Até agora, usinas hidrelétricas de armazenamento por bombeamento têm sido a principal forma para estocar grandes quantidades de energia elétrica. Em um sistema de armazenamento bombeado,

a energia da geração elétrica é armazenada em um lago e liberada para circular quando requisitada, impulsionando turbinas e gerando eletricidade. Mundialmente, existem cerca de 280 usinas de armazenamento por bombeamento que já representam uma importante contribuição para a segurança da oferta de energia. Porém, existe espaço para ajustar estas operações às exigências de um futuro sistema de energia renovável.

Outras soluções de armazenamento estão surgindo. Entre as soluções promissoras estão a utilização de hidrogênio e o uso de ar comprimido. No segundo caso, a eletricidade é utilizada para comprimir ar para dentro de profundas abóbadas de sal localizadas a 600 metros abaixo da superfície do solo e sob uma pressão de mais de 70 bar. Nos horários de pico, quando a demanda de eletricidade é alta, o ar é liberado para voltar para a caverna e mover a turbina. Embora esse sistema, conhecido como CAES (Armazenamento de Energia por Ar Comprimido) ainda empregue energia auxiliar proveniente de combustíveis fósseis, uma usina conhecida como 'adiabática', que dispensa sistemas auxiliares de energia está sendo desenvolvida. Nas novas usinas, o calor do ar comprimido é armazenado temporariamente em um armazém gigante de calor. Uma estação de energia como essa pode atingir uma eficiência de estocagem de até 70%.

Os prognósticos para a oferta de eletricidade a partir de fontes renováveis, como o vento, também estão melhorando continuamente. O processo de regulação de oferta é particularmente caro quando feito com pouca antecedência. Para resolver esta questão, técnicas de previsão para a geração de energia eólica têm melhorado consideravelmente nos últimos anos e continuam a ser aperfeiçoadas. Com isso, a necessidade de balancear a oferta tende a diminuir no futuro.

### **A “estação de energia virtual”**

O rápido desenvolvimento das tecnologias de informação está ajudando a construir caminhos para uma oferta descentralizada de energia baseada em usinas de co-geração, sistemas de energias renováveis e estações energéticas convencionais. Fabricantes de pequenas usinas de co-geração já oferecem interfaces na Internet que permitem o controle remoto do sistema. Consumidores domésticos já podem controlar seu uso de eletricidade e aquecimento de forma a minimizar o uso de eletricidade mais cara da rede – e assim atenuar o perfil da curva de demanda. Isto é parte da tendência da chamada “casa inteligente”, onde uma mini-usina de co-geração torna-se um centro de gerenciamento de energia.

Pode-se avançar ainda mais com a “usina energética virtual”. Neste caso, virtual não significa que a usina não produz eletricidade de verdade. Refere-se ao fato de que não há estações energéticas enormes, especialmente localizadas, com turbinas e geradores. O centro da usina energética virtual é uma unidade de controle que processa informações de várias estações descentralizadas, as compara com previsões de demanda, geração e condições de tempo, revisa os preços de mercado de energia e, então, inteligentemente, otimiza a atividade total da usina de energia. Algumas empresas públicas já utilizam esses sistemas, integrando as usinas de co-geração, as fazendas eólicas, sistemas fotovoltaicos e outras usinas. A usina energética virtual pode ainda conectar consumidores ao processo de gerenciamento.

### **Futuras redes de energia**

As redes de energia também deverão se adaptar à estruturas descentralizadas de energia renovável. Considerando que, atualmente, as redes são desenhadas para transportar energia de algumas poucas estações de energia centralizadas até os consumidores finais, um sistema futuro deverá ser mais versátil. Grandes usinas de energia suprirão de eletricidade as redes de alta voltagem, mas pequenos sistemas descentralizados como o solar, co-geração e as usinas eólicas irão distribuir suas energias para as redes de baixas e médias voltagens. Para transportar eletricidade proveniente de geração renovável, como as fazendas eólicas costeiras nas áreas isoladas, um número limitado de novas linhas transmissoras de alta voltagem também precisará ser construído. Essas linhas de energia também estarão disponíveis para a comercialização de energia entre fronteiras. Sob o cenário da revolução energética, a parcela de recursos variáveis de energia renovável deve atingir cerca de 30% do total da demanda por eletricidade em 2020 e cerca de 40% até 2050.

**Eletrificação rural** (Referência: Energia sustentável para redução da pobreza: um plano de ação, Poder IT, Greenpeace Internacional, setembro de 2002)

A energia é essencial para reduzir a pobreza, porque traz diversos benefícios nas áreas de saúde, educação e igualdade. Mais de 25% da população mundial não têm acesso a serviços modernos de energia. Na África subsaariana, 80% das pessoas não têm acesso à eletricidade. Para cozinhar e ter aquecimento, estes africanos dependem quase que exclusivamente da queima de biomassa – madeira, carvão vegetal e esterco.

Pessoas pobres gastam cerca de 30% do que ganham em energia, a maior parte para cozinhar alimentos. As mulheres em especial gastam um tempo considerável para coletar, processar e utilizar combustíveis tradicionais para cozinhar. Na Índia, de duas a sete horas de cada dia podem ser dedicadas para a coleta de combustível para cozinha. Este tempo poderia ser utilizado nos cuidados com as crianças, educação ou geração de renda. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que 2,5 milhões de mulheres e crianças morrem prematuramente nos países em desenvolvimento a cada ano por respirarem as fumaças dos fogões de biomassa dentro de casa.

A Meta de Desenvolvimento do Milênio de diminuir pela metade a pobreza global até 2015 não será atingida sem energia para aumentar a produção, renda e educação, criar empregos e reduzir o desgaste diário empregado somente na necessidade de sobreviver. A meta de diminuir a fome pela metade não será atingida sem energia para um maior crescimento produtivo, colheita, processamento e comercialização de alimentos. A melhora da saúde e a redução das taxas de mortes não acontecerão sem energia para a refrigeração necessária nas clínicas, hospitais e campanhas de vacinação. A infecção respiratória aguda, principal causa de morte de crianças, não será resolvida sem que se encare o problema da fumaça proveniente dos fogões a lenha nas casas. As crianças não estudarão à noite sem iluminação nas suas casas. E a água limpa não será bombeada ou tratada sem energia.

A Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável argumenta que, “para implementar a meta aceita pelas comunidades internacionais de reduzir pela metade a proporção de pessoas vivendo com menos que um dólar por dia até 2015, o acesso aos serviços de energia é um pré-requisito”.

### **O papel da energia renovável limpa e sustentável**

Atingir os cortes drásticos nas emissões de gases estufa essenciais para evitar as mudanças climáticas – para atingir os 80% nos países da OCDE até 2050 – exigirá uma utilização em massa de energia renovável. As metas para energia renovável devem ser amplamente expandidas nos países industrializados tanto para substituir os combustíveis fósseis e a geração de energia nuclear quanto para criar a economia de escala que permita a expansão global desta tecnologia. No cenário da revolução energética, supõe-se que as fontes modernas de energia renovável, como os coletores e fogões solares e as novas formas de bioenergia, substituirão o uso ineficiente e tradicional da biomassa.

#### **Resumo dos Princípios do cenário**

- Eficiência: Inteligência no consumo, geração e distribuição de energia
- Descentralização: Produção de energia torna-se mais próxima do consumidor
- Renováveis: Utilização máxima de combustíveis disponíveis e mais ecológicos

### **4. Cenários para a oferta de energia no futuro**

Passar dos princípios à ação no suprimento de energia e mitigação das mudanças climáticas requer uma perspectiva de longo prazo. A infra-estrutura de energia leva tempo para ser construída. Novas tecnologias energéticas levam anos para serem desenvolvidas. Geralmente, mudanças políticas também demoram em começar a surtir efeito. Qualquer análise que aborde as questões energética e ambiental deve, portanto, olhar para um horizonte de pelo menos 50 anos no futuro.

Cenários são importantes para indicar possíveis caminhos de desenvolvimento, dar aos governantes um panorama das perspectivas futuras e indicar com quanta antecedência eles devem planejar os sistemas

energéticos. Dois cenários diferentes são apresentados neste relatório para demonstrar a enorme gama de caminhos futuros que podem ser adotados pelo sistema de suprimento energético: o Cenário de Referência, que reflete uma continuação das atuais tendências e políticas, e o Cenário da Revolução Energética, que é feito para atingir uma série de metas de políticas ambientais.

O **Cenário de Referência** é baseado no cenário publicado pela Agência Internacional de Energia (AIE) chamado Perspectivas da Energia Mundial 2004 (WEO 2004), que considera apenas as políticas energéticas já existentes. As hipóteses incluem, por exemplo, a continuação das reformas dos mercados de eletricidade e gás, a liberalização do mercado energético com a redução de barreiras alfandegárias e as recentes políticas destinadas a combater a poluição ambiental. O Cenário de Referência não inclui políticas adicionais para reduzir as emissões de gases estufa. Como o cenário da AIE é uma linha horizontal que vai até 2030, foi extrapolado através da projeção de seus principais indicadores macroeconômicos até 2050. Desse modo, o cenário da AIE é um parâmetro de comparação com o Cenário de Revolução Energética.

O **Cenário de Revolução Energética** tem como meta principal reduzir as emissões de dióxido de carbono para níveis próximos a 11 gigatoneladas por ano, ou 50%, até 2050, para que o aumento da temperatura global permaneça abaixo dos 2º C. Um segundo objetivo é a eliminação gradativa global da energia nuclear. Para atingir essas metas, o cenário é caracterizado por esforços concentrados na exploração ampla do enorme potencial de eficiência energética. Ao mesmo tempo, todas as fontes de energia renovável rentáveis são utilizadas tanto para a geração de calor quanto de eletricidade, assim como para a produção de biocombustíveis. Os parâmetros gerais de crescimento populacional e do PIB são os mesmos do Cenário de Referência.

Estes cenários não pretendem, de forma alguma, prever o futuro. Longe de serem previsões, os cenários simplesmente descrevem dois possíveis caminhos de desenvolvimento dentre o vasto leque de possibilidades futuras. O Cenário de Revolução Energética detalha quais são os esforços e ações necessárias para alcançar seus ambiciosos objetivos, ilustrando as opções disponíveis para modificar o atual sistema de suprimento energético e transformá-lo em um modelo sustentável.

## **Background do cenário**

Os cenários deste relatório foram preparados conjuntamente pelo Greenpeace, Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC) e DLR, o Centro Aeroespacial da Alemanha. Os cenários de suprimento de energia foram calculados utilizando-se o modelo de simulação MESA/PlaNet, o mesmo usado em um estudo similar feito pelo DLR para 25 países da União Européia. As projeções de demanda energética foram feitas pelo Ecofys, baseadas em análises do potencial de medidas de eficiência energética.

## **Estudo de eficiência energética**

O estudo do Ecofys teve por objetivo desenvolver cenários regionais de baixa demanda de energia para o período entre 2003 e 2050, utilizando a divisão regional definida em uma série de relatórios Perspectivas da Energia Mundial da AIE<sup>1</sup>. Os cálculos foram feitos para cada década a partir de 2010. A demanda energética foi dividida em eletricidade e combustíveis e distribuída pelos setores de indústria, transporte e outros usos como residencial e serviços.

Foram desenvolvidos dois cenários de baixa demanda energética: uma versão referencial e outra versão de eficiência energética mais ousada, baseada nas melhores práticas atuais e nas tecnologias que estarão disponíveis no futuro, supondo uma contínua inovação no campo da eficiência energética. Como resultado, a demanda final de energia mundial é reduzida em 47% em 2050 em comparação ao Cenário de Referência, resultando em uma demanda final de energia de 350 EJ em 2050. Nesse cenário, a economia de energia distribuiu-se entre os três setores - indústria, transportes e outros usos. As opções mais importantes de economia energética estão no transporte eficiente de passageiros e cargas e no aperfeiçoamento dos processos de isolamento térmico e de projetos de construção, que juntos correspondem a 46% da economia mundial de energia.

---

<sup>1</sup> Agência Internacional de Energia, Perspectivas da Energia Mundial 2004, Paris 2004 – uma nova edição foi publicada em novembro de 2006 – parâmetros básicos como a taxa de crescimento do PIB e populacional mantiveram-se na mesma faixa (veja item “Análise sensível AIE WEO 2004 -> 2006)

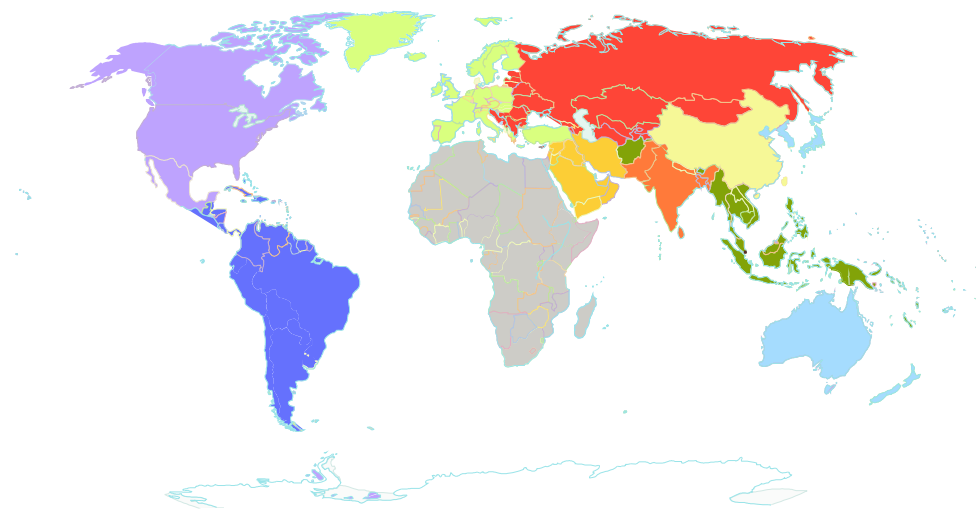
## Principais suposições do cenário

O desenvolvimento de um cenário global energético exige o uso de um modelo multi-regional que reflita as diferenças estruturais significativas entre os diversos sistemas de oferta de energia ao redor do mundo. Optou-se pela divisão feita pela AIE das regiões mundiais utilizada na série de relatórios do Panorama Mundial Energético, já que essa agência também apresenta as mais abrangentes estatísticas globais de energia. A Figura 7 mostra a lista de países de cada uma das dez regiões mundiais da análise da AIE.

**Figura 7: Definição das regiões mundiais (WEO 2004)**

<b>Região mundial</b>	<b>Países</b>
Europa OCDE	Áustria, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Polônia, Portugal, Eslováquia, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido
Norte América OCDE	Canadá, México, Estados Unidos
Pacífico OCDE	Japão, Coreia do Sul, Austrália, Nova Zelândia
Economias em Transição	Albânia, Armênia, Azerbaijão, Belarus, Bósnia-Herzegovina, Bulgária, Croácia, Estônia, Iugoslávia, Macedônia, Geórgia, Casaquistão, Quirguistão, Letônia, Lituânia, Moldávia, Romênia, Rússia, Eslovênia, Tajiquistão, Turcomenistão, Ucrânia, Uzbequistão, Chipre, Gibraltar, Malta <sup>2</sup>
China	China
Ásia Oriental	Afeganistão, Butão, Brunei, Camboja, Taipei, Fiji, Polinésia Francesa, Indonésia, Kiribati, Coreia do Norte, Laos, Malásia, Maldivas, Myanmar, Nova Caledônia, Papuá Nova Guiné, Filipinas, Samoa, Singapura, Ilhas Salomão, Tailândia, Vietnã, Vanuatu
Sul da Ásia	Bangladesh, Índia, Nepal, Paquistão, Sri Lanka
América Latina	Antígua e Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bermuda, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Dominica, República Dominicana, Equador, El Salvador, Guiana Francesa, Granada, Guadalupe, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, Martinica, Antilhas Holandesas, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, Porto Rico, São Cristóvão e Nevis-Anguilla, Santa Lúcia, São Vicente e Granadinas, Suriname, Trinidad e Tobago, Uruguai, Venezuela
África	Argélia, Angola, Benin, Botsuana, Burkina Fasso, Burundi, Camarões, Cabo Verde, República Central Africana, Chade, Congo, República Democrática do Congo, Costa do Marfim, Djibuti, Egito, Guiné Equatorial, Eritreia, Etiópia, Gabão, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné-Bissau, Quênia, Lesoto, Libéria, Líbia, Madagascar, Malati, Mali, Mauritânia, Ilhas Maurício, Marrocos, Moçambique, Namíbia, Níger, Nigéria, Ruanda, São Tomé e Príncipe, Senegal, Seychelles, Serra Leoa, Somália, África do Sul, Sudão, Suazilândia, Tanzânia, Togo, Tunísia, Uganda, Zâmbia, Zimbábue
Oriente Médio	Barein, Irã, Iraque, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbano, Omã, Qatar, Arábia Saudita, Síria, Emirados Árabes, Iêmen

<sup>2</sup> A alocação de Gibraltar e Malta como economias em transição deve-se a razões estatísticas



Regiões do mundo utilizadas nos cenários

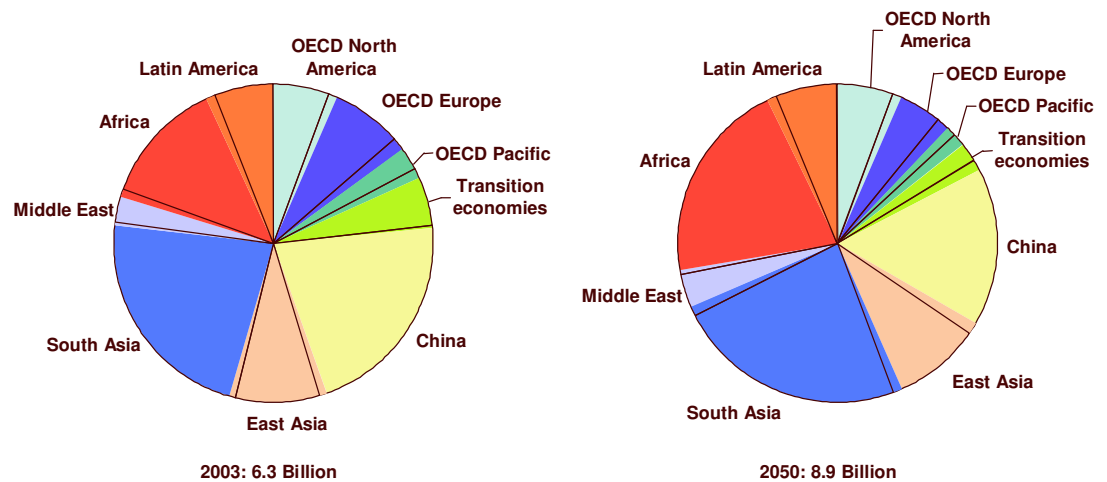
### **Crescimento populacional**

As taxas de crescimento populacional utilizadas para o período até 2030 foram as mesmas do WEO 2004. Para o período de 2030 a 2050, consideraram-se os parâmetros utilizados na revisão de 2004 do documento Perspectivas de População Mundial das Nações Unidas.

A previsão é que a população mundial crescerá 41% entre 2003 e 2050, aumentando de 6,3 bilhões para quase 8,9 bilhões de pessoas. A taxa de crescimento populacional diminuirá no período de projeção, de 1,2% entre 2003 e 2010 para 0,42% entre 2040 e 2050. A população das regiões em desenvolvimento continuará crescendo mais rapidamente, mesmo com a previsão de declínio contínuo das economias de transição. As populações dos países da Europa e do Pacífico pertencentes à OCDE devem atingir seu ápice numérico por volta de 2020/2030, seguido de um significativo declínio. A população dos países da América do Norte pertencentes à OCDE continuará a crescer, mantendo o mesmo percentual na população global.

Em compensação, o percentual da população nas “regiões em desenvolvimento” em relação à população mundial deve aumentar de 76% para 82% até 2050. O percentual da população vivendo em países da OCDE diminuirá, assim como a população da China, dos atuais 20,8% para 16%. A África permanece como a região que terá o maior crescimento populacional. Em 2050, 21% da população mundial estará nesse continente. Satisfazer as necessidades de energia das populações cada vez mais numerosas das regiões em desenvolvimento sem destruir o meio ambiente, é um desafio -chave para alcançar uma oferta global e sustentável de energia.

**Figura 8: Desenvolvimento da população mundial por região, 2030 e 2050**



### Crescimento econômico

O crescimento econômico é um dos vetores fundamentais do aumento na demanda de energia. Desde 1971, cada 1% de aumento do Produto Interno Bruto (PIB) global é acompanhado de 0,6% de aumento no consumo de energia primária. Desvincular a demanda de energia do crescimento do PIB é, portanto, um pré-requisito para a redução da demanda no futuro.

Para fazer um quadro comparativo do crescimento das diferentes economias mais condizente com a realidade, que pudesse refletir as diferenças no padrão de vida, considerou-se taxas de crescimento de PIB adaptadas às taxas de equiparação de poder de compra (PPP, em inglês). Todos os dados sobre desenvolvimento econômico do WEO 2004 utilizaram por base as taxas de crescimento do PIB referenciadas pela PPP. O presente estudo segue a mesma abordagem, utilizando-se as taxas de PPP ao invés de taxas de mercado cambial convencionais. Os índices monetários referem-se ao valor do dólar norte-americano em 2000.

Como o Cenário de Referência WEO 2004 só refere-se ao período até 2030, fez-se necessária a adoção de outros critérios referenciais de crescimento econômico para o período posterior. O Cenário de Emissões do IPCC 2000 propicia um guia de caminhos potenciais para o desenvolvimento até o ano de 2050, oferecendo quatro referências básicas e grupos de cenários relacionados. A média anual mundial da taxa de crescimento do PIB adotada no WEO para o período de 2002 a 2010 (3,7%) é significativamente maior que em qualquer dos cenários do IPCC, mas mostra um rápido declínio para 2,7% no período 2020-2030. De 2030 em diante optou-se pelas taxas adotadas no grupo de cenários B2 do IPCC, que descreve um mundo cuja ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, combinada com um nível intermediário de desenvolvimento econômico.

O resultado desta análise é a previsão de diminuição gradativa da taxa de crescimento do PIB em todas as regiões do mundo nas próximas décadas. Espera-se um crescimento médio do PIB mundial de 3,2% ao ano no período entre 2002-2030, um pequeno decréscimo em relação aos 3,3% do período de 1971 a 2002. Dessa maneira, a taxa de 2002 a 2030 fica em 2,7%. As economias da China e outros países asiáticos devem crescer mais rapidamente, seguidas pelas economias em transição e da África. O ritmo da economia chinesa deve diminuir com o seu amadurecimento, mas se tornará, de qualquer modo, a maior economia do mundo no começo da década de 2020. O PIB da Europa e do Pacífico pertencentes à OCDE crescerá pouco menos que 2% ao ano na projeção para o período, enquanto o crescimento econômico da América do Norte pertencente à OCDE será levemente maior. A fração do PIB da OECD em relação ao PIB global (nos valores ajustados pela PPP) diminuirá de 58% em 2002 para 38% em 2050.

O relatório Perspectivas da Energia Mundial 2006 prevê uma taxa de crescimento médio anual do PIB mundial para o período 2004-2030 de 3,4%, um pouco mais alta do que os 3,2% do WEO de 2004. Em

paralelo, o WEO 2006 espera que o consumo final de energia em 2030 seja 4% mais alto que do que o do WEO 2004. Uma análise dos impactos do crescimento da economia na demanda de energia sob o Cenário de Revolução Energética mostra que um aumento médio de 0,1% do PIB mundial no período de 2003 a 2050 acarretaria um aumento da demanda final de energia de cerca de 0,2%.

Tabela 2: Projeções de desenvolvimento do PIB (taxas de crescimento médias anuais)  
(2002-2030: AIE 2004; 2030-2050: hipóteses próprias)

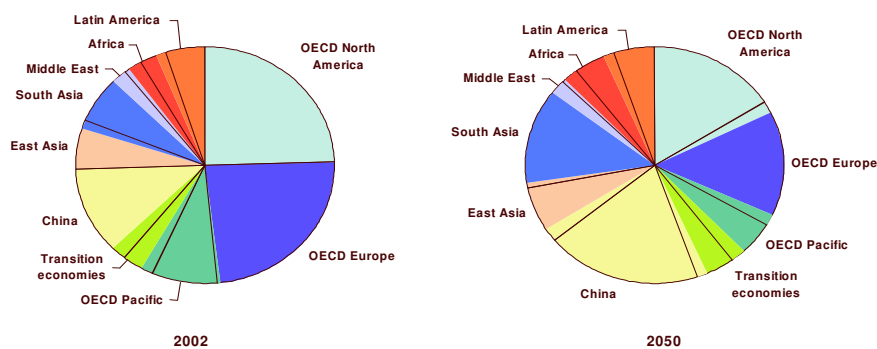


Figura 9: Desenvolvimento do PIB mundial por regiões, de 2002 a 2050

	2002-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	2002-2050
Mundo	3,7%	3,2%	2,7%	2,3%	2,0%	2,7%
Europa OCDE	2,4%	2,2%	1,7%	1,3%	1,1%	1,7%
América do Norte OCDE	3,2%	2,4%	1,9%	1,6%	1,5%	2,1%
Pacífico OCDE	2,5%	1,9%	1,7%	1,5%	1,4%	1,8%
Economias em transição	4,6%	3,7%	2,9%	2,6%	2,5%	3,2%
China	6,4%	4,9%	4,0%	3,2%	2,6%	4,1%
Ásia Oriental	4,5%	3,9%	3,1%	2,5%	2,2%	3,2%
Sul da Ásia	5,5%	4,8%	4,0%	3,2%	2,5%	3,9%
América Latina	3,4%	3,2%	2,9%	2,6%	2,4%	2,9%
África	4,1%	3,8%	3,4%	3,4%	3,4%	3,6%
Oriente Médio	3,5%	3,0%	2,6%	2,3%	2,0%	2,6%

Fonte: Perspectivas da Energia Mundial, AIE

### Custos do desenvolvimento futuro

O custo do fornecimento de eletricidade é um parâmetro indispensável para a avaliação dos cenários futuros de energia. Os principais vetores são: preço dos combustíveis, custos de investimentos em tecnologias de novas usinas e custos potenciais das emissões de CO<sub>2</sub>.

Os preços futuros de energia baseiam-se nas projeções da AIE, do Departamento de Energia dos Estados Unidos e da Comissão Européia. Os custos de investimentos futuros em usinas foram estimados usando-se uma abordagem de curva de aprendizagem. Os fatores de aprendizagem específicos de tecnologia (proporções progressivas) foram obtidos com uma extensiva revisão bibliográfica. O desenvolvimento da capacidade cumulativa para cada tecnologia foi feito a partir dos resultados do Cenário da Revolução Energética. Todos os preços referem-se ao valor do dólar norte-americano em 2000.

### Projeções de preço dos combustíveis fósseis

O recente drástico aumento nos preços mundiais do petróleo resultou em projeções futuras de preços muito mais altos. Sob o cenário “alto preço de petróleo e gás” de 2004, pela Comissão Européia, por exemplo, considerou-se um o barril de petróleo a um custo de US\$ 34 em 2030. O modelo financiado pela Comissão Européia (CASCADE-MINTS 2006), por outro lado, prevê o preço do barril do petróleo em US\$ 94 em 2050, o preço do gás em US\$ 15/GJ e o preço mundial do carvão em US\$ 95 por tonelada. As projeções de preço de petróleo em 2030 variam entre US\$ 52 por barril (US\$ 55 na conversão para o valor da moeda norte-americana em 2005), da AIE, a até mais de US\$ 100.

Como a oferta de gás natural é limitada pela disponibilidade de infra-estrutura dos gasodutos, não há um preço mundial no mercado para o produto. Na maioria das regiões do mundo, o preço do gás é diretamente atrelado ao preço do petróleo. Atuais projeções do preço do gás em 2030 variam dos US \$4,5/GJ do Departamento de Energia dos Estados Unidos até o valor máximo de US\$ 6,9/GJ.

Devido aos recentes aumentos nos preços da energia, essas projeções podem ser consideradas bastante conservadoras. Considerando-se o aumento da demanda global por petróleo e gás, supõe-se uma tendência de elevação do preço dos combustíveis fósseis que podem chegar a US\$ 85 o barril até 2030 e bater os US\$ 100 em 2050. Projeta-se um aumento do preço do gás natural para US\$9 ou US\$10/GJ em 2050.

**Tabela 3: Hipóteses de aumento do preço dos combustíveis fósseis**

	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Petróleo cru em US\$ <sub>ano base 2000</sub> /barril	28.0	62.0	75.0	85.0	93.0	100.0
Gás natural em US\$ <sub>ano base 2000</sub> /GJ						
- América	3.1	4.4	5.6	6.7	8.0	9.2
- Europa	3.5	4.9	6.2	7.5	8.8	10.1
- Ásia	5.3	7.4	7.8	8.0	9.2	10.5
Carvão mineral betuminoso US\$ <sub>ano base 2000</sub> /t	42.3	59.4	66.2	72.9	79.7	86.4

### Projeções de preço da biomassa

Comparados aos combustíveis fósseis, os preços da biomassa são altamente variáveis, indo de baixo ou nenhum custo (como no uso tradicional ou residual da biomassa na África e Ásia) até um custo alto para biocombustíveis produzidos a partir de plantações com esta finalidade. Apesar dessa variabilidade, assumiu-se um preço para a biomassa na Europa até 2030<sup>3</sup> e, com critérios próprios, chegou-se a um valor para 2050. O aumento dos preços da biomassa reflete o atrelamento dos preços dos biocombustíveis aos preços dos combustíveis fósseis e a crescente fatia da energia obtida a partir de plantações com esse fim específico. Para outras regiões, as projeções são de preços mais baixos, levando-se em conta a enorme utilização tradicional de biomassa nos países em desenvolvimento e o alto potencial para aproveitamento de resíduos na América do Norte e nas economias em transição.

**Tabela 4: Hipóteses de aumento de preço da biomassa**

Biomassa em US\$ <sub>ano base 2000</sub> /GJ	2003	2010	2020	2030	2040	2050
- Europa	4,8	5,8	6,4	7,0	7,3	7,6
- outras regiões	1,4	1,8	2,3	2,7	3,0	3,2

### Custo das emissões de CO2

Assumindo que, no longo prazo, o sistema de comercialização das emissões de CO2 estará funcionando em todas as regiões mundiais, o custo das compensações pela emissão de CO2 deve ser incluído nos cálculos do custo da geração de eletricidade. Contudo, projeções do valor destas emissões são ainda mais incertas que o preço da energia. A AIE prevê “um incentivo de redução de CO2” de US\$ 25/tCO2 em 2050. O projeto europeu CASCADE-MINTS, por outro lado, prevê custos de US\$ 50/tCO2 em 2020 e US\$ 100/tCO2 a partir de 2030. Neste cenário, o custo previsto é de US\$ 50/tCO2 em 2050, valor duas vezes mais alto que a projeção da AIE, mas ainda conservador se comparado a outros estudos. Fica pressuposto

<sup>3</sup> Nitsch et al. (2004) e GEMIS-Database (Oko Institut, 2005)

neste cenário que os custos das emissões dos países não participantes do Anexo B do Protocolo de Kyoto só serão contabilizados a partir de 2020.

Tabela 5: Previsões de aumento de custos das emissões de CO<sub>2</sub> (\$/tCO<sub>2</sub>)

	2010	2020	2030	2040	2050
Países do Anexo B de Kyoto	10	20	30	40	50
Países de fora do Anexo B		20	30	40	50

### Resumo do aumento de custos da energia convencional

A tabela 6 resume os custos esperados de investimentos para as diferentes tecnologias de combustíveis fósseis com níveis variáveis de eficiência.

Tabela 6: Aumento de eficiência e custos de investimentos para tecnologias de usinas selecionadas

		2010	2030	2050
Usina termelétrica de condensação a carvão	Eficiência (%)	41	45	48
	Custos de investimentos (\$/kW)	980	930	880
	Custos de geração de eletricidade incluindo custos de emissão de CO <sub>2</sub> (\$cents/kWh)	6.0	7.5	8.7
	Emissões de CO <sub>2</sub> <sup>a)</sup> (g/kWh)	837	728	697
Usina termelétrica de condensação de petróleo	Eficiência (%)	38	39	41
	Custos de investimentos (\$/kW)	670	620	570
	Custos de geração de eletricidade incluindo custos de emissão de CO <sub>2</sub> (\$ cents/kWh)	22.5	31.0	46.1
	Emissões de CO <sub>2</sub> <sup>a)</sup> (g/kWh)	1,024	929	888
Ciclo combinado de gás natural	Eficiência (%)	55	60	62
	Custos de investimentos (\$/kW)	530	490	440
	Custos de geração de eletricidade incluindo custos de emissão de CO <sub>2</sub> (\$cents/kWh)	6.7	8.6	10.6
	Emissões de CO <sub>2</sub> <sup>a)</sup> (g/kWh)	348	336	325

Nota: Refere-se somente às emissões diretas, emissões do ciclo não são consideradas aqui/adicionar os custos por kWh com diferentes preços de petróleo (baixo, médio e alto)/adicionar os fatores de emissão (kgCO<sub>2</sub>/kWh), custos baseados na situação dos EUA

(Fonte: DLR, 2006)

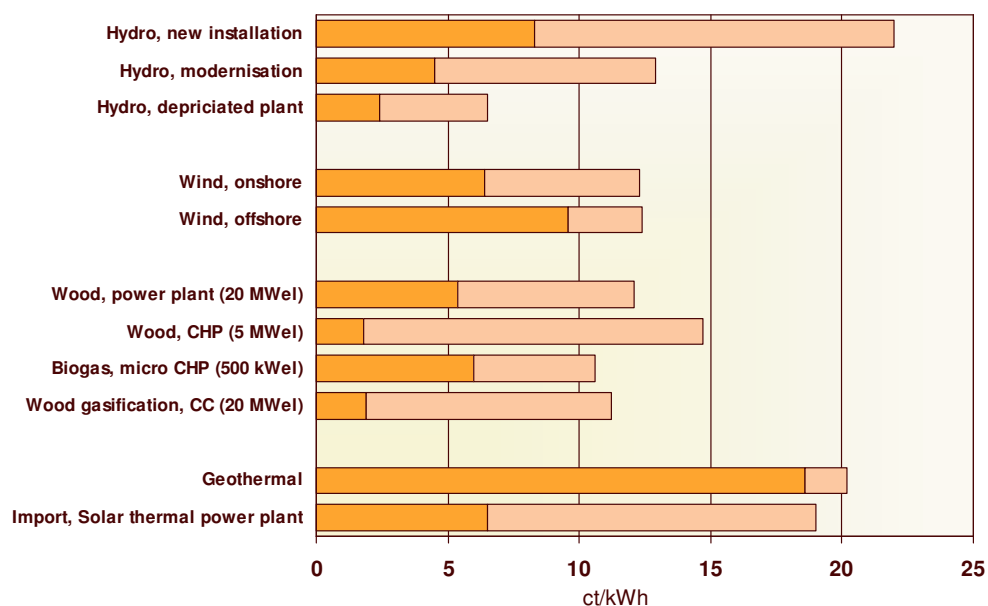
### Projeções de preço da energia renovável

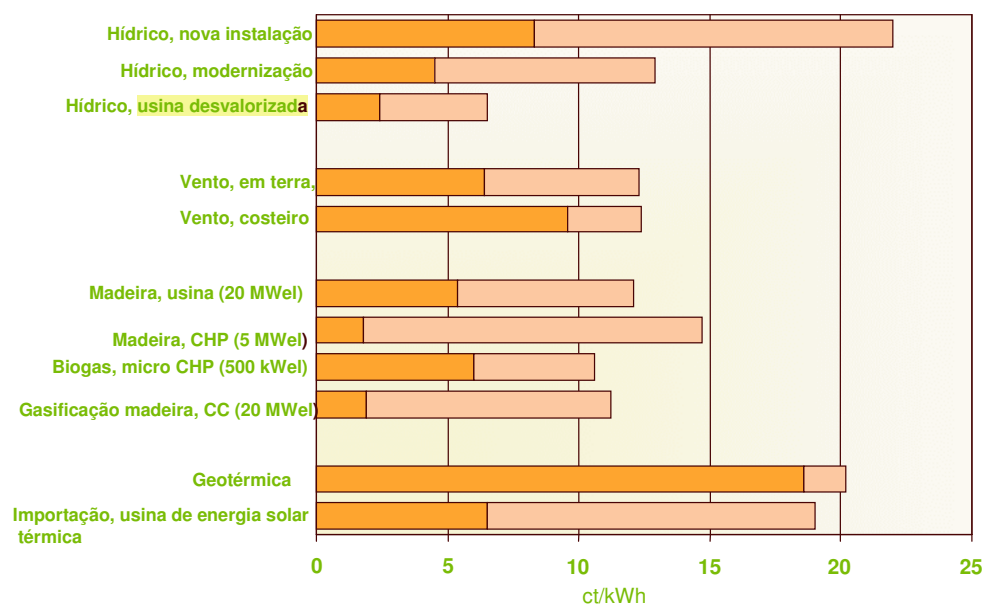
As opções de tecnologias de energia renovável disponíveis hoje têm diferenças marcantes em termos de maturidade técnica, custos e potencial de desenvolvimento. Enquanto a energia hídrica tem sido largamente utilizada há décadas, outras tecnologias, como a gasificação da biomassa, ainda precisam abrir caminho até sua maturidade econômica. Algumas fontes renováveis, devido a sua própria natureza, incluindo a energia solar e a eólica, propiciam uma oferta variável, exigindo uma coordenação controlada pela rede elétrica. Mas, embora na maioria dos casos sejam tecnologias descentralizadoras – sua potência é gerada e usada localmente pelos consumidores – no futuro poderão ser empregadas em larga escala, na forma de parques eólicos costeiros e estações concentradas de energia solar (CSP).

Utilizando as vantagens individuais das diferentes tecnologias e promovendo a coordenação entre as fontes renováveis, pode-se disponibilizar uma vasta gama de opções para um mercado maduro e integrado, passo a passo, às atuais estruturas fornecedoras de energia, o que poderá proporcionar um portfólio bastante variado de tecnologias ecologicamente corretas para a oferta de calor, eletricidade e combustíveis.

A maioria das tecnologias renováveis aplicadas hoje está em fase inicial de desenvolvimento de mercado. Por isso, seus custos são geralmente mais altos que os dos sistemas convencionais com os quais competem. Os custos também podem depender das condições locais como o regime de ventos, a disponibilidade da oferta de biomassa barata ou a necessidade essencial de cumprir o licenciamento ambiental na construção de uma usina hidrelétrica. Contudo, há um grande potencial para a redução de custos, através de aperfeiçoamentos técnicos e de fabricação em larga escala, especialmente no longo prazo definido neste estudo.

Para identificar custos de desenvolvimento no longo prazo, foram aplicadas curvas de aprendizagem que refletem a correlação entre a capacidade cumulativa e a evolução dos custos. Para muitas tecnologias, o fator de aprendizagem (ou razão de progressão) cai na variação entre 0,75 para sistemas menos maduros e 0,95 ou mais para tecnologias bem estabelecidas. Um fator de 0,9 significa que os custos estão previstos para cair em 10% toda vez que o output cumulativo da tecnologia dobra. As razões de progressão específicas de tecnologias são derivadas de uma revisão bibliográfica. Isto mostra, por exemplo, que o fator de aprendizagem para módulos solares PV têm sido bastante constantes em 0,8 nos últimos 30 anos enquanto a energia eólica varia de 0,75 no Reino Unido para 0,94 na Alemanha, que tem um mercado mais amadurecido para esta tecnologia.





**Figura 10: Variação dos atuais custos de geração de eletricidade pelas fontes de energias renováveis na Europa (excluindo PV, com custos de 45 a 80 centavos/kWh). As pontas das variações altas (tonalidade clara) e baixas (tonalidade escura) refletem variações de condições locais – velocidade do vento, radiação solar etc**

### 1. Fotovoltaicos (PV)

Embora o mercado mundial de PV tenha crescido mais de 30% ao ano nos últimos anos, a contribuição da tecnologia fotovoltaica para a geração de eletricidade ainda é muito pequena. O foco dos pesquisadores da tecnologia é o aperfeiçoamento de módulos existentes e componentes do sistema e no desenvolvimento de novos tipos de células no setor de filmes finos e novos materiais para as células cristalinas. A previsão é que a eficiência comercial das células cristalinas melhore de 15% a 20% nos próximos anos e que as células de filmes finos que utilizam menos matéria-prima estejam disponíveis no mercado.

O fator de aprendizagem para módulos PV tem se mantido constante em 0.8 por um período de mais de 30 anos, indicando um índice alto contínuo de aprendizagem técnica e redução de custo. Considerando uma capacidade global instalada de 2.000 GW em 2050 e uma diminuição na taxa de aprendizagem após 2030, calcula-se que os custos de geração de eletricidade estarão por volta de 5-9 centavos/kWh em 2050. Comparada com outras tecnologias de renováveis, a energia fotovoltaica deve, portanto, ser classificada como uma opção a longo prazo. Sua importância deriva de sua grande flexibilidade e seu enorme potencial técnico.

### 2. Usinas de energia solar térmica concentrada

Usinas solares térmicas de “concentração” só podem utilizar luz solar direta e são, portanto, dependentes de locais com alta incidência solar. A África do Norte, por exemplo, tem um potencial técnico que excede em muito sua demanda local. As variadas tecnologias solares térmicas (refletores parabólicos de calha, torres de energia e concentradores de discos parabólicos) oferecem boas perspectivas para futuros progressos e redução de custos. Um avanço importante é a criação de grandes reservatórios de energia

térmica que possam estender o tempo de operação desses sistemas para além do período de iluminação solar.

Devido ao pequeno número de concentradores de energia solar (CSP) construídos até agora, é difícil obter fatores de aprendizagem confiáveis para este setor. Neste relatório, assume-se que o fator aprendizagem de 0,88, obtido a partir de dados dos refletores parabólicos de calha construídos na Califórnia, pode passar para 0,95 no processo de assimilação da nova tecnologia pelo mercado depois de 2030. A Avaliação Energética Mundial das Nações Unidas prevê que o mercado de geração de eletricidade solar térmica vai desfrutar de um crescimento dinâmico similar ao da indústria eólica, mas com um atraso de 20 anos. Dependendo do nível de irradiação e modo de operação, prevêem-se custos de geração de eletricidade em 5-8 centavos/kWh, pressupondo-se sua rápida introdução no mercado nos próximos anos.

### **3. Coletores solares térmicos para aquecimento e resfriamento**

Pequenos sistemas de coletores solares térmicos para água e aquecimento auxiliar já estão bem desenvolvidos para vários tipos de aplicação. Por outro lado, grandes reservatórios de aquecimento sazonal para armazenar o calor do verão até o inverno, quando o aquecimento se faz necessário, estão disponíveis somente em escala piloto. Apenas com sistemas locais de aquecimento com armazenamento temporário seria possível suprir uma larga fatia do mercado de aquecimento de baixa temperatura com energia solar. Fatores cruciais para seu lançamento no mercado são baixos custos de armazenamento e produção adequada e aproveitável de calor.

Informações do mercado europeu de coletores indicam um fator de aprendizagem de aproximadamente 0,90 para coletores solares, uma indicação de um sistema relativamente bem desenvolvido a partir de uma perspectiva tecnológica. Por outro lado, prevê-se que a construção de reservatórios temporários de calor terá uma redução de custos de mais de 70% no longo prazo. No futuro, dependendo da configuração do sistema, será possível alcançar custos solares térmicos entre 4 e 7 centavos/kWh térmico.

### **4. Energia eólica**

Em um curto período de tempo, o desenvolvimento da energia eólica resultou no estabelecimento de um próspero mercado global. As maiores turbinas de vento do mundo, várias delas instaladas na Alemanha, têm capacidade de 6 MW. O custo de novos sistemas tem, contudo, estagnado em alguns países nos últimos anos devido ao contínuo aumento da demanda e investimentos consideráveis dos fabricantes no aperfeiçoamento da tecnologia e desenvolvimento e introdução de novos sistemas. O resultado é que o fator de aprendizagem observado para turbinas de vento construídas entre 1990 e 2000 na Alemanha era somente 0,94. Contudo, desde que os desenvolvimentos técnicos proporcionaram aumentos de produção, os custos de geração de eletricidade tendem a diminuir. Prevê-se um maior potencial de redução de custos, com a taxa de aprendizagem correspondentemente mais alta.

Enquanto o relatório Perspectivas da Energia Mundial 2004 da AIE espera que a capacidade eólica mundial cresça somente a 330 GW até 2030, a Avaliação Energética Mundial das Nações Unidas prevê um nível de saturação global de cerca de 1.900 GW para o mesmo período. Já a versão 2006 do Perspectivas Global de Energia Eólica projeta uma capacidade global acima de 3.000 GW até 2050. Uma curva de experiência para turbinas eólicas é derivada da combinação dos atuais fatores de aprendizagem observados com uma previsão de alto crescimento no mercado, orientado através do Panorama Global de Energia Eólica, indicando que os custos para turbinas eólicas será reduzidos em 40% por volta de 2050.

### **5. Biomassa**

O fator crucial para o uso comercial da biomassa é o custo da matéria-prima básica, que hoje varia de um custo negativo para resíduos de madeira (crédito para custos de coleta e tratamento do lixo evitado), passando por materiais residuais de baixo custo até chegar a plantações de biocombustíveis de custo

elevado. Consequentemente, o espectro de custos de geração de energia a partir de biomassa é bastante amplo.

Uma das opções mais econômicas é o uso de restos de madeira oriundas de turbinas a vapor de usinas combinadas de calor e energia (CHP). A gasificação de biocombustíveis sólidos, por outro lado, que proporciona uma ampla variedade de aplicações, ainda é relativamente cara. Espera-se que custos mais acessíveis de produção de eletricidade sejam alcançados com a utilização de gás de madeira em micro unidades de CHP (motores e células combustíveis) e em usinas a gás e vapor.

Há ainda um grande potencial para uso de biomassa sólida na geração de calor tanto em pequenos quanto em grandes centros geradores de calor conectados às redes de aquecimento locais. A conversão de plantações em etanol e 'biodiesel' a partir de ésteres metílicos e etílicos proveniente de diferentes oleaginosas ganhou muita importância nos últimos anos na Europa, EUA e Brasil. Os processos para a obtenção de combustíveis sintéticos de gases biogênicos também terão um papel importante.

Existe um grande potencial para explorar as modernas tecnologias na América Latina, Europa e economias em transição, tanto em fontes estacionárias quanto no setor de transportes. Para essas regiões, prevê-se que, no longo prazo, 60% do potencial de biomassa serão provenientes das plantações específicas para a produção de energia e o restante de resíduos florestais e industriais de madeira e palha.

Em outras regiões, como o Oriente Médio, o sul da Ásia ou China, o uso adicional da biomassa é restrito, em decorrência, no geral, da baixa disponibilidade ou porque seu uso tradicional já é bastante difundido. Nestes casos, tecnologias mais eficientes poderão aperfeiçoar a sustentabilidade do atual uso da biomassa.

## **6. Geotérmica**

A energia geotérmica tem sido utilizada mundialmente há tempos para aquecimento, enquanto a geração de eletricidade é limitada a poucos locais com condições geológicas específicas. Extensas pesquisas adicionais e desenvolvimentos são necessários para acelerar o progresso dessa tecnologia. Em particular, a criação de vastas superfícies de troca de calor subterrâneas (tecnologia HDR) e o aperfeiçoamento de geradoras de calor e energia com o Ciclo Orgânico Rankine (ORC, em inglês).

Como uma grande parte dos custos das usinas geotérmicas são decorrentes da perfuração profunda, as informações já disponíveis do setor petrolífero podem ser usadas, com fatores de aprendizagem observados de menos de 0,80. Considerando um crescimento médio global do mercado de energia geotérmica de 9% ao ano até 2020, reduzido para 4% depois de 2030, o resultado seria uma potencial redução de custos em 50% até 2050. Além disso, apesar dos altos valores atuais (cerca de 20 centavos/kWh), os custos da produção de eletricidade – dependendo dos custos de fornecimento de calor – estão previstos para baixar para cerca de 6-10 centavos/kWh no longo prazo. Devido à sua oferta não flutuante, a energia geotérmica é considerada um elemento-chave na infra-estrutura futura de oferta de energia baseada em fontes renováveis.

## **7. Hidrelétricas**

A energia hidrelétrica é uma tecnologia madura que vem sendo utilizada para geração de eletricidade de uso comercial em larga escala. Um potencial adicional pode ser explorado primeiramente pela modernização e expansão dos sistemas existentes. O limitado potencial de redução de custos remanescente poderá, provavelmente, ser anulado com o aumento dos problemas das futuras obras e o crescimento das exigências ambientais. Pode-se prever que, para os sistemas de pequena escala, onde os custos de geração de energia são geralmente mais altos, a necessidade de cumprir as exigências ecológicas envolverá proporcionalmente custos mais altos que para os grandes sistemas.

### **Resumo do aumento de custos de energias renováveis**

A figura 12 resume as tendências de custo para tecnologias de energia renovável derivadas das respectivas curvas de aprendizagem. Deve-se enfatizar que a redução prevista de custos não decorre apenas do tempo, mas também da capacidade cumulativa. Portanto, faz-se necessário um desenvolvimento dinâmico do mercado. Em 2020, a maioria das tecnologias deve reduzir seus custos de investimentos específicos entre 30% e 60% em relação aos níveis atuais, e entre 20% e 50% a partir do momento em que for atingido seu completo desenvolvimento (que deve ocorrer depois de 2040).

Menores custos de investimentos para as tecnologias de energias renováveis significam uma redução dos custos de eletricidade e aquecimento, como mostra a Figura 12. Os custos de geração hoje estão por volta de 8 a 20 centavos/kWh para as mais importantes tecnologias, com exceção dos fotovoltaicos. No longo prazo, prevê-se que os custos caiam para cerca de 4 a 10 centavos/kWh. Essas estimativas dependem de condições específicas locais como o regime de ventos ou a incidência solar, a disponibilidade de biomassa a preços razoáveis ou a garantia de abertura de crédito para aumentar a oferta de aquecimento por geração combinada de calor e energia.

## 5. Principais Resultados do Cenário Global da Revolução Energética

Neste relatório, duas conjunturas até o ano 2050 são esboçadas. O Cenário de Referência é baseado em um contexto de referência publicado pela AIE no documento *Perspectivas da Energia Mundial 2004*, extrapolado para o período pós-2030. Comparado a essas projeções, o novo relatório *Perspectivas da Energia Mundial 2006* considerou uma taxa média anual de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) mundial levemente maior, de 3,4% ao invés de 3,2%, para o período entre 2004-2030. O relatório de 2006 prevê um consumo final de energia, em 2030, 4% maior que o estudo de 2004. Uma análise sensível do impacto do crescimento econômico na demanda de energia sob o Cenário da Revolução Energética mostra que um aumento da média mundial do PIB de 0,1% (sobre o período de 2003-2050) leva a um aumento na demanda energética final de cerca de 0,2%.

Até 2050, o Cenário da Revolução Energética tem como meta reduzir as emissões mundiais de gases estufa em 50% em relação aos níveis de 1990. As emissões per capita de dióxido de carbono seriam reduzidas para menos de 1.3 toneladas por ano, mantendo o aumento da temperatura média global menor do que 2°C. Um objetivo secundária é a diminuição global do uso da energia nuclear. Para alcançar esses objetivos, o cenário é caracterizado por esforços significativos para a ampla exploração do vasto potencial de eficiência energética. Ao mesmo tempo, todas as fontes de energias renováveis rentáveis são disponibilizadas para a geração de aquecimento e eletricidade, bem como para a produção de biocombustíveis.

Atualmente, as fontes de energias renováveis fornecem 13% da demanda mundial de energia primária. Cerca de 80% do fornecimento de energia primária ainda vem dos combustíveis fósseis e os 7% restantes vêm da energia nuclear. A biomassa, que é utilizada principalmente para aquecimento, é a principal fonte de energia renovável. Já na geração de eletricidade, a parcela da energia renovável corresponde a 18%, enquanto a contribuição dos renováveis na oferta de aquecimento é de 26%.

O Cenário da Revolução Energética descreve um padrão de desenvolvimento de transição da situação presente para um modelo sustentável de oferta de energia.

- A exploração do grande potencial de eficiência energética previsto no cenário da Revolução Energética reduzirá a demanda de energia primária dos atuais 435.000 PJ/a (Peta Joules por ano) para 410.000 PJ/a até 2050. Já sob o Cenário de Referência, haverá um aumento para 810.000 PJ/a. A drástica redução na demanda que a economia de energia trará é um pré-requisito essencial para que as fontes de energias renováveis respondam por uma parcela significativa da oferta de energia, compensando a redução do uso da energia nuclear e dos combustíveis fósseis.
- O aumento do uso da geração combinada de calor e energia (CHP) também melhora a eficiência de conversão energética dos sistemas geradores, que passariam a se utilizar cada vez mais de gás natural ou biomassa como matéria-prima. No longo prazo, a diminuição da demanda e a produção de calor diretamente de fontes de energia renovável limitarão uma maior expansão dos sistemas CHP.
- O setor de eletricidade será o pioneiro na utilização da energia renovável. Até 2050, cerca de 70% da eletricidade será produzida a partir de fontes renováveis de energia, incluindo energia hídrica produzida em larga escala. Uma capacidade instalada de 7.100 GW produzirá 21.400 Terawatt/hora por ano (TWh/a) de eletricidade em 2050.

- No setor de aquecimento, a contribuição dos renováveis aumentará para 65% até 2050. Combustíveis fósseis serão rapidamente substituídos por tecnologias mais evoluídas e eficientes, particularmente biomassa, coletores solares e geotérmicos.
- Antes dos biocombustíveis passarem a desempenhar um papel substancial no setor de transportes, o enorme potencial de eficiência energética deve ser explorado. Neste estudo, a biomassa é principalmente destinada às fontes estacionárias; o uso dos biocombustíveis para transporte será limitado de acordo com o volume de biomassa produzida sustentavelmente.
- Até 2050, metade da demanda de energia primária será suprida com fontes de energias renováveis.

**Para atingir um crescimento economicamente competitivo das fontes de energias renováveis, o emprego equilibrado e oportuno de todas as tecnologias é fundamental. Sua escolha dependerá dos potenciais técnicos, custos atuais, redução potencial de custos e desenvolvimento tecnológico.**

### **Evolução das emissões de CO2**

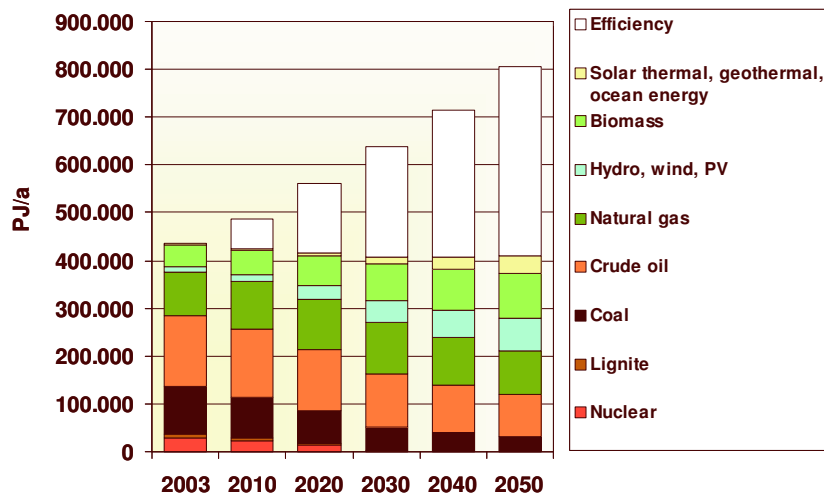
No Cenário de Referência, as emissões de CO2 irão quase dobrar em todas as regiões do mundo 2050 - cenário distante de um padrão sustentável de desenvolvimento. Já no Cenário da Revolução Energética, as emissões diminuirão de 23 bilhões de toneladas em 2003 para 12 bilhões de toneladas em 2050. As emissões anuais per capita cairão de 4 toneladas para 1.3 tonelada. Apesar da eliminação gradual da energia nuclear e o aumento da demanda de eletricidade, as emissões de CO2 no setor de eletricidade diminuirão radicalmente. No longo prazo, a eficiência crescerá e o aumento do uso de biocombustíveis acarretará redução das emissões de CO2 no setor de transportes. Com uma parcela de 36% do total das emissões de CO2 em 2050, o setor energético ficará atrás do setor de transportes no ranking dos maiores emissores.

### **Custos**

Em termos de custos de oferta de energia, a tendência é de aumento contínuo para suprir uma demanda sempre crescente. No Cenário de Referência, o crescimento da demanda, o aumento dos preços dos combustíveis fósseis e os custos das emissões de CO2 resultam em um aumento de quase 4 vezes dos custos totais com eletricidade - dos atuais US\$ 1.130 bilhões por ano para mais de US\$ 4.300 bilhões por ano em 2050. Já o Cenário da Revolução Energética cumpre as metas globais de redução de CO2 e ajuda a estabilizar os custos de energia, aliviando, deste modo, a pressão econômica sobre a sociedade. Aumentar a eficiência energética e incrementar a oferta energética proveniente de fontes de energias renováveis resultará, no longo prazo, em uma redução de um terço dos custos da eletricidade constatados no Cenário de Referência. Fica claro que planejar de acordo com metas ambientais rigorosas no setor energético também é uma opção bem sucedida do ponto de vista econômico.

**Para tornar a Revolução Energética uma realidade e evitar os perigos das mudanças climáticas, o Greenpeace reivindica que o setor de energia:**

- Elimine gradualmente todos os subsídios para combustíveis fósseis e energia nuclear e a internalização dos custos externos
- A definição de metas legais obrigatórias para energias renováveis
- Retorno estável e definido para os investidores no setor
- A garantia de acesso prioritário dos geradores renováveis à rede de eletricidade
- Padrões de eficiência energéticos rigorosos para todas as aplicações, construções e veículos consumidores de energia



Eficiência  
 Solar térmico, geotérmico, energia oceânica  
 Biomassa  
 Hídrica, vento, PV  
 Gás natural  
 Petróleo bruto  
 Carvão  
 Lignite  
 Nuclear

Figura 1: Evolução do consumo de energia primária sob o Cenário da Revolução Energética ('Eficiência' = redução comparada ao Cenário de Referência)

## 7. Segurança energética

A questão da segurança energética está na lista de prioridades da agenda política internacional. As preocupações concentram-se nos custos e na disponibilidade física de fornecimento. No momento, cerca de 80% da demanda energética global é atendida por combustíveis fósseis. O incessante aumento da demanda energética é suprido às custas da exaustão desses recursos, que são finitos. A concentração geográfica das fontes de petróleo e gás também não é compatível com a distribuição da demanda. Alguns países dependem quase que inteiramente de importações de energia. Os mapas a seguir ilustram a disponibilidade e distribuição regional dos diferentes combustíveis. As informações deste capítulo baseiam-se parcialmente no relatório *Plugging the Gap - Renewable Energy Systems*, do Conselho Global de Energia Eólica, de 2006.

### Petróleo

O petróleo é o sangue da economia moderna global, como ficou claro na crise de fornecimento da década de 70. É a fonte mais importante de energia, supridendo 36% das necessidades mundiais. O petróleo é empregado quase que exclusivamente para usos essenciais como transporte. No entanto, a capacidade das reservas de petróleo suprirem a crescente demanda global tem gerado um debate acalorado, por vezes obscurecido por informações pobres e a recente escalada de preços.

### O caos das reservas de combustíveis fósseis

As informações públicas sobre as reservas de petróleo e gás são inconsistentes e não totalmente confiáveis por razões legais, comerciais, históricas e, às vezes, políticas. As fontes mais conhecidas e citadas são os periódicos da indústria de petróleo *Oil & Gas Journal* e *World Oil*. Estas publicações têm utilidade limitada, já que relatam dados sobre as reservas fornecidos pelas empresas e governos sem qualquer análise

ou verificação independente. No mais, não existe uma padronização universal para a definição de reservas e seus respectivos relatos. Os dados geralmente sustentam diferentes grandezas físicas e conceituais. Uma terminologia confusa (“evidenciada”, “provável”, “possível”, “recuperável”, “razoável certeza”), somente contribui para o problema.

Historicamente, as companhias privadas de petróleo vêm subestimando suas reservas, obedecendo a regras conservadoras do mercado financeiro e à prudência comercial. Toda vez que uma descoberta era feita, apenas uma parte dos recursos estimados pelos geologistas era relatada; as revisões nos anos seguintes aumentariam as reservas daquele mesmo campo petrolífero.

Companhias nacionais de petróleo, representadas quase que integralmente pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), não estão sujeitas a qualquer tipo de contabilidade. Portanto, seus relatórios periódicos são ainda menos esclarecedores. No final da década de 80, os países da OPEP declararam possuir reservas de petróleo muito maiores do que as reais, enquanto competiam por quotas de produção. Estas quotas de produção eram alocadas de forma proporcional ao volume de reservas. Entre 1985 e 1990, após a nacionalização das companhias, os países da OPEP aumentaram suas reservas conjuntas em 82%. Essas revisões duvidosas nunca foram verificadas. Muitos desses países continuaram declarando as mesmas reservas intocadas durante anos, sem que nenhuma grande descoberta tenha sido feita e a produção tenha continuado no mesmo patamar. Para piorar, as reservas de petróleo e gás da antiga União Soviética foram superestimadas em cerca de 30% porque os registros originais foram mal interpretados.

Apesar de as companhias privadas estarem agora se tornando mais realistas em relação à extensão de suas reservas, os países da OPEP controlam a maioria absoluta das reservas conhecidas. As informações sobre os recursos destes países continuam insatisfatórias. Em resumo, as informações sobre esses recursos devem ser consideradas com cautela. Uma estimativa imparcial e confiável das reservas mundiais de petróleo deveria ser elaborada com base em uma avaliação média retroativa das descobertas regionais.

## **Gás**

O gás natural foi a fonte de energia fóssil que mais cresceu nas últimas duas décadas, impulsionado por seu papel cada vez maior na geração mista de eletricidade. Geralmente, o gás é considerado uma fonte abundante, mas existem poucos estudos conclusivos sobre as reservas de gás.

Os campos de gás são mais concentrados que os de petróleo e foram descobertos mais rapidamente, pois alguns poucos campos representam a maior parte das reservas mundiais: o maior campo de gás do mundo tem 15% dos “Últimos Recursos Recuperáveis” (Ultimate Recoverable Resources), comparado aos 6% do maior campo de petróleo. Infelizmente, os dados sobre as reservas de gás sofrem dos mesmos males de imprecisão de informações que atinge o petróleo, já que o gás vem do mesmo tipo de formação geológica e tem os mesmos atores envolvidos na sua exploração.

De forma geral, a maioria das reservas descobertas é inicialmente subestimada e, então, gradualmente revisada para cima, oferecendo uma impressão otimista de crescimento. Acredita-se que as reservas da Rússia, as maiores do mundo, foram superestimadas em cerca de 30%. Devido às similaridades geológicas, os recursos de gás seguem a mesma dinâmica de depleção do petróleo e, portanto, os mesmos ciclos de descoberta e produção. As informações existentes para o gás são ainda menos confiáveis do que as disponíveis para o petróleo. Não é possível saber ao certo a quantidade de gás que já produzida, já que o gás queimado e expelido nem sempre é considerado. Diferentemente das reservas publicadas, os estoques tecnicamente conhecidos têm se mantido praticamente constantes desde 1980. A grosso modo, as novas descobertas têm se equiparado à produção.

## **Carvão**

O carvão era a maior fonte mundial de energia primária até ter sido ultrapassado pelo petróleo nos anos 60. Atualmente, o carvão fornece quase 25% da energia mundial. Apesar de sua abundância, o crescimento da exploração do carvão é hoje ameaçado pelas preocupações ambientais. O futuro do combustível será determinado pelos acontecimentos relacionados à segurança energética e ao aquecimento global.

O carvão é um recurso abundante e melhor distribuído geograficamente do que o petróleo e o gás. As reservas recuperáveis globais são as maiores entre todos os combustíveis fósseis. Boa parte dos países do mundo tem pelo menos um pouco de carvão. Grandes consumidores ou futuros grandes consumidores de energia, como Estados Unidos, China e Índia, são auto-suficientes em carvão e continuarão a sê-lo no futuro previsível.

O carvão vem sendo explorado em larga escala há dois séculos. Desta forma, tanto o produto quanto as fontes existentes são bem conhecidas e não existem previsões de identificação de novos depósitos substanciais. Extrapolando as estimativas futuras da demanda, o mundo consumirá 20% de suas atuais reservas até 2030 e 40% até 2050. Ou seja, se as tendências atuais forem mantidas, ainda haveria fornecimento de carvão por algumas centenas de anos.

**Tabela 8: Visão geral das reservas e fontes de combustíveis fósseis**

**Table 3.2-1**  
Reserves, resources and additional occurrences of fossil energy carriers according to different authors. *c* conventional (petroleum with a certain density, free natural gas, petroleum gas, *nc* non-conventional (heavy fuel oil, very heavy oils, tar sands and oil shale, gas in coal seams, aquifer gas, natural gas in tight formations, gas hydrates). The presence of additional occurrences is assumed based on geological conditions, but their potential for economic recovery is currently very uncertain. In comparison: In 1998, the global primary energy demand was 402EJ (UNDP et al., 2000).  
Sources: see Table

Energy carrier	Brown, 2002	IEA, 2002c	IPCC, 2001a	Nakicenovic et al., 1998	UNDP et al., 2000	BGR, 1998
[EJ]						
<b>GAS</b>						
Reserves	5,600	6,200	<i>c</i> 5,400 <i>nc</i> 8,000	<i>c</i> 5,900 <i>nc</i> 8,000	<i>c</i> 5,500 <i>nc</i> 9,400	<i>c</i> 5,300 <i>nc</i> 100
Resources	9,400	11,100	<i>c</i> 11,700 <i>nc</i> 10,800	<i>c</i> 11,700 <i>nc</i> 10,800	<i>c</i> 11,100 <i>nc</i> 23,800	<i>c</i> 7,800 <i>nc</i> <sup>a)</sup> 111,900
Additional occurrences			796,000	799,700	930,000	
<b>OIL</b>						
Reserves	5,800	5,700	<i>c</i> 5,900 <i>nc</i> 6,600	<i>c</i> 6,300 <i>nc</i> 8,100	<i>c</i> 6,000 <i>nc</i> 5,100	<i>c</i> 6,700 <i>nc</i> 5,900
Resources	10,200	13,400	<i>c</i> 7,500 <i>nc</i> 15,500	<i>c</i> 6,100 <i>nc</i> 13,900	<i>c</i> 6,100 <i>nc</i> 15,200	<i>c</i> 3,300 <i>nc</i> 25,200
Additional occurrences			61,000	79,500	45,000	
<b>COAL</b>						
Reserves	23,600	22,500	42,000	25,400	20,700	16,300
Resources	26,000	165,000	100,000	117,000	179,000	179,000
Additional occurrences			121,000	125,600		
<i>Total resource (reserves + resources)</i>	180,600	223,900	212,200	213,200	281,900	361,500
<i>Total occurrence</i>			1,204,200	1,218,000	1,256,000	

<sup>a)</sup>including gas hydrates

**Tabela 3.2-1**

Reservas, fontes e ocorrências adicionais de portadores de energia fóssil de acordo com diferentes autores. *c* convencional (petróleo com uma certa densidade, gás natural livre, gás petróleo), *nc* não convencional (petróleo combustível pesado, petróleos muito pesados, areia de piche e óleo de xisto, gás em filões de carvão, gás aquífero, gás natural, gás em formações estreitas, gás hidrato). A presença de ocorrências adicionais é admitida baseada nas condições geológicas, mas seu potencial para a recuperação econômica é atualmente bastante incerto. Em comparação: Em 1998, a demanda global de energia primária era 402 EJ (UNDP et al., 2000).

Portador de Energia

Reservas de Gás

Recursos

Ocorrências Adicionais

Reservas de Petróleo

Fontes

Ocorrências Adicionais

Reservas de Carvão

Fontes

Ocorrências Adicionais

Total de reservas (reservas + fontes)

Total de ocorrências

\* incluindo gás hidratado

### Tabelas 9-11: Hipóteses de uso de combustíveis fósseis no Cenário da Revolução Energética

#### Petróleo

Global Oil Consumption (Graph 4)	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Reference [PJ]	147.425	176.791	206.365	231.237	256.069	284.010
Reference [million barrel]	24.089	28.887	33.720	37.784	41.841	46.407
Alternative [PJ]	147.425	144.085	128.606	110.865	98.832	87.135
Alternative [million barrel]	24.089	23.543	21.014	18.115	16.149	14.238

Consumo global de petróleo (Gráfico 4)

Referência (PJ)

Referência (milhão barril)

Alternativa (PJ)

Alternativa (milhão barril)

#### Gás

Global Gas Consumption (Graph 4)	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Reference [PJ]	93.230	101.344	123.691	145.903	166.033	189.471
Reference [billion cubic meters = 10E9m3]	2.453	2.667	3.255	3.840	4.369	4.986
Alternative [PJ]	93.227	98.994	103.975	107.023	100.822	93.055
Alternative [billion cubic meters = 10E9m3]	2.453	2.605	2.736	2.816	2.653	2.449

Consumo global de gás (Gráfico 4)

Referência (PJ)

Referência (bilhão de metros cúbicos = 10E9m3)

Alternativa (PJ)

Alternativa (bilhão de metros cúbicos = 10E9m3)

## Carvão

Global Coal Consumption (Graph 4)	2003	2010	2020	2030	2040	2050
Reference [PJ]	107.902	112.992	126.272	146.387	170.053	202.794
Reference [million t]	5.367	5.499	6.006	6.884	7.916	9.356
Alternative [PJ]	107.903	90.126	70.858	51.530	39.717	31.822
Alternative [million t]	5.368	4.380	3.325	2.343	1.748	1.382

Consumo global de carvão (Gráfico 4)

Referência (PJ)

Referência (milhão t)

Alternativa (PJ)

Alternativa (milhão t)

## Nuclear

O urânio, mineral usado como combustível nas usinas nucleares, é um recurso finito cuja exploração econômica é limitada. Sua distribuição é quase tão concentrada quanto a do petróleo e não corresponde às necessidades de consumo. Cinco países – Canadá, Austrália, Casaquistão, Rússia e Níger – controlam três quartos do suprimento mundial. As reservas da Rússia, um dos grandes consumidores de urânio, devem estar esgotadas em um prazo de 10 anos.

Fontes secundárias, como depósitos antigos, atualmente, compõem quase metade das reservas mundiais de urânio. No entanto, essas reservas também se esgotarão em breve. A capacidade de mineração terá que ser quase duplicada nos próximos anos para atender à demanda.

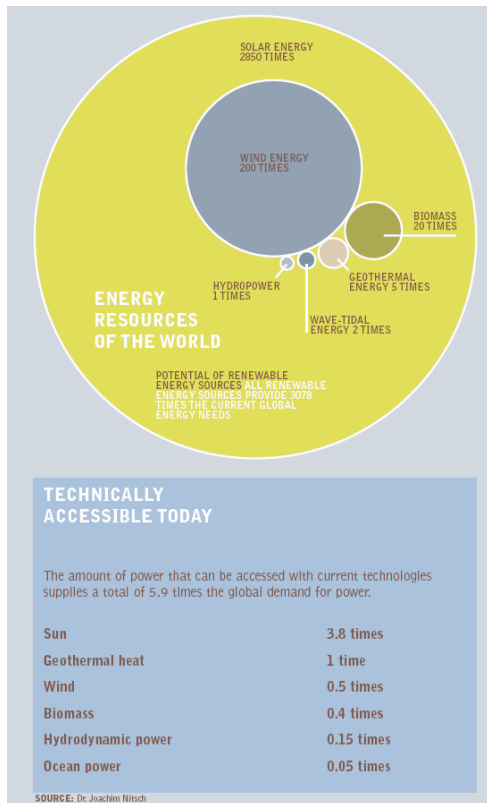
Um relatório conjunto da Agência de Energia Nuclear da OCDE e da Agência Internacional de Energia Atômica (Urânio 2003: Reservas, Produção e Demanda) estima que, com a atual tecnologia, todas as usinas nucleares existentes terão esgotado seus combustíveis nucleares em menos de 70 anos. Considerando os vários cenários para o desenvolvimento mundial da energia nuclear, é provável que o fornecimento de urânio se esgote em algum momento entre 2026 e 2070. Assumindo uma tendência decrescente no uso da energia nuclear, as estimativas realistas indicam que a oferta será suficiente somente para alguns países até 2050. Essa previsão inclui depósitos de urânio e o uso de Combustível Óxido Misto (MOX), uma mistura de urânio e plutônio.

## Energia renovável

A natureza oferece uma ampla variedade de opções para a produção de energia. Trata-se, essencialmente, da questão de como converter a luz do sol, o vento, a biomassa ou a água em eletricidade, calor ou energia, do modo mais eficiente, sustentável e rentável possível.

Em média, a energia solar que atinge a Terra é de cerca de um quilowatt por metro quadrado. De acordo com a Associação de Pesquisa para a Energia Solar, a energia disponibilizada pelas fontes de energias renováveis é 2.850 vezes maior do que a demanda atual do planeta. Em apenas um dia, a luz do sol que chega à Terra produz energia suficiente para satisfazer as atuais exigências mundiais de energia por oito anos. Apesar disso, apenas um percentual desse potencial está tecnicamente acessível. Mesmo assim, ainda é suficiente para fornecer seis vezes mais energia do que o mundo precisa atualmente.

**Figura 29, Tabela 12**



## FONTES MUNDIAIS DE ENERGIA

POTENCIAL DAS FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – TODAS AS FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS FORNECEM 3.078 VEZES A ATUAL ENERGIA GLOBAL NECESSÁRIA

Energia solar	2.850 vezes
Energia eólica	200 vezes
Biomassa	20 vezes
Energia geotérmica	5 vezes
Energia vento-marés	2 vezes
Energia hídrica	1 vez

## TECNICAMENTE DISPONÍVEL HOJE

A quantidade de energia que pode ser acessada com as tecnologias atuais fornece um total de 5,9 vezes a demanda global por energia

Sol	3,8 vezes
Calor geotérmico	1 vez
Vento	0,5 vez
Biomassa	0,4 vez
Energia hídrica	0,15 vez
Energia dos oceanos	0,05 vez

Fonte: Dr. Joachim Nitsch

**Definição dos tipos potenciais de fontes de energia <sup>4</sup>**

<sup>4</sup> WBGU

**Potencial teórico**

O potencial teórico identifica o limite físico mais alto de energia disponível de um determinado recurso. Para a energia solar, por exemplo, isto significa o total de radiação solar que atinge a superfície da Terra.

**Potencial de conversão**

É derivado da eficiência anual da respectiva tecnologia de conversão. Portanto, não é um valor rigorosamente definido, visto que a eficiência de uma dada tecnologia depende do progresso tecnológico.

**Potencial técnico**

Considera restrições adicionais em relação à área que está disponível no mundo real para a geração de energia. São consideradas aqui restrições tecnológicas, estruturais, legais e ecológicas.

**Potencial econômico**

É a proporção do potencial técnico que pode ser utilizado economicamente. Para a biomassa, por exemplo, são incluídas aquelas quantidades que podem ser exploradas e são economicamente competitivas em relação a outros produtos e usos agrários.

**Potencial sustentável**

Limita o potencial de uma fonte de energia com base na avaliação de fatores ecológicos e sócio-econômicos.

Os mapas de recursos a seguir mostram a distribuição regional de energia estimada que pode ser recuperada e utilizada. Os cálculos foram feitos com base na rede global de eletricidade com uma resolução de 0.5° de longitude e latitude. O potencial resultante é especificado como densidade média de energia por área de superfície ou por módulo inclinado/área de conversão, de modo que a unidade de medida é sempre “output por área”.

## 9. Recomendações Políticas

Em uma época de liberalização em escala mundial dos mercados de eletricidade, o aumento da competitividade das energias renováveis deve incrementar sua participação na geração de energia. Contudo, sem apoio político, a energia renovável permanece em desvantagem. As renováveis enfrentam uma cultura de distorções dos mercados mundiais de eletricidade, instaurada por décadas de apoio financeiro, político e estrutural às tecnologias convencionais. O desenvolvimento das renováveis exige sérios esforços políticos e econômicos, especialmente através de leis que garantam tarifas estáveis por um período maior do que 20 anos.

Os novos geradores de energias renováveis competem com velhas usinas nucleares e de combustíveis fósseis, que produzem eletricidade a custos baixos devido à depreciação dos parques energéticos e porque os consumidores e contribuintes já pagaram os juros dos investimentos originais. A ação política se faz necessária para superar tais distorções, criando condições de mercado para as renováveis.

A seguir, um resumo das atuais estruturas e barreiras políticas que precisam ser ultrapassadas para destravar a exploração do grande potencial das energias renováveis. Só assim estas fontes limpas e renováveis de energia poderão responder por uma parcela importante da oferta global de energia e contribuir para o crescimento econômico sustentável, empregos de alta qualidade, desenvolvimento de tecnologia, competitividade global e liderança industrial e de pesquisas.

### Metas para as energias renováveis

Nos últimos anos, como parte das políticas de redução dos gases de efeito estufa e de aumento da segurança da oferta de energia, um número crescente de países estabeleceu metas para a adoção de energias renováveis. Essas metas são expressas em termos de capacidade instalada ou como uma parcela do consumo total de energia. Embora não sejam, de maneira geral, instrumentos de vínculo legal, tais metas

têm servido como um catalisador do aumento do uso de renováveis em todo o mundo, da Europa ao Extremo Oriente, passando pelos EUA.

No setor energético, o retorno de investimentos pode levar mais de 40 anos. Portanto, as metas de energias renováveis precisam ser estabelecidas no curto, médio e longo prazos e devem ter vínculo legal para tornarem-se efetivas. As metas devem ainda ser apoiadas por mecanismos financeiros, como uma tarifa verde ou “feed-in-tariff”. As metas devem ser definidas de acordo com o potencial local para cada tecnologia (vento, solar, biomassa etc) e de acordo com a infra-estrutura local, tanto a existente quanto a planejada.

Nos últimos anos, as indústrias de energia eólica e solar têm demonstrado que é possível manter um índice de crescimento de 30% a 35% no setor de renováveis. O Greenpeace e o EREC, em conjunto com a Associação Europeia de Indústria Fotovoltaica, a Associação Europeia de Indústria de Energia Solar Térmica e a Associação Europeia de Indústria Eólica, documentaram o desenvolvimento dessas indústrias a partir de 1990 e esboçaram um prognóstico de crescimento até 2020.

### **Demandas para o setores de política energética**

O Greenpeace e a indústria de renováveis têm uma clara agenda para as mudanças necessárias na elaboração da política energética que incentivem a transição para uma matriz de energia renovável. As principais demandas são:

- Eliminar gradativamente todos os subsídios para a energia fóssil e nuclear e incorporar custos externos como impactos ambientais e sociais
- Estabelecer metas com vínculo legal para a adoção de renováveis
- Proporcionar retornos definidos e estáveis para os investidores
- Garantir prioridade no acesso à rede elétrica para os geradores de energia renovável
- Estabelecer rigorosos padrões de eficiência para todos os utensílios elétricos, prédios e veículos.

Fontes convencionais de energia recebem subsídios estimados em US\$ 250-US\$ 300 bilhões<sup>5</sup>, por ano, em todo o mundo, resultando em mercados profundamente distorcidos. O WorldWatch Institute estima que o total mundial de subsídios ao carvão é da ordem de US\$ 63 bilhões, enquanto só na Alemanha o total é de US\$ 21 bilhões, incluindo apoio direto de mais de US\$ 85.000 por mineiro.

Os subsídios reduzem artificialmente o preço da energia, mantêm a energia renovável fora do mercado e sustentam as tecnologias e combustíveis não competitivos. A eliminação dos subsídios diretos e indiretos dos combustíveis fósseis e nuclear ajudaria a criar um ambiente de competição justa no setor energético.

O relatório *Força Tarefa sobre Energias Renováveis*, produzido pelo G8 em 2001, argumenta que “reconsiderá-los (os subsídios) e fazer um redirecionamento, mesmo que pequeno, desses consideráveis fluxos financeiros em direção às renováveis proporcionaria uma oportunidade de trazer consistência para novos objetivos públicos e internalizaria os custos sociais e ambientais nos preços”. A Força Tarefa recomendou aos países do G8 “tomar medidas para remover os subsídios e incentivos das tecnologias energéticas ambientalmente nocivas e desenvolver e implementar mecanismos de mercado que lidem com as externalidades, capacitando as tecnologias de energias renováveis a competir no mercado em bases mais igualitárias e justas”.

A energia renovável não precisaria de incentivos especiais se os mercados não fossem distorcidos e se os produtores de eletricidade (e do setor energético como um todo) não estivessem virtualmente liberados para poluir. Os subsídios para as tecnologias poluidoras são altamente improdutivos. Retirar os subsídios da eletricidade convencional economizaria não apenas dinheiro dos contribuintes, mas também reduziria drasticamente a necessidade deste tipo de apoio à energia renovável.

Segue uma descrição mais completa do que deve ser feito para eliminar ou compensar as atuais distorções no mercado energético.

### **1. Eliminação das distorções do mercado energético**

Uma grande barreira que impede a energia renovável de atingir seu potencial máximo é a falta de estruturas de regulação de preços nos mercados energéticos que reflitam os custos totais da produção de energia para

---

<sup>5</sup> Relatório UNDP

a sociedade. Por mais de um século, a geração de energia foi caracterizada por monopólios nacionais com mandatos para investir na produção de energia através de subsídios estatais e/ou tributos e taxas nas contas de eletricidade. Como muitos países estão liberalizando seus mercados de eletricidade, essas opções não estão mais disponíveis, o que coloca as novas tecnologias de geração, como a energia eólica, em desvantagem competitiva em relação às tecnologias existentes.

### **Internalização dos custos sociais e ambientais das energias poluidoras**

Os custos reais da produção energética convencional incluem gastos absorvidos pela sociedade, como os impactos à saúde e a degradação ambiental local e regional – da poluição por mercúrio à chuva ácida –, assim como os impactos negativos das mudanças climáticas. Os custos “não declarados” incluem, por exemplo, a ausência de seguro para acidentes nucleares, que é muito caro para ser coberto pelas operadoras das usinas nucleares. A Lei Price-Anderson, nos EUA, limita os encargos das usinas nucleares no caso de um acidente em até US\$ 98 milhões por usina, e somente US\$ 15 milhões por ano por usina, com o restante sendo retirado de um fundo de indústrias de até US\$ 10 bilhões – e quem paga esta conta é o contribuinte<sup>6</sup>.

O prejuízo ambiental deve, como uma prioridade, ser corrigido em sua origem. Traduzindo: idealmente, a produção energética não deveria poluir e é responsabilidade do produtor energético evitar que a poluição. Quem polui deve pagar um valor igual ao prejuízo causado à sociedade. Contudo, os impactos ambientais da geração de eletricidade podem ser difíceis de quantificar. Como atribuir preços aos lares perdidos nas Ilhas do Pacífico como consequência do derretimento das calotas glaciais ou na deterioração da saúde e das vidas humanas?

Um projeto ambicioso, financiado pela Comissão Europeia – ExternE – tem tentado quantificar os custos reais da geração de eletricidade, inclusive custos ambientais. Este projeto estima que os custos da produção de eletricidade a partir do carvão ou do petróleo dobrariam, e do gás aumentariam em 30%, se os custos externos como danos ambientais e sociais fossem considerados. Se os custos ambientais fossem contabilizados na geração de eletricidade de acordo com os seus impactos, muitas fontes renováveis seriam valorizadas e dispensariam incentivos financeiros. Se, ao mesmo tempo, os subsídios diretos e indiretos para a energia fóssil e nuclear fossem abolidos, a necessidade de incentivo para a geração de eletricidade renovável diminuiria consideravelmente ou até deixaria de existir.

### **Introdução do princípio do “poluidor pagador”**

Para que o mercado se torne verdadeiramente competitivo, os custos externos devem ser incluídos no preço da energia. Isso requer que os governos apliquem o princípio do “poluidor pagador”, que, entre outras coisas, cobra taxas dos emissores de CO<sub>2</sub> ou fornece compensações adequadas a quem não polui. A adoção do princípio do “poluidor pagador” para as fontes de eletricidade, ou compensação equivalente para as fontes de energias renováveis são essenciais para se atingir um grau de competitividade mais justo nos mercados mundiais de eletricidade.

## **2. Reforma do Mercado de Eletricidade**

As tecnologias de energias renováveis já seriam competitivas se tivessem recebido o mesmo volume de financiamento e subsídios em pesquisa e desenvolvimento que as outras fontes receberam e se os custos externos estivessem refletidos nos preços da energia. Reformas estruturais no setor de eletricidade são necessárias para que as tecnologias de energia renovável sejam aceitas em larga escala. Estas reformas devem incluir:

### **Remoção das barreiras no setor de eletricidade**

Complexos procedimentos de licenciamento e dificuldades burocráticas constituem um dos mais difíceis obstáculos enfrentados por projetos de energias renováveis em diversos países. Prazos claros para aprovação de novos projetos devem ser definidos por todas as administrações em todos os níveis. Projetos

---

<sup>6 6</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Price-Anderson\\_Nuclear\\_Industries\\_Indemnity\\_Act](http://en.wikipedia.org/wiki/Price-Anderson_Nuclear_Industries_Indemnity_Act)

<sup>6 6</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Price-Anderson\\_Nuclear\\_Industries\\_Indemnity\\_Act](http://en.wikipedia.org/wiki/Price-Anderson_Nuclear_Industries_Indemnity_Act)

de energias renováveis devem ter status de prioridade. Os governos devem propor diretrizes detalhadas para fortalecer a legislação existente e, ao mesmo tempo, aperfeiçoar o procedimento de licenciamento para projetos de energia renovável.

No médio prazo, uma das principais barreiras é a capacidade excedente de geração de eletricidade existente em países da OCDE. Devido ao excedente de produção, ainda é mais barato queimar mais carvão ou gás em uma das usinas existentes do que construir, financiar e investir em uma nova usina de energia renovável. O resultado é que, mesmo em situações em que as renováveis seriam plenamente competitivas em relação a usinas a carvão ou gás, o investimento não é feito. O incentivo às renováveis será necessário para equiparar as forças de mercado até que os preços da eletricidade reflitam os investimentos em nova capacidade e não apenas os custos marginais da capacidade existente.

Outras barreiras incluem a falta de um planejamento de longo prazo em nível nacional, regional e local; ausência de um planejamento integrado de recursos; falta de planejamento e administração de uma rede elétrica integrada; ausência de previsibilidade e estabilidade nos mercados; falta de arcabouço legal para administração de águas transfronteiriças; posse das redes elétricas por companhias integradas verticalmente e ausência de financiamento à pesquisa e desenvolvimento.

Existem ainda problemas como a falta de infra-estrutura para fontes de energias renováveis de grande escala, como a energia eólica costeira ou a energia solar concentrada (CSP, da sigla em inglês); redes fracas ou não existentes em terra; falta de reconhecimento dos benefícios econômicos da geração fixa/distribuída; e requisitos discriminadores pelas prestadoras de serviços para acesso às redes que não refletem a natureza das tecnologias renováveis.

As reformas necessárias para lidar com as barreiras de mercado para as renováveis incluem:

- Procedimentos de planejamento aperfeiçoados e uniformes, sistemas de permissão e planejamentos de rede integrados e mais baratos;
- Acesso às redes com preços justos e transparentes e remoção do acesso discriminatório e das tarifas de transmissão;
- Preço justo e transparente para a energia em toda a rede, com reconhecimento e remuneração para os benefícios da geração fixa;
- Desvinculação das prestadoras em companhias separadas de geração e de distribuição;
- Os custos de desenvolvimento e reforço da infra-estrutura da rede devem ser assumidos pela autoridade administrativa, ao invés de serem assumidos por projetos individuais de energia renovável;
- Divulgação sobre mistura de combustível e impactos ambientais aos usuários, de modo a possibilitar que os consumidores façam uma opção consciente das fontes energéticas.

### **Acesso prioritário à rede**

Regras sobre acesso à rede, transmissão e divisão de custos são, geralmente, bastante inadequadas. A legislação precisa ser clara, especialmente no que se refere à distribuição de custos e taxas de transmissão. Geradores de energias renováveis devem ter prioridade de acesso garantida. A extensão ou o reforço da rede devem ser bancados pelos operadores e compartilhados entre todos os consumidores, porque os benefícios ambientais das renováveis são um bem público e o sistema de operação é um monopólio natural.

### **Mecanismos de incentivo para renováveis**

A seção seguinte faz um resumo dos mecanismos de incentivo existentes e suas experiências de operação para renováveis. Os incentivos, apesar de não serem a melhor opção para corrigir as falhas do mercado no setor energético, são uma solução política prática para reconhecer que, no curto prazo, não há outras maneiras de aplicação do princípio do “poluidor pagador”.

De modo geral, há dois tipos de incentivos para promover a energia renovável: os **Sistemas de Preço Fixo**, onde o governo dita o preço da eletricidade ou dá um prêmio para o produtor de renováveis, e deixa o mercado determinar a quantidade; e os **Sistemas de Quotas de Renováveis** (nos EUA é chamado de Padrões de Portfólio de Renováveis), no qual o governo dita a quantidade de energia renovável e deixa o

mercado determinar o preço.

Ambos os sistemas criam um mercado protegido contra geradores convencionais subsidiados e depreciados, cujos custos ambientais não são considerados. Estes sistemas podem proporcionar incentivos para aperfeiçoamentos tecnológicos e redução de custos, barateando as fontes de energia renovável viabilizando a competição com fontes convencionais no futuro.

A principal diferença entre o sistema baseado em quotas e o baseado em preços é que o primeiro tem por objetivo inserir a competição entre os produtores de eletricidade. Vale ressaltar que a competição entre os fabricantes de tecnologia, fator crucial para baixar os preços da produção de eletricidade, acontece de forma independente da regulamentação de quantidades ou preços pelos governos. Por exemplo, os preços pagos aos produtores de energia eólica são, atualmente, mais altos em muitos sistemas europeus baseados em quotas (Reino Unido, Bélgica, Itália), que nos sistemas de preço fixo ou por recompensa (Alemanha, Espanha e Dinamarca).

- **Sistemas de Preços Fixos**

Sistemas de preços fixos incluem subsídios de investimentos, tarifas fixas *feed-in*, sistemas de recompensa pré-fixada e créditos de impostos.

**Os subsídios de investimentos** são pagamentos financeiros geralmente feitos com base na potência avaliada (em kW) do gerador. Geralmente, sistemas que valoram o incentivo de acordo com a capacidade do gerador ao invés da produção de eletricidade podem acarretar um desenvolvimento tecnológico menos eficiente. Portanto, há uma tendência global contrária a esses subsídios, embora eles possam ser efetivos quando combinados com outros tipos de incentivos.

O sistema de preços fixos *feed-in tariffs* (FITs, da sigla em inglês), amplamente adotado na Europa, tem sido extremamente bem sucedido na expansão da energia eólica na Alemanha, Espanha e Dinamarca. Os operadores são pagos a um preço fixo por cada kWh de eletricidade injetada na rede. Na Alemanha, o preço pago varia de acordo com a maturidade relativa da tecnologia específica e é reduzido ano a ano, refletindo a queda de custos. O custo adicional do sistema é assumido pelos contribuintes ou pelos consumidores de eletricidade.

Os principais benefícios da FIT são a simplicidade do ponto de vista administrativo e o fato de que o sistema melhora o planejamento. Embora a FIT não seja associada a um Acordo de Compra Energética formal, as empresas de distribuição são, geralmente, obrigadas a comprar toda a produção das instalações renováveis. A Alemanha tem reduzido o risco político de uma mudança no sistema apresentando garantias de pagamentos por 20 anos. O principal problema associado com o sistema de preços fixos é a dificuldade de operar ajustes que reflitam mudanças nos custos de produção das tecnologias renováveis.

**Sistemas de recompensa pré-fixada**, por vezes chamados de mecanismos de “bônus ambiental”, operam pela adição de uma recompensa somada ao preço básico de atacado da eletricidade. Da perspectiva do investidor, o preço total recebido pelo kWh não é tão fixo como sob a tarifa *feed-in*, já que este preço está atrelado ao preço da eletricidade, que muda constantemente. Porém, de uma perspectiva de mercado, argumenta-se que uma recompensa pré-fixada é mais fácil de ser integrada no mercado global de eletricidade, já que os envolvidos terão que reagir à sinalizações do próprio mercado. A Espanha é o país mais importante a adotar um sistema de recompensa pré-fixada.

**Créditos de impostos**, como operados nos EUA e no Canadá, oferecem descontos nos impostos proporcionais a cada kWh produzido. Nos Estados Unidos, o mercado tem sido movido por Créditos de Impostos de Produção (PTC, em inglês) federais de aproximadamente 1.8 centavos de dólar por kWh. Este índice é reajustado anualmente pela inflação.

- **Sistemas de Quotas de Renováveis**

Dois tipos de sistemas de quotas de renováveis são empregados hoje: sistemas de leilões e sistemas de certificado verde.

Os **sistemas de leilões** envolvem ofertas competitivas de contratos para construir e operar um projeto específico, ou uma quantidade fixa de capacidade renovável em um país ou estado. Embora outros fatores também sejam considerados, as ofertas de valor mais baixo invariavelmente ganham. Esse sistema tem sido usado para promover a energia eólica em países como Irlanda, França, Reino Unido, Dinamarca e China.

O aspecto negativo é que os investidores podem fazer lances com valores baixos e não competitivos do ponto de vista econômico, apenas para ganhar o contrato e, então, não construir o projeto. Sob o sistema de

Obrigação de Combustíveis Não Fósseis (NFFO, em inglês), oferecido pelo Reino Unido, por exemplo, muitos contratos são postos de lado e, eventualmente, abandonados. Contudo, se apropriadamente planejado, com contratos de longo prazo, plano de anuidade e um preço mínimo factível, o sistema NFFO pode ser efetivo para projetos em larga escala, como tem sido para a extração off-shore de petróleo e gás no Mar do Norte europeu.

**Sistemas negociáveis de certificado verde** (TGC, em inglês) operam pelo oferecimento de “certificados verdes” para cada kWh gerado por um produtor renovável. O valor desses certificados, que podem ser comercializados, é adicionado ao valor da eletricidade básica. Um sistema de certificado verde opera em combinação com uma quota crescente de geração de eletricidade renovável. Companhias de energia estão obrigadas pela lei a comprar uma proporção crescente de produção renovável. Entre os países que adotaram esse sistema figuram Reino Unido, Suécia e a Itália, na Europa, e vários estados individuais nos EUA, onde o sistema é conhecido como Padrão de Portfólio Renovável.

Comparado com um preço fixo de oferta, o modelo TGC é mais arriscado para o investidor porque o preço flutua diariamente. No longo prazo, este risco poderia ser minimizado com o estabelecimento de um mercado de contratos de títulos certificados (e eletricidade). Tal mercado não existe atualmente. O sistema é também mais complexo que outros mecanismos de pagamentos.

Desta variedade de sistemas de incentivos, qual funciona melhor? Experiências passadas deixam claro que as políticas de tarifas e recompensas pré-fixadas podem ser projetadas para funcionar bem, mas sua adoção não é garantia de sucesso. Quase todos os países com experiência em mecanismos de incentivo aos renováveis usaram, em algum momento, o sistema de preço fixo *feed-in*, mas nem todos têm contribuído para um aumento da produção de eletricidade renovável. A adoção de um sistema de incentivos, combinado a outras medidas, determina seu sucesso.

Ainda é muito cedo para tirar conclusões finais dos impactos potenciais da de todas essas opções políticas disponíveis a partir de sistemas complexos, como aqueles baseados em certificados verdes comercializáveis, que ainda estão em fase experimental. Apenas com mais tempo e experiência podem-se obter dados confiáveis das respectivas capacidades de atrair investimentos e aumentar a oferta de cada um desses mecanismos. A escolha do tipo de infra-estrutura em um nível nacional também depende da cultura e história individual de cada país, do estágio de desenvolvimento das renováveis e da vontade política de produzir resultados.