

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

**ANA CLÁUDIA CARVALHO BARQUETE  
E NATÁLIA PASSONE DA SILVA**

**O AVANÇO E AS MELHORIAS COM O USO  
DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**São Carlos**

**2013**

**ANA CLÁUDIA CARVALHO BARQUETE  
E NATÁLIA PASSONE DA SILVA**

**O AVANÇO E AS MELHORIAS COM O  
USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Engenharia de São Carlos, da  
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em  
Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Rogério Andrade Flauzino

São Carlos  
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimentos ao Usuário do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B267a

Barquete, Ana Cláudia Carvalho  
O Avanço e as melhorias com o uso de energias renováveis / Ana Cláudia Carvalho Barquete, Natália Passone da Silva; orientador Rogério Andrade Flauzino. - São Carlos, 2013.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Fonte de energia. 2. Não renováveis. 3. Renováveis. 4. Impactos. 5. Socioambiental. 6. Energia. 7. Energia elétrica. 8. Panorama energético. 9. Vantagens. 10. Desvantagens. I. Título. II. Silva, Natália Passone da.

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Ana Cláudia Carvalho Barquete

Título: "O avanço e as melhorias com o uso de energias renováveis"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 28/11/2013,

com NOTA 8,0 (oito, zero), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Dr. Rogério Andrade Flauzino - (Orientador - SEL/EESC/USP)*

*Mestre Oureste Elias Batista - (SEL/EESC/USP)*

*Mestre Daniel Augusto Pagi Ferreira - (SEL/EESC/USP)*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Associado Homero Schiabel

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Natália Passone da Silva

Título: "O avanço e as melhorias com o uso de energias renováveis"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 28 / 11 / 2013,

com NOTA 8,0 (oito, zero), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Dr. Rogério Andrade Flauzino - (Orientador - SEL/EESC/USP)*

*Mestre Oureste Elias Batista - (SEL/EESC/USP)*

*Mestre Daniel Augusto Pagi Ferreira - (SEL/EESC/USP)*

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer primeiramente aos nossos pais, base de tudo que somos hoje, pelo amor que sempre nos dedicaram, por terem nos proporcionado as coisas mais importantes como a oportunidade de cursarmos uma Universidade como esta, sendo nosso alicerce, e nos ensinando como sermos pessoas melhores.

As nossas irmãs, Mariana e Ana Luíza, grandes exemplos, por serem mais que irmãs, amigas de todas as horas, nos apoioando, aconselhando, e nos motivando a não desistir, estando presentes mesmo nos momentos mais dificeis.

Aos nossos amigos, os quais são a família que pudemos escolher, pela companhia, paciência em nos ouvir, e pela torcida para que tenhamos sucesso e que conquistemos o que almejamos.

Aos professores da graduação, que nos ministraram conhecimento suficiente para seguir a profissão que escolhemos, e aos funcionários, que sempre muito atenciosos nos ajudaram durante todo o curso.

Agradecemos, enfim, ao nosso orientador, Prof. Rogério de Andrade Flauzino, por nos ajudar nesse trabalho de conclusão de curso.

## **Resumo**

Este trabalho tem por finalidade a apresentação da situação mundial em relação às fontes de energia utilizadas, realizando um paralelo entre o uso de fontes de energia não-renováveis e a busca pela substituição destas por energias renováveis, minimizando problemas e impactos socioambientais. Como esse contexto é muito abrangente, buscou-se abordar os principais meios de produção de energia elétrica, juntamente com o panorama energético atual, mostrando as diferenças deste para como se apresentava anos atrás, com o intuito de salientar as vantagens trazidas pelo uso de energias renováveis.

**Palavras-chave:** Fonte de energia, não renováveis, renováveis, impactos, socioambiental, energia, energia elétrica, panorama energético, vantagens, desvantagens.

## **Abstract**

This paper aims to present the use of energy sources related to the world situation, based on the use of non-renewable energy sources and the search for replacement of renewable resources, minimizing problems and environmental impacts. Since this context is very comprehensive, we focused on the primary means of electricity production, with the current energy prospect, showing the differences between the present situation and how it was years ago, in order to highlight the advantages that were brought by the use of renewable energy.

**Keywords:** Source of energy, non-renewable, renewable, impacts, environmental, energy, electric power, energy prospect, advantages, disadvantages

# Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2. História da Energia.....</b>	<b>3</b>
2.1. Da pré-história à idade antiga: fogo .....	3
2.2. Da Antiguidade à Idade Média: do vento à máquina a vapor .....	3
2.3. Na Idade Moderna e Contemporânea: o uso dos combustíveis fósseis e eletricidade.....	4
<b>3. As Energias não renováveis .....</b>	<b>7</b>
3.1. Petróleo.....	7
3.2. Gás natural .....	9
3.3. Carvão mineral.....	10
3.4. Combustíveis nucleares.....	12
<b>4. Energias não renováveis e o meio ambiente .....</b>	<b>15</b>
4.1. Problemas gerais .....	15
4.2. Petróleo.....	15
4.3. Gás Natural.....	15
4.4. Carvão mineral.....	16
4.5. Combustíveis nucleares.....	16
4.6. Desastres Ambientais .....	16
4.6.1. 1952 – O Grande Nevoeiro de Londres .....	16
4.6.2. 1979 – Explosão nuclear de Three Mile Island .....	17
4.6.3. 1986 - Acidente Nuclear de Chernobyl.....	18
<b>5. Energia Eólica .....</b>	<b>25</b>
5.1. Disponibilidade de Recursos .....	26
5.2. Surgimento e evolução .....	26
5.3. Turbinas Eólicas.....	26
5.4. Capacidade Mundial Instalada .....	28
5.5. Energia Eólica no contexto do Setor Elétrico Brasileiro .....	32
5.6. Algumas Centrais Eólicas do país.....	35
5.7. Custo e Implantação.....	36
5.8. Impactos Socioambientais .....	36
5.9. Vantagens da utilização da energia eólica.....	38

5.10.	Fatores necessários ao desenvolvimento da indústria eólica no Brasil.....	38
<b>6.</b>	<b>Aproveitamento fototérmico e solar.....</b>	<b>39</b>
6.1.	Disponibilidade de Recursos .....	39
6.2.	Surgimento e evolução .....	41
6.3.	Tipos de captação solar .....	42
6.4.	Utilização no mundo.....	44
6.5.	Utilização da energia solar no Brasil .....	48
6.6.	Centrais Solares Brasileiras .....	50
6.7.	Custo de Implantação .....	51
6.8.	Impactos Socioambientais .....	52
6.9.	Vantagens do uso de energia solar.....	52
6.10.	Desvantagens da energia solar .....	52
<b>7.</b>	<b>Energia Maremotriz .....</b>	<b>55</b>
7.1.	Disponibilidade de Recursos .....	56
7.2.	Surgimento e evolução .....	56
7.3.	No mundo.....	56
7.4.	No Brasil.....	57
7.5.	Custo de Implantação .....	58
7.6.	Impactos Ambientais.....	58
7.7.	Vantagens.....	58
7.8.	Desvantagens .....	58
<b>8.</b>	<b>Biomassa .....</b>	<b>59</b>
8.1.	Disponibilidade de Recursos .....	59
8.2.	Surgimento e evolução .....	60
8.3.	Tipos de Aproveitamento.....	61
8.4.	No mundo.....	63
8.5.	No Brasil.....	65
8.6.	Custo de Implantação .....	66
8.7.	Impactos Ambientais.....	66
8.8.	Vantagens.....	66
8.9.	Desvantagens .....	67
<b>9.</b>	<b>Energia Geotérmica .....</b>	<b>69</b>
9.1.	Disponibilidade de Recursos .....	70

9.2.	<b>Fontes de energia geotérmica .....</b>	70
9.3.	<b>Surgimento e evolução .....</b>	71
9.4.	<b>No mundo .....</b>	71
9.5.	<b>No Brasil.....</b>	72
9.6.	<b>Custo de Implantação .....</b>	72
9.7.	<b>Impactos Ambientais.....</b>	72
9.8.	<b>Vantagens.....</b>	73
9.9.	<b>Desvantagens .....</b>	73
<b>10.</b>	<b>Energia Hidráulica.....</b>	<b>75</b>
10.1.	<b>Disponibilidade de Recursos.....</b>	75
10.2.	<b>Funcionamento de uma usina hidrelétrica.....</b>	76
10.3.	<b>Tipos de Instalações de Usinas Hidrelétricas.....</b>	77
10.4.	<b>Surgimento e evolução .....</b>	78
10.5.	<b>No mundo .....</b>	78
10.6.	<b>No Brasil.....</b>	82
10.7.	<b>Locais no Brasil .....</b>	83
10.8.	<b>Custo de Implantação .....</b>	84
10.9.	<b>Impactos Ambientais.....</b>	85
10.10.	<b>Vantagens.....</b>	85
<b>11.</b>	<b>Os avanços e melhorias em Energia Renováveis .....</b>	<b>87</b>
11.1.	<b>Inovação .....</b>	87
11.2.	<b>Investimento.....</b>	90
11.3.	<b>Custos .....</b>	93
<b>12.</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>95</b>
<b>13.</b>	<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>99</b>



## 1. Introdução

O desenvolvimento e sobrevivência da humanidade dependem diretamente da utilização de energia. Com a modernização, o uso cada vez maior de tecnologia e o aumento da população, a busca de fontes alternativas de energia se faz necessária.

A economia mundial, que antes se baseava majoritariamente em recursos energéticos não renováveis, está caminhando cada vez mais para a substituição destes por fontes de energia renováveis, mais eficientes e menos poluidoras, buscando minimizar problemas socioambientais.

Isso é preocupação da maioria dos países, já que produzir energia através de recursos poluentes e escassos não é interessante, mas sim o desenvolvimento de novas tecnologias de obtenção de energia elétrica de forma limpa e segura, através de fontes renováveis, que forneçam energia de qualidade e ininterrupta.

Os combustíveis nucleares e os combustíveis fósseis, antes utilizadas como principais fontes de energia elétrica, hoje representam uma parcela bem menor da matriz energética mundial, dando espaço para fontes renováveis como hidrelétricas, biomassa, eólica, solar e maremotriz. Essa substituição também acontece devido ao aumento do preço do petróleo, que além de ser um recurso presente em poucos países, não é inesgotável e emite gases que poluem o meio ambiente quando utilizado para gerar energia.



## **2. História da Energia**

### **2.1. Da pré-história à idade antiga: fogo**

No início da humanidade, o Sol foi a primeira fonte de energia. Durante o dia os homens procuravam por alimentos, iluminados e aquecidos pelo Sol. Ao entardecer com a escuridão e o frio, procuravam abrigo e se mantinham bem juntos (Farias e Sellito, 2011).

Neste período, o paleolítico da pré-história, o homem das cavernas tinha então por sua própria natureza hábitos diurnos. Em certo momento passou a sentir a necessidade de luz artifical e também de alguma maneira de gerar aquecimento para seu corpo e não estar apenas limitado a luz do dia. Foi então que o homem conheceu o fogo quando um raio caiu e incendiou uma vegetação, aproveitou as madeiras incendiadas e as carregou para sua caverna mantendo sempre o fogo aceso (Farias e Sellito, 2011).

Mais tarde, o homem descobriu como fazer fogo a partir do atrito de pedras e madeiras onde as fagulhas incendiavam a palha seca. Pouco tempo depois o homem já estava dominando o fogo: colocava lenha para manter o fogo aceso, mantinha os animais ferozes a distância. Além de usar o fogo para iluminação e aquecimento, após um tempo, aprendeu a aquecer alimentos. Mais tarde passou a usar o fogo derretendo minerais para construir armas e ferramentas, e depois para dar resistência as peças cerâmicas que produziam (Farias e Sellito, 2011).

### **2.2. Da Antiguidade à Idade Média: do vento à máquina a vapor**

Por muito tempo as únicas fontes de energia foram o Sol e a madeira, que mantinha o fogo aceso. Apenas cerca de 3000 mil anos atrás que o homem descobriu outras fontes de energia. A energia dos ventos é considerada uma fonte indireta de energia solar, pois é gerada da movimentação do ar quente que sobe e se desloca para as regiões polares em ordens regulares, ou seja, os ventos são efeitos permanentes da dinâmica do planeta (Farias e Sellito, 2011).

Os primeiros povos a usarem o vento como fonte de energia foram principalmente os egípcios, romanos e fenícios. Construíam barcos a velas e usavam a energia do vento para se movimentar e transportar mercadorias. Relatos dizem que na China e na Pérsia, a energia dos ventos foi utilizada com outros propósitos a partir de 644 A.C.. Moinhos de vento eram utilizados para irrigação, através do bombeamento das águas e também para moagem dos grãos (Farias e Sellito, 2011).

No século XIII, essas formas de utilização da energia dos ventos foram levadas à Europa, onde foram desenvolvidas e começaram a ser aplicadas na indústria metalúrgica, têxtil e

madeireira. Em 1350 os holandeses aprimoraram o uso do moinho ao colocar seu eixo na horizontal e com quatro pás, assim utilizaram o moinho para drenar pântanos e lagos bem como para fabricar papel e extrair azeite (Farias e Sellito, 2011).

O grande marco e a maior evolução da utilização de energia pelo homem ocorreu no século XVIII com a invenção da máquina a vapor d'água, a qual deu início a Era da Revolução Industrial na Europa. Com o surgimento de problemas das minas de carvão e ferro na Inglaterra, que usavam grandes rodas de água para içar baldes d'água, iniciaram-se os estudos de máquinas movidas a vapor d'água. Denis Papin iniciou experiências com bombas a vapor e Thomas Severy construiu a primeira máquina a vapor aproveitável em 1698, porém foi o modelo proposto por Thomas Newcomen, onde o cilindro foi separado da caldeira, que solucionou o problema das minas. Esse modelo ficou em operação por 75 anos até ficar inoperante visto a grande profundidade das minas. Então, James Watt aumentou significativamente a eficiência da máquina. Com 20 CV de potência, a máquina de Watt solucionou os problemas das minas de carvão e foi posta em operação. Com o tempo, os movimentos da máquina a vapor foram transformados e permitiram que o mesmo modelo de geração de energia movimentasse também serrarias, cerâmicas, navios, locomotivas entre outros (Farias e Sellito, 2011).

### **2.3. Na Idade Moderna e Contemporânea: o uso dos combustíveis fósseis e eletricidade**

Com o início da Revolução Industrial, marca-se também o início do uso de combustíveis fósseis como fonte de energia. O primeiro combustível a ser utilizado foi o carvão mineral em substituição a lenha na combustão direta nas máquinas a vapor de Watt (Farias e Sellito, 2011).

O carvão mineral é de origem fóssil: resultado da transformação química do soterrramento de troncos, galhos, folhas de árvores e outros; sendo que tal processo demora milhões de anos. As condições de pressão da Terra e o tempo transformaram esses sedimentos orgânicos em uma massa negra homogênea, formando as jazidas de carvão (ANEEL, 2008). Esse combustível foi o grande impulsionador da Primeira Revolução Industrial pois permitiu a comercialização na Inglaterra das máquinas movidas a vapor, alimentadas pelo carvão. Até meados de 1960 o carvão mineral foi a principal fonte de energia primária no mundo, sendo o principal combustível das termelétricas na geração de eletricidade (Farias e Sellito, 2011).

O marco zero da industrialização do petróleo foi o ano de 1859 quando o americano Edwin Laurentine Drake, descobriu petróleo em Tutsville, Pensilvânia a uma profundidade de 21 metros. Até então se sabe que na antiguidade o petróleo foi conhecido devido a exsudações e afloramentos frequentes no Oriente Médio. Citado diversas vezes no Antigo testamento, estudos comprovam que o petróleo foi utilizado há quase seis mil anos. O poço de Edwin Drake se

mostrou bastante produtivo e por isso considera-se o ano de 1859 como o nascimento da indústria moderna petrolífera (Farias e Sellito, 2011).

O petróleo tem origem da transformação de matéria orgânica de origem animal e vegetal acumulados no fundo de oceanos primitivos e cobertos por sedimentos. Essa transformação, assim como a do carvão mineral, demora milhões de anos (ANEEL, 2008).

Em 1908 surge o modelo automotivo Ford-T, que impulsionou o mercado de carros fazendo com que já em 1911 as vendas da gasolina superassem as do querosene. Em 1930 surge a indústria petroquímica, que deu origem a diversos subprodutos do petróleo com variadas utilidades. Surgiram também os derivados produzidos em refinarias: GLP (gás liquefeito), óleo diesel, nafta e principalmente a gasolina (Farias e Sellito, 2011).

No início da década de 70, vendo o petróleo como fonte de energia esgotável, as nações produtoras de petróleo passaram a regular o escoamento da produção das petrolíferas, gerando então a primeira crise do petróleo em 1973. Neste mesmo período intensificaram os conflitos no Oriente Médio, que possuía as maiores reservas de petróleo, e as agressões ao meio ambiente causadas pela exploração intensa que contaminava o meio ambiente com vazamentos de solventes, emissão de gases tóxicos, entre outros, ficavam cada vez mais evidentes. Assim com a crise de 73 e posteriormente a crise de 78, desencadearam discussões acerca da política internacional do petróleo e iniciaram estudos sobre fontes alternativas de energia (Farias e Sellito, 2011).

Pouco depois do marco zero da industrialização do petróleo, em 1882, Thomas Edison desenvolveu as primeiras usinas geradoras de eletricidade (em corrente contínua), com a finalidade de atender os sistemas de iluminação. A eletricidade até então era somente aplicada no campo das comunicações, com o telégrafo e o telefone elétrico. George Westinghouse fez em 1886 a primeira transmissão de energia elétrica em corrente alternada e junto com os sistemas polifásicos desenvolvidos por Nikola Tesla e com o transformador eficiente de Willian Stanley, proporcionaram a transmissão a longas distâncias e também o uso doméstico de energia elétrica. Atualmente, devido a seu fácil transporte e fácil conversão direta em outros tipos de energia, a energia elétrica é responsável por aproximadamente um terço do consumo de energia primária no mundo (Farias e Sellito, 2011).



### 3. As Energias não renováveis

São chamadas de “não renováveis” os tipos de energias que encontram-se limitadas na natureza e que vão se extinguir ao longo de sua utilização. Os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural) têm sua origem em transformações de restos de materiais orgânicos e/ou sedimentos, as quais demoram milhões de anos para acontecer. O urânio, principal fonte de energia nuclear, é um mineral e também está em quantidades limitadas na Terra. Além disso, essas fontes de energia não renováveis não se encontram homogeneousmente distribuídas no mundo; ao contrário das fontes renováveis, que são geradas devido ao fluxo contínuo de energia proveniente da natureza.

#### 3.1. Petróleo

##### 3.1.1. Origem e composição

Com cheiro forte e cor escura, o petróleo é um óleo mineral constituído principalmente por hidrocarbonetos (carbono e hidrogênio). Do petróleo, é possível obter diversos combustíveis e matérias-primas através da refinação do combustível em sua forma bruta (ou cru).

Na refinação, os primeiros produtos obtidos são os gases butano e propano que podem ser comercializados separadamente ou, se misturados ao etano geram o GLP – gás liquefeito de petróleo. Os derivados mais conhecidos são o GLP, a gasolina, nafta, óleo diesel, querosene de aviação e de iluminação, óleo combustível, asfalto, lubrificante, combustível marítimo, solventes, parafinas e coque de petróleo. A porcentagem de cada componente está apresentada no gráfico a seguir (ANEEL, 2008).

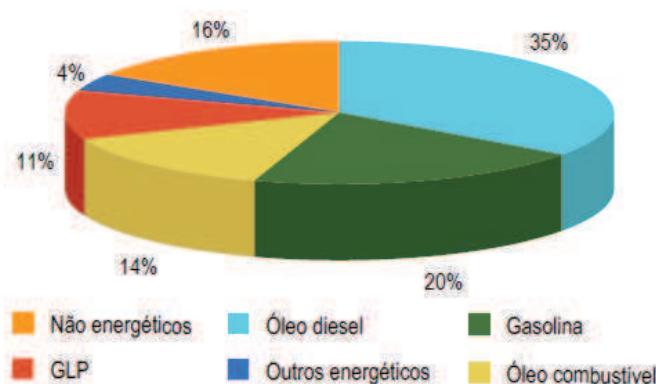


Gráfico 1 – Derivados do petróleo após o refino

Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3<sup>a</sup> edição – ANEEL

Um dos principais objetivos da refinação é obter a maior quantidade possível de gasolina, pois é o produto mais rentável no mercado atual, já que dela dependem a maioria dos meios de transporte atuais, também do *jet fuel* (usado em aviões) e do gasóleo.

### 3.1.2. Processo de produção de energia elétrica

Na figura 1 pode-se acompanhar como é realizado o processo de produção de energia elétrica através do petróleo:

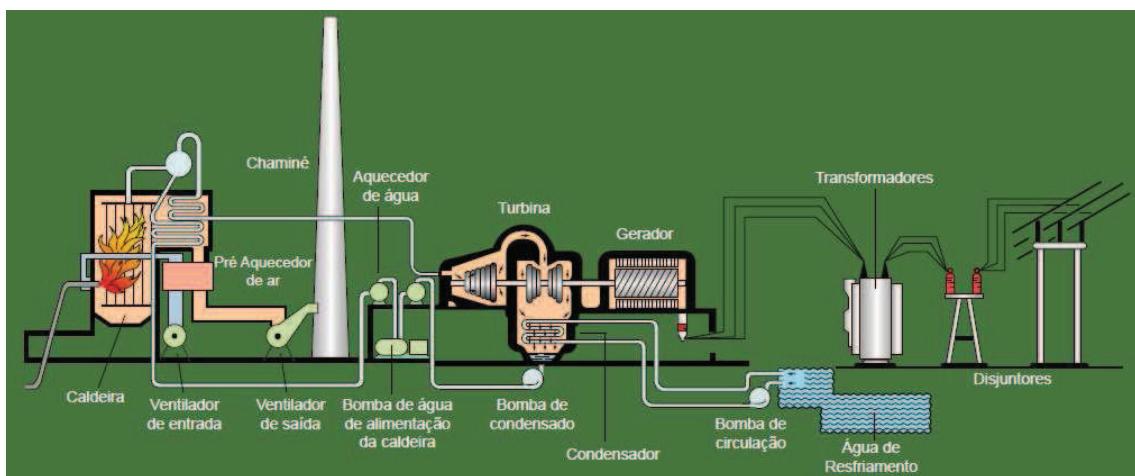


Figura 1 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do petróleo

Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3<sup>a</sup> edição – ANEEL

### 3.1.3. Utilização

Além da importância do petróleo para os meios de transporte, ele é a principal fonte de geração de eletricidade em diversos países do mundo, sendo responsável por 31,5% da matriz energética mundial (IEA, Key World Energy Statistics, 2013).

### 3.1.4. Disponibilidade e distribuição dos recursos

Pelas tabelas que se encontram no Anexo A e Anexo B, percebe-se que a distribuição de reservas de petróleo no mundo é irregular, o que pode ser observado também, analisando seu consumo. Por exemplo, o Oriente Médio detém quase 48,4% das reservas e consome menos de 10% do consumo mundial. Em contrapartida, os Estados Unidos representam cerca de 20% do consumo mundial, e detém apenas 2% (BP, 2013).

O Brasil tem quase 1% da reserva mundial; a maior parte concentra-se no Espírito Santo e no Estado do Rio de Janeiro, na Bacia de Campos. A atual produção diária de petróleo no Brasil é de cerca de 2 milhões de barris, para uma reserva de 15 bilhões de barris. (BP, 2013) Estima-se que o petróleo se esgote em 40 anos (IEA, 2000).

### 3.2. Gás natural

#### 3.2.1. Origem e composição

O gás natural tem origem similar aos outros combustíveis fósseis, visto que é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, decorrentes da decomposição de matéria orgânica durante milhões de anos. É encontrado em jazidas subterrâneas e diferentemente do petróleo não necessita de refinação, ou seja, pode ser usado na forma em que é extraído (ANEEL, 2008).

É bastante versátil pois pode ser utilizado na geração de energia elétrica, em motores de combustão do setor de transportes, na produção de chamas (como substituto do GLP), calor e vapor. Devido a isso, pode ser aplicado em diversos setores da economia como, por exemplo: indústria, serviços, comércio e residências (ANEEL, 2008).

#### 3.2.2. Processo de produção de energia elétrica

Na figura 2 pode-se acompanhar como é realizado o processo de produção de energia elétrica através do gás natural:

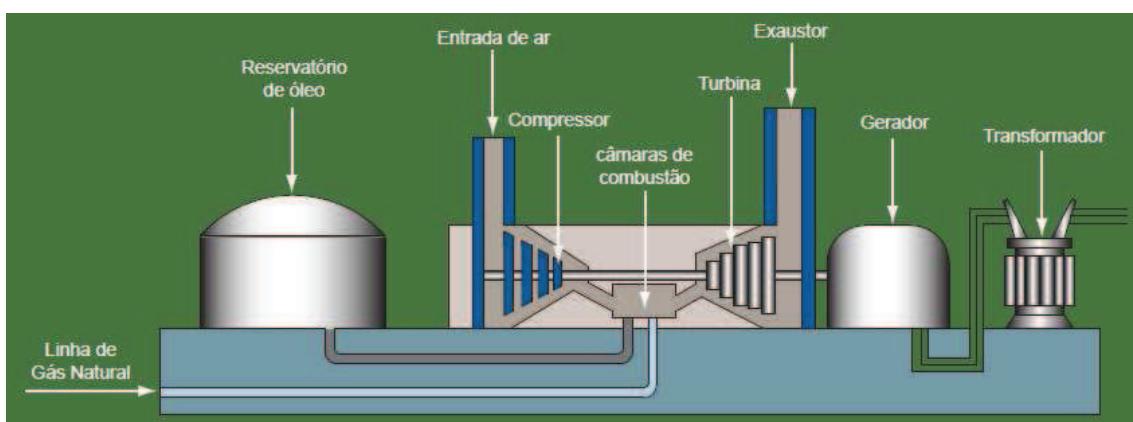


Figura 2 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do gás natural

Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3<sup>a</sup> edição – ANEEL

#### 3.2.3. Utilização

O gás natural tem se mostrado competitivo no âmbito dos combustíveis. Seu uso é cada vez mais frequente na indústria, nos transportes e também na geração de energia elétrica, o que tem ampliado sua participação na matriz energética mundial, atraindo analistas e empreendedores para o aumento de seu uso em termelétricas (ANEEL, 2008).

### **3.2.4. Disponibilidade e distribuição dos recursos**

Pelas tabelas que se encontram no Anexo C e Anexo D, percebe-se que, assim como o petróleo, a distribuição das reservas de gás natural também é irregular no mundo. As maiores reservas encontram-se no Oriente Médio com 43% da reserva mundial, e a região representa 16,3% do consumo mundial. Os Estados Unidos são os maiores consumidores de gás natural, representando 21,9%; porém, possuem uma reserva de apenas 12% do total de reservas mundiais (BP, 2013).

No Brasil o gás natural encontra-se, em geral, associado ao petróleo. As maiores reservas encontram-se no Espírito Santo, na Bacia de Campos e principalmente na Bacia de Santos. Em 2007, as reservas no Brasil corresponderam a 360 bilhões de m<sup>3</sup>. Segundo o BP essa quantia é suficiente para abastecer o país por mais ou menos 32 anos (ANEEL, 2008).

## **3.3. Carvão mineral**

### **3.3.1. Origem e composição**

O carvão mineral é uma rocha orgânica de origem fóssil e foi uma das primeiras fontes de energia usada pelo homem. É composto por átomos de carbono, oxigênio, nitrogênio, enxofre, associados a outros elementos rochosos e minerais (ANEEL, 2008).

O poder calorífico e a incidência de impurezas variam, fazendo com que o combustível se divida em carvão de alta e baixa qualidade. O carvão de alta qualidade, chamado também de hulha, está presente em 53% das reservas mundiais. Porém, a produção e consumo do carvão mineral concentram-se no carvão de qualidade intermediária (ANEEL, 2008).

O carvão mineral é a fonte de energia mais barata, porém vem perdendo espaço na matriz energética mundial para o petróleo e o gás natural. Ainda em 1950 o carvão cobria 60% das necessidades energéticas mundiais (ANEEL, 2008).

### 3.3.2. Processo de produção de energia elétrica

Na figura 3 pode-se acompanhar como é realizado o processo de produção de energia elétrica através do urânio:

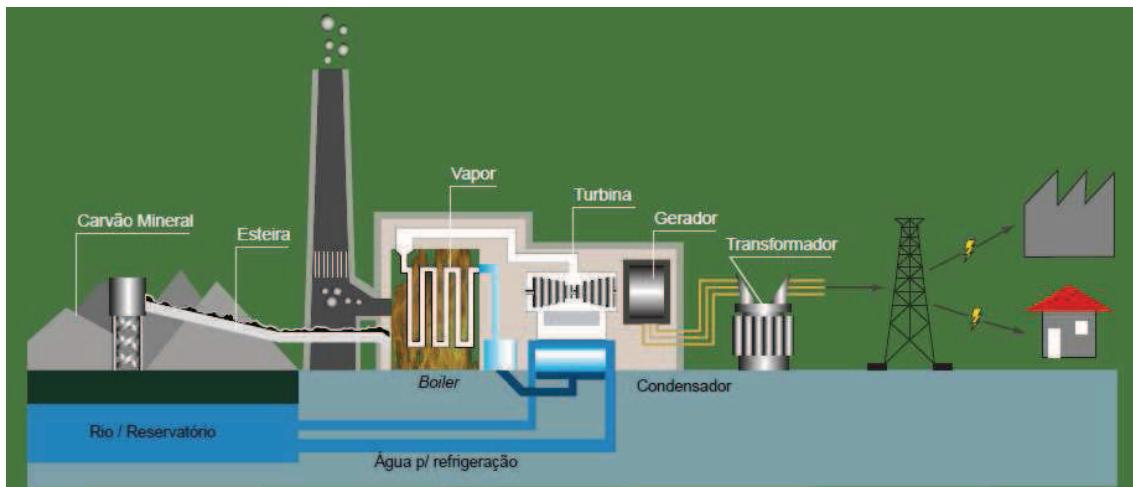


Figura 3 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do carvão mineral

Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3<sup>a</sup> edição – ANEEL

### 3.3.3. Utilização

Atualmente a exploração do carvão mineral é feita em 50 países. Foi o combustível alavancador da Primeira Revolução Industrial, gerando energia para movimentar as máquinas a vapor. Atualmente ainda é bastante usado como combustível em termelétricas na geração de energia elétrica. Em países como China e Estados Unidos, a energia elétrica gerada através do carvão mineral representa grande parte da energia gerada no país (BP, 2013).

### 3.3.4. Disponibilidade e distribuição dos recursos

Nas tabelas do Anexo E e do Anexo F, observa-se que as reservas de carvão mineral estão bem distribuídas pelos continentes, diferentemente dos outros combustíveis fósseis. Percebe-se também que a China, apesar de possuir apenas 13,3% das reservas mundiais de carvão mineral, é uma consumidora expressiva, representando 50,2% do consumo mundial. Os Estados Unidos possuem a maior reserva de carvão mineral do mundo, 27,6%, e detém 11,7% do consumo mundial (BP, 2013).

No Brasil, as maiores jazidas concentram-se no Rio Grande do Sul (89,25% da reserva brasileira) e em Santa Catarina (10,41% da reserva brasileira). A reserva brasileira representa 0,5% da reserva mundial, com cerca de 4,5 bilhões de toneladas (BP, 2013).

Estima-se pela velocidade atual de consumo do carvão mineral que suas reservas durem ainda 120 anos (AGENEAL, 2013).

### **3.4. Combustíveis nucleares**

#### **3.4.1. A energia nuclear**

A energia nuclear é produzida através da fissão nuclear ou fusão nuclear. A fissão tem como combustível o urânio, um mineral presente na Terra em quantidade finita. No processo, o núcleo de um elemento radioativo é “bombardeado” por um nêutron. O resultado é a criação de um isótopo do átomo que se divide formando dois novos elementos e então liberando uma grande quantidade de energia nessa transformação. Quando dois ou mais núcleos de um mesmo elemento se juntam e formam outro elemento, acontece a fusão nuclear. Neste processo é liberada também uma grande quantidade de energia. A fusão libera uma quantidade de energia bastante superior a fissão (AGENEAL, 2013).

A fissão nuclear foi descoberta em 1938, em Berlim, por Otto Hahn e Fritz Straßmann; e posteriormente explicada por Lise Meitner e Otto Frish, através da irradiação do urânio com nêutrons. Em 1942 na Universidade de Chicago foi realizada a primeira reação em cadeia, no projeto Manhattan, o qual tinha a finalidade de construir a primeira bomba atômica, sob a supervisão de Enrico Fermi (Wikipedia, 2011).

#### **3.4.2. Processo de produção de energia elétrica**

Na figura 4 pode-se acompanhar como é realizado o processo de produção de energia elétrica através do gás natural:

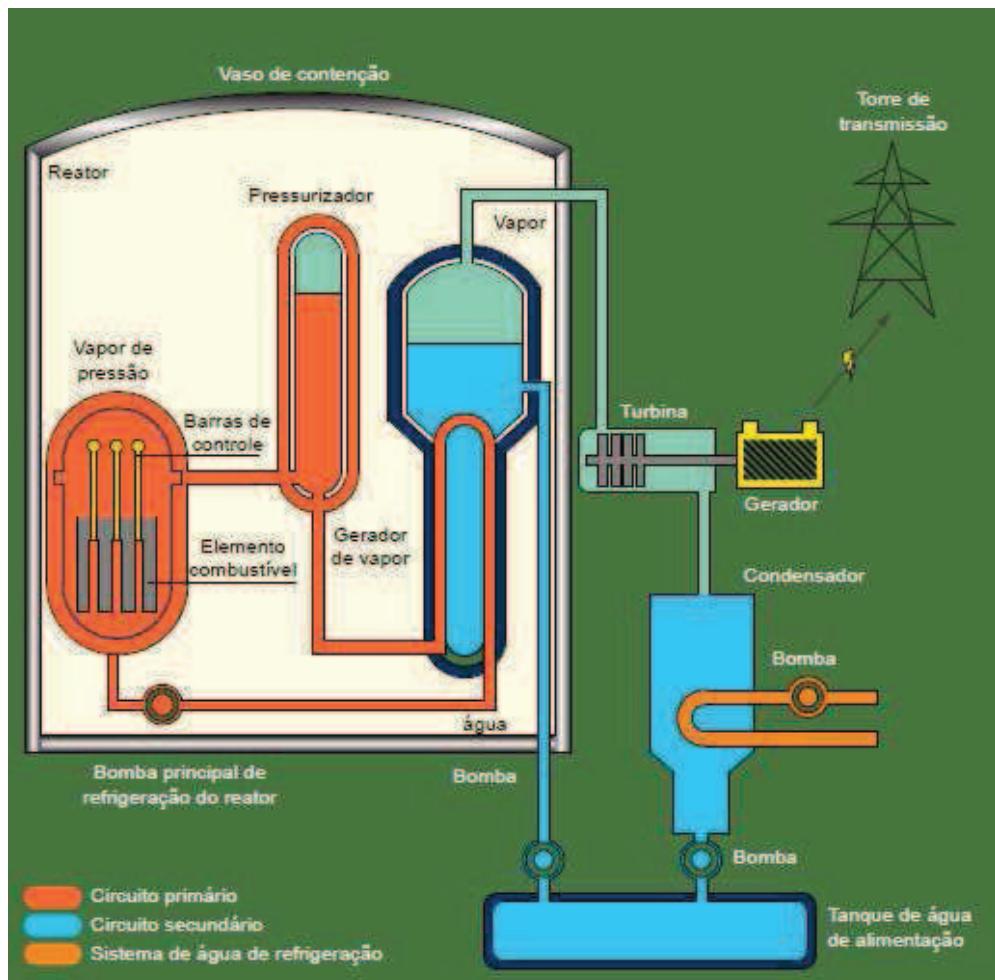


Figura 4 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica em uma usina nuclear

Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 3<sup>a</sup> edição - ANEEL

### 3.4.3. Disponibilidade e distribuição dos recursos

As maiores reservas de urânio concentram-se na Austrália. Na tabela do Anexo G, podemos observar que os maiores consumidores de energia nuclear são os Estados Unidos com 37%, e a França com 17,2% do consumo mundial (BP, 2013).

Na tabela 1, pode-se ver que os maiores produtores são também os que mais consomem, como citado anteriormente: Estados Unidos e França. A Energia Nuclear na França representa quase 80% de sua matriz energética e o possui 63 GW de potência instalada (IEA, Key World Energy Statistics, 2013).

Tabela 1 – Maiores Produtores de energia nuclear em 2011

Net installed capacity	GW	Country (top-ten producers)	% of nuclear in total domestic electricity generation	Producers	TWh	% of world total
United States	102	France	79.4	United States	821	31.8
France	63	Ukraine	46.3	France	442	17.1
Japan	44	Korea	29.8	Russian Federation	173	6.7
Russian Federation	24	United States	19.0	Korea	155	6.0
Korea	19	United Kingdom	18.9	Germany	108	4.2
Ukraine	13	Germany	17.9	Japan	102	3.9
Canada	13	Russian Federation	16.4	Canada	94	3.6
Germany	12	Canada	14.7	Ukraine	90	3.5
People's Rep. of China	12	Japan	9.8	People's Rep. of China	86	3.3
United Kingdom	10	People's Rep. of China	1.8	United Kingdom	69	2.7
Rest of the world	57	Rest of the world*	11.5	Rest of the world	444	17.2
World	369	World	11.7	World	2 584	100.0

Fonte: Key World Energy Statistics – IEA (International Energy Agency)

No Brasil, a busca pelo urânio foi feita em apenas 25% do território, e as reservas são significativas no ranking mundial. Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais são os estados que possuem as maiores jazidas. A principal jazida fica em Caetité na Bahia, possuindo volume suficiente para abastecer por 100 anos o complexo nuclear de Angra I, II e III (ANEEL, 2008).

## **4. Energias não renováveis e o meio ambiente**

### **4.1. Problemas gerais**

Energias não renováveis são conhecidas também por energias sujas, visto que sua utilização gera sérios danos ao meio ambiente e para a sociedade; podendo contribuir para o crescimento do buraco da camada de ozônio, causando a destruição de ecossistemas, contribuindo para o efeito estufa, chuva ácida, entre outros.

O efeito estufa é atualmente um dos problemas ambientais mais graves e é consequência do sistema energético que prioriza o uso de energias não renováveis. Utilizando estas na geração de energia, há a produção de grandes quantidades de vapor d'água e CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), gás que mais contribui para o efeito estufa. Outros gases como os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre e os hidrocarbonetos também são liberados na produção de energia que elevam o nível de poluição das cidades, contribuem para a formação de chuvas ácidas, aumentam a concentração de ozônio na troposfera e contribuem para o aumento do efeito estufa (AGENEAL, 2013).

### **4.2. Petróleo**

A agressão ao meio ambiente pelo uso do petróleo começa já na sua extração, quando há a possibilidade de derramamento deste no local. Durante seu transporte, os riscos vêm da falta de confiabilidade dos meios de transporte e do uso de infraestrutura obsoleta. Na refinação, existe o perigo da contaminação através dos resíduos; e por fim, no seu uso direto através da combustão, há a emissão de poluentes na atmosfera, principalmente os chamados gases de efeito estufa (ANEEL, 2008).

Para remover os poluentes liberados, poderiam ser usados ciclones e os precipitadores eletrostáticos, os quais são mais eficientes na remoção de partículas mais grossas. Ao serem combinados com dispositivos mais eficientes podem reduzir até 99% das partículas, porém o custo desses equipamentos é muito elevado, portanto são pouco usados (ANEEL, 2008).

### **4.3. Gás Natural**

Em sua combustão, o gás natural origina apenas o dióxido de carbono e uma quantidade de óxido de nitrogênio em quantidades muito inferiores às liberadas através da combustão do petróleo ou carvão mineral. Apesar de considerado mais limpo que os outros combustíveis fósseis, o aproveitamento do gás natural gera indesejáveis impactos ao meio ambiente,

principalmente na geração de energia elétrica. A maior agressão ocorre devido ao seu sistema de resfriamento, que consome cerca de 90% da água utilizada em uma central termelétrica a gás natural, ou seja, o volume de água captada é bastante elevado e pode gerar escassez de recursos hídricos na região da central (ANEEL, 2008).

#### **4.4. Carvão mineral**

Falando de emissão de poluentes resultantes da combustão, entre os combustíveis fósseis, o carvão mineral é o que gera maiores quantidades de gases de efeito estufa. Outro grande impacto ambiental ocorre na mineração que afeta o solo, os recursos hídricos e o relevo da região (AGENEAL, 2013).

Os gases liberados na combustão são os principais responsáveis pela formação da chuva ácida, o que eleva a acidez da água e do solo, alterando consequentemente ecossistemas e a biodiversidade regional (AGENEAL, 2013).

#### **4.5. Combustíveis nucleares**

A geração de energia elétrica por combustíveis nucleares não emite quantidades consideráveis de gases poluentes, porém os principais impactos ambientais relacionam-se aos riscos constantes de explosão nuclear, fuga radioativa, produção de resíduos radioativos e contaminação . Assim como as usinas térmicas a gás natural, as centrais nucleares utilizam grandes quantidades de água para resfriamento. Quando as centrais localizadas em regiões costeiras usam a água do mar para refrigeração, o lançamento dessa água aquecida ao mar, combinada com outros fatores, tende a alterar a temperatura do corpo receptor (ambiente marinho); na chamada poluição térmica (ANEEL, 2008).

#### **4.6. Desastres Ambientais**

Além de afetar diariamente o meio ambiente, acidentes com fontes de energia não renováveis provocaram enormes desastres pelo mundo. A seguir serão apresentados os desastres mais impactantes conhecidos.

##### **4.6.1. 1952 – O Grande Nevoeiro de Londres**

Londres passou por um período de severa poluição atmosférica causada pela queima incontrolada de combustíveis fósseis em 1952, também conhecido como *Big Smoke*. Esse

período se caracterizou pelo nevoeiro constante sobre Londres, vindo da poluição causada pela queima de carvão nas indústrias (Cipriano, 2013).

Porém, o inverno deste ano foi extremamente rigoroso e fez com que as pessoas queimassem muito mais carvão em suas lareiras do que era habitual, gerando uma grande fumaça negra que misturava dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e fuligem. Londres ficou quase na escuridão. Estima-se que essa fumaça tenha causado a morte de cerca de 12 mil pessoas e tenha deixado mais de 100 mil pessoas doentes (Cipriano, 2013).



Figura 5 – Imagem de ruas de Londres durante o nevoeiro (A visibilidade durante o nevoeiro caiu para 30 cm)

Fonte: <http://visualhistory.livejournal.com/>

#### 4.6.2. 1979 – Explosão nuclear de Three Mile Island

Em março de 1979 um reator da Central Nuclear da Three Mile Island, Harrisburg, sofreu uma fusão parcial no seu núcleo. Pouca radiação foi liberada, porém mortes de animais, mortes prematuras, e deficiências foram ligados ao acidente. Após este acontecimento, muitos questionamentos sobre energia nuclear foram feitos (Cipriano, 2013).



Figura 6: Usina nuclear de Three Mile Island.

Fonte: Idaho National Laboratory

#### **4.6.3. 1986 - Acidente Nuclear de Chernobyl**

Uma explosão no reator 4 da usina nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, causada por uma falha no resfriamento, liberou radiação maior do que a liberada pelas bombas de Hiroshima e Nagasaki juntas. As consequências foram grandes: as mortes causadas estão entre 15 mil e 80 mil. Para conter o vazamento foi construído um sarcófago, que consiste em uma cápsula protetora de pedra e concreto. Os construtores não resistiram as contaminações e morreram. Estima-se que a área não poderá ser habitada nem utilizada para qualquer atividade, incluindo agricultura, pelos próximos 200 anos (Lopes, 2013).



Figura 7: Usina de Chernobyl após a explosão

Fonte: InfoEscola

#### 4.6.4. 1989 - Derramamentos dos navios Exxon Valdez

No Alasca em março de 1989 um navio petroleiro colidiu com um conjunto de rochas e encalhou na Enseada do Príncipe Guilherme, resultando no derramamento de aproximadamente 40 milhões de litros de petróleo no mar. Estima-se que este derramamento tenha se espalhado por uma área superior a 800 quilômetros, matando mais de 250 mil aves e outros animais, além da perda de bilhões de ovos de salmão. Cerca de 11 mil pessoas ajudaram na limpeza. Em 2002 um acidente semelhante fez com que o navio petroleiro grego Prestige naufragasse na costa espanhola despejando cerca de 11 milhões de litros de óleo no mar. Esse acontecimento matou mais de 20 mil aves e afetou mais de 700 praias (Cipriano, 2013).



Figura 8: Retrato do derramamento de óleo do Exxon Valdez

Fonte: NBC News (Chris Wilkins / AFP - Getty Images)

#### 4.6.5. 1991 – Queima de óleo no Golfo Pérsico

Após ser derrotado no Kwait, o ditador iraquiano Saddam Hussein ordenou a destruição dos poços de petróleo existentes no local. Cerca de 1 milhão de litros do óleo foram espalhados no Golfo Pérsico ou queimados. O acidente provocado pelo ditador matou aproximadamente 25 mil aves ao longo dos 600 km de costa atingido e mais de mil pessoas morreram intoxicadas com a fumaça que se espalhou pelo país. Este derramamento de petróleo foi considerado um dos maiores da história e um dos piores desastres provocados pelo homem (Cipriano, 2013).



Figura 9: Poço de petróleo em chamas após invasão de tropas iraquianas

Fonte: Jornal do Brasil/AFP

#### **4.6.6. 2008 – Explosão da conduta de petróleo na Coréia do Norte**

Em junho de 2008 na Coréia do Norte, uma fuga de petróleo numa velha conduta atraiu a população local que recolheu um pouco do combustível para uso próprio. O processo de retirada do óleo foi feito de maneira imprópria e sem nenhuma segurança, resultando em uma explosão que matou 110 pessoas (Cipriano, 2013).

#### **4.6.7. 2010 – Derramamento de óleo no Golfo do México**

Uma explosão na plataforma de petróleo Deepwater Horizon, operada pela British Petroleum, no Golfo do México em abril de 2010, foi o maior derramamento de petróleo já ocorrido nos Estados Unidos. O petróleo cru começou a vazrar da tubulação que se rompeu, e uma mancha negra atingiu a costa americana. 11 trabalhadores morreram e 17 ficaram feridos após a plataforma ficar em chamas por 2 dias. Trabalhadores e voluntários que trabalharam na limpeza sofrem de problemas no fígado e nos rins devido a exposição do produto dispersante tóxico utilizado (Lopes, 2013).



Figura 10: Óleo concentrado queima no Golfo Pérsico

Fonte: Estadão(Justin E. Stumberg/AP)

#### 4.6.8. 2011 – Acidente nuclear de Fukushima

Em março de 2011, um grande terremoto provocou um tsunami que destruiu a costa do Japão e danificou 3 reatores nucleares da central nuclear de Fukushima. Se todas medidas de segurança preventiva estivessem sido feitas, o acidente poderia ser evitado. A radioatividade liberada é tão perigosa quanto a liberada no acidente em Chernobyl; 100 mil pessoas foram evacuadas e 600 morreram durante a evacuação. Os funcionários responsáveis por conter a radioatividade foram expostos excessivamente ao material radioativo. Estima-se que a radioatividade liberada poderá alcançar lugares mais distantes, como a América do Norte (Lopes, 2013).



Figura 11: Usina Nuclear de Fukushima atingida pelo tsunami

Fonte: Veja-Abril/AFP



## 5. Energia Eólica

A energia eólica se tornou a promessa de fonte renovável e alternativa ao longo dos últimos anos, pois é um tipo de energia limpa e abundante. Esse tipo de energia é produzido através da utilização dos ventos, na transformação de energia cinética em energia elétrica através de hélices, que ligadas a uma turbina (também chamada de aerogerador), captam a força dos ventos (como na Figura 12); ou na sua transformação em energia mecânica através de moinhos e cataventos, para trabalhos como bombeamento de água. Aerogeradores podem estar agrupados em parques eólicos ou isolados, para alimentar localidades distantes de linhas de transmissão.

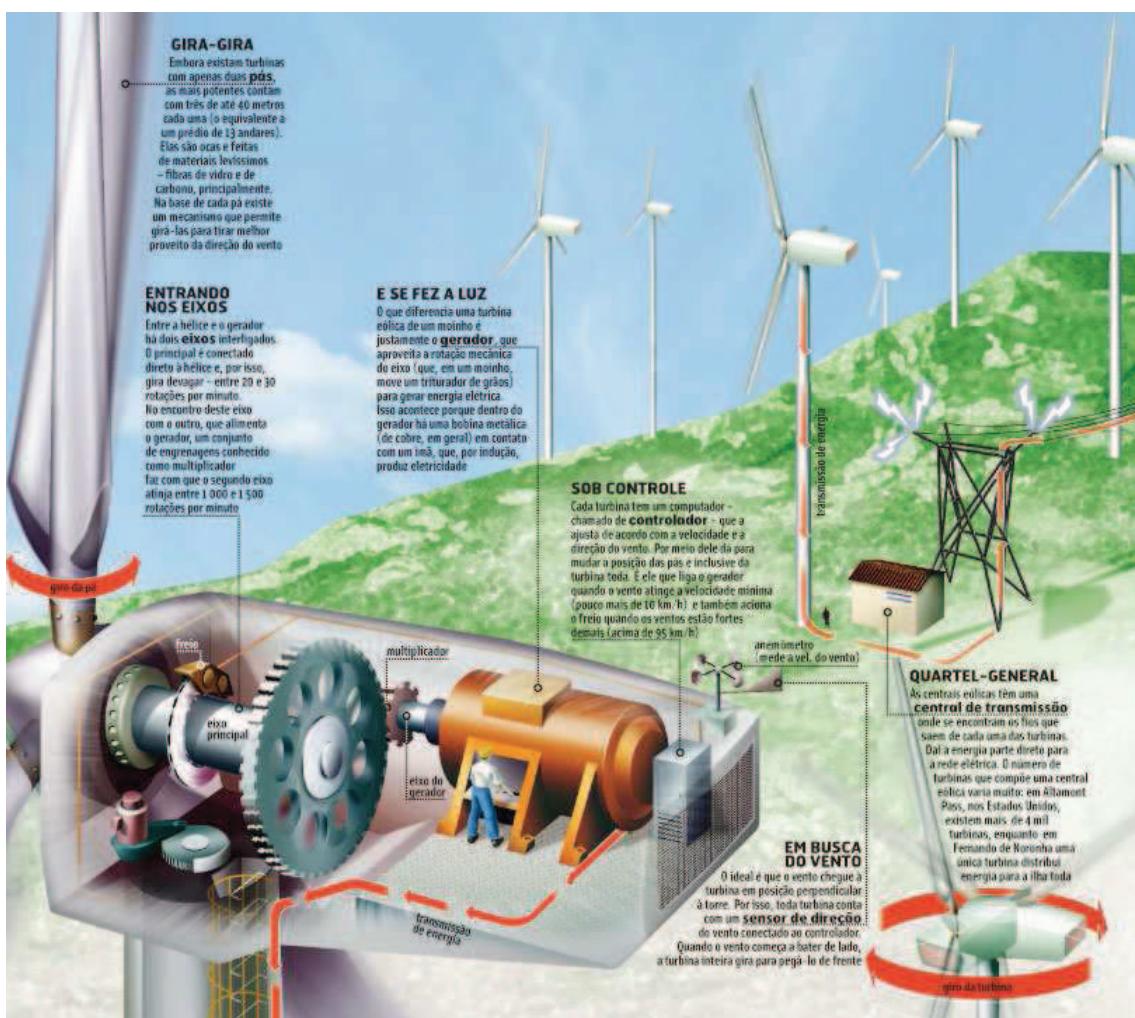


Figura 12 – Papel dos componentes de uma central eólica

A formação dos ventos ocorre através do deslocamento do ar de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão, sendo as melhores regiões para esse tipo de aproveitamento dos

ventos as regiões litorâneas e as regiões montanhosas, sendo as regiões de planícies com menor incidência de ventos.

### **5.1. Disponibilidade de Recursos**

Conhecimentos específicos da região são necessários para se determinar seu potencial eólico, como o regime dos ventos, sua intensidade, direção, relevo, rugosidade do solo, e outras características, com dados coletados em aeroportos, estações metereológicas, fornecendo uma primeira estimativa do potencial bruto ou teórico do aproveitamento dessa energia.

Um potencial eólico pode ser considerado aproveitável se sua densidade for maior ou igual a  $500 \text{ W/m}^2$ , a uma altura de 50 metros, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. E, segundo a Organização Mundial de Metereologia, isso é atingido em apenas 13% da superfície terrestre, sendo muito variável de acordo com a região e continente, chegando a 32% na Europa Ocidental (Grubb & Meyer, 1993).

### **5.2. Surgimento e evolução**

A energia eólica é utilizada há milhares de anos, seja para o bombeamento de água, a moagem de grãos, ou geração de energia elétrica. As primeiras tentativas de seu uso para geração de eletricidade surgiram no final do século XIX, e com a crise internacional do petróleo (década de 1970) esse uso foi acentuado, havendo um interesse de investimentos para seu desenvolvimento e aplicação em escala comercial.

Nos Estados Unidos e Europa o interesse por fontes de energia alternativos foi despertado quando se tornou grande a dependência por recursos de energia não renováveis, como carvão e petróleo.

Em 1976, a primeira turbina eólica ligada à rede elétrica pública foi instalada na Dinamarca. Atualmente existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação pelo mundo (ANEEL, 2008).

### **5.3. Turbinas Eólicas**

Inicialmente, turbinas do tipo: – eixo horizontal, eixo vertical, com apenas uma pá, com duas e três pás, gerador de indução, gerador síncrono, entre outras, eram utilizadas. Atualmente são utilizadas turbinas do tipo: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não-flexível, como ilustrado na Figura 13.

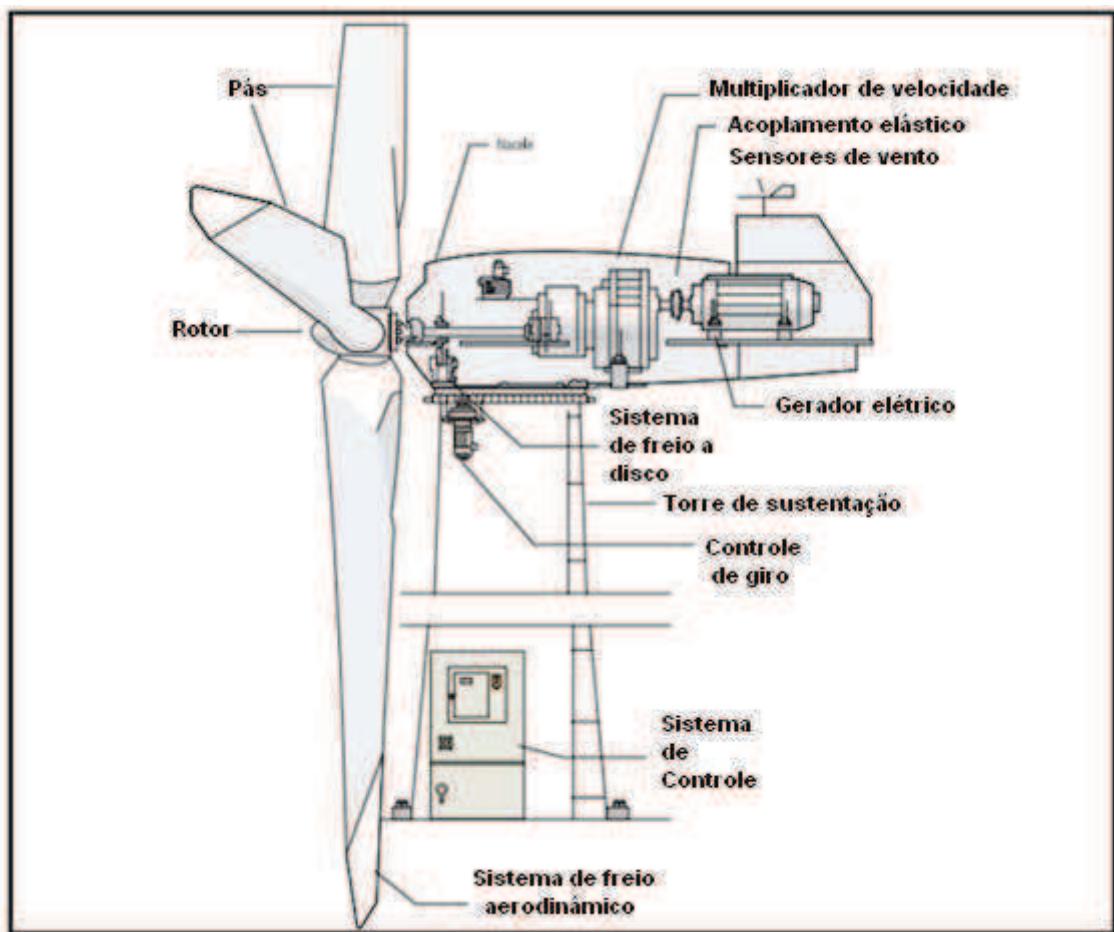


Figura 13: Esquemático de turbina eólica moderna

(CBEE, 2000)

As primeiras turbinas eólicas desenvolvidas em escala comercial tinham potências nominais entre 10 kW e 50 kW, tendo esta aumentado para a faixa de 100 kW a 300 kW, na década de 1990, para 300 kW a 750 kW, em 1995. Em 1997 iniciou-se a geração de máquinas de grande porte, como turbinas eólicas de 1 MW e 1,5 MW. As primeiras turbinas eólicas de 2MW tiveram início em 1999, e estão sendo testados na Alemanha e Espanha protótipos de 3,6MW e 4,5MW (CBEE,2000).

Em 2002, a capacidade média instalada de turbinas eólicas na Alemanha foi de 1,4MW e na Espanha de 850 kW. Em funcionamento no mundo atualmente existem mais de mil turbinas eólicas com potência nominal superior a 1MW (ANEEL, 2008).

Classificam-se as turbinas eólicas quanto ao porte de acordo com a Figura 14: pequenas (a), com potência nominal menor que 500 kW; médias (b), com potência nominal entre 500 kW e 1000 kW; e grandes (c), com potência nominal maior que 1 MW. (ANEEL, 2008).

Utilizam-se turbinas conectadas à rede elétrica também para o suprimento de eletricidade a ecossistemas e comunidades isoladas. As turbinas de médio porte podem ser instaladas em terra firme, e as de grande porte, off-shore, como na Figura 14.

A disponibilidade de acionamento direto (sem multiplicador de velocidades) foi uma das maiores inovações tecnológicas nos últimos anos, com geradores síncronos e novos sistemas de controle, permitindo uma velocidade variável das turbinas com qualquer tipo de gerador; além da possibilidade de aplicação e local de instalação variadas dessas máquinas.

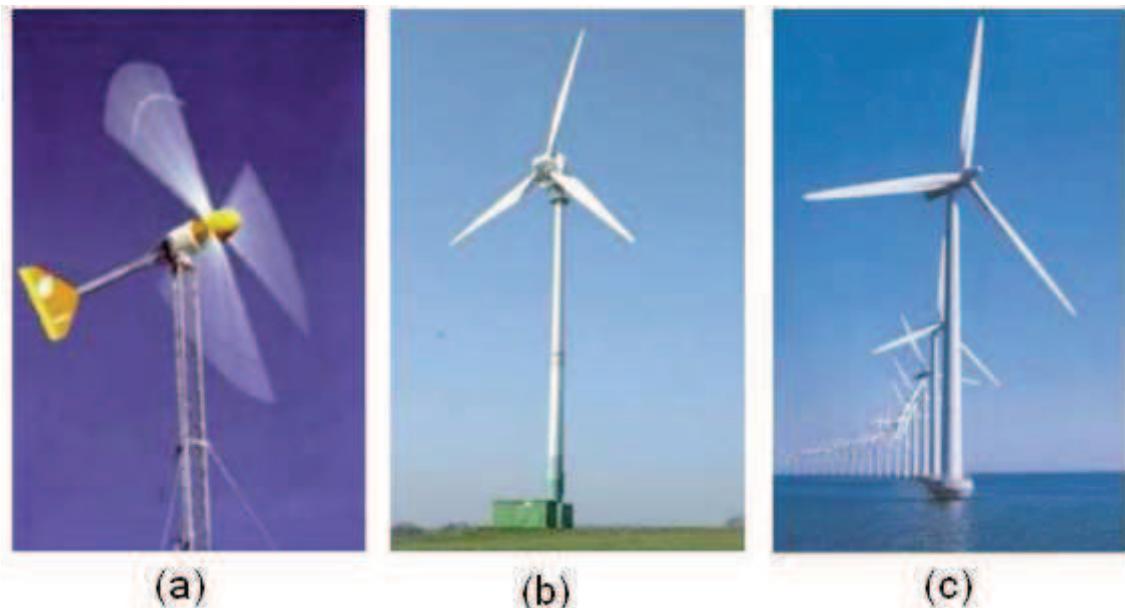


Figura 14: Da esquerda para a direita: turbina pequena, média e grande

(CBEE, 2000)

#### 5.4. Capacidade Mundial Instalada

O uso de energia eólica pelo mundo tem sido cada vez maior. O crescimento da capacidade mundial instalada desde 1997 e seu aumento entre 2007 e 2009, pode ser observado no Gráfico 2 (WWEA, 2011).

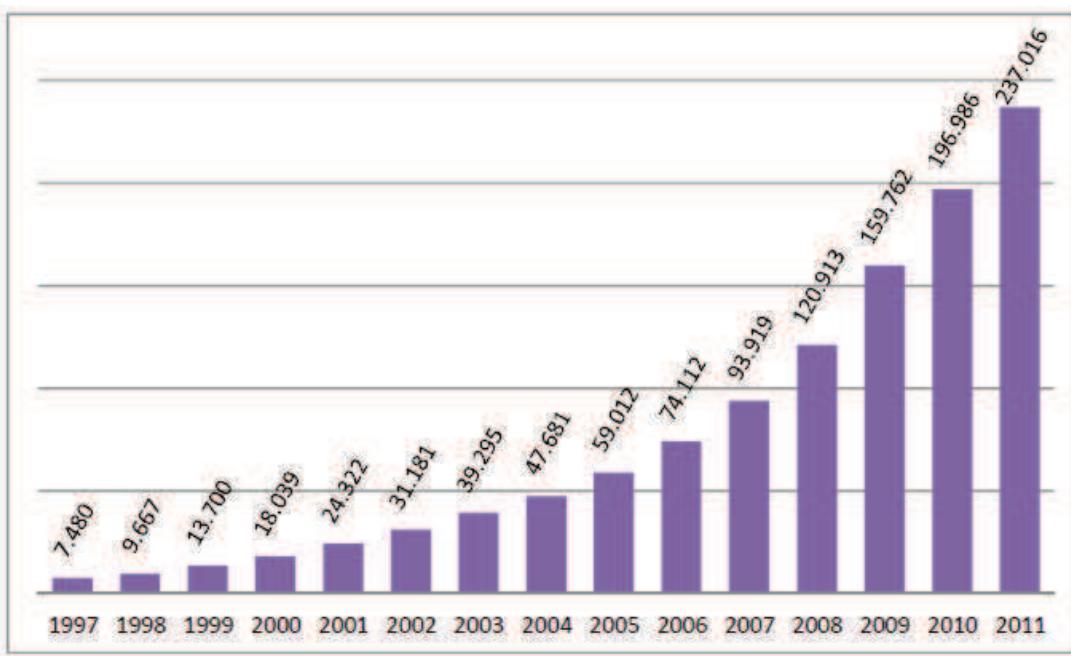


Gráfico 2- Capacidade total instalada de energia eólica no mundo em MW

(WWEA, 2011)

Isso se deve à postura ecológica e ambiental adotada e ao aumento de investimentos nesse tipo de fonte de energia. Esse comportamento é evidente no Gráfico 3, já que pode-se observar um aumento de 50% ano a ano da capacidade instalada, ocorrendo sua estabilização em 2009, por volta de 40 GW (WWEA, 2011).

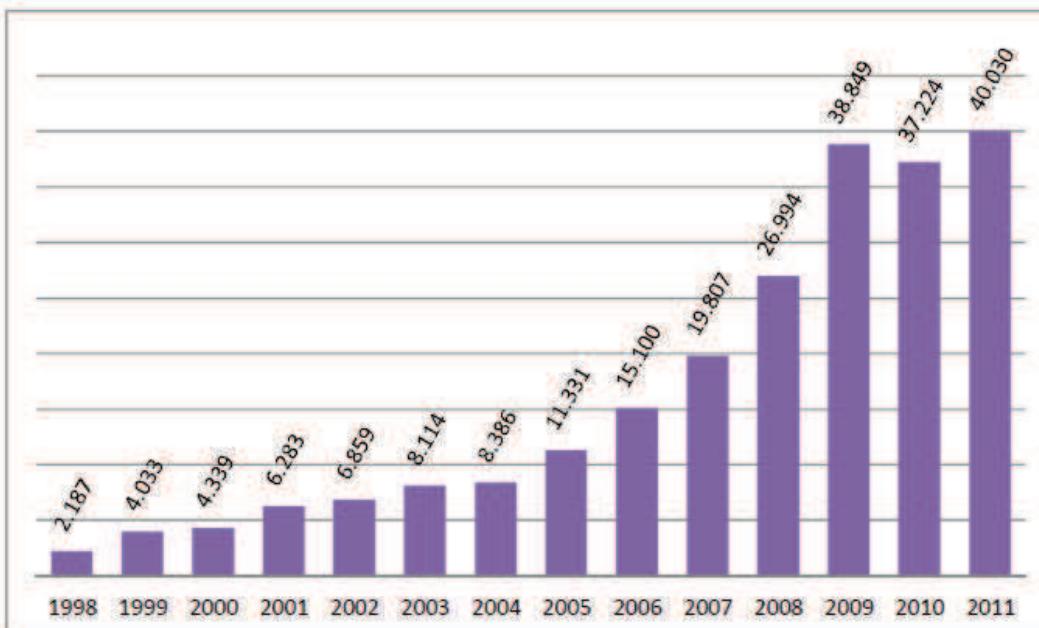


Gráfico 3- Capacidade instalada adicional de energia eólica por ano em MW

(WWEA, 2011)

Em 1990, a capacidade instalada no mundo era inferior a 2.000 MW. Em 1994, ela subiu para 3.734 MW, divididos entre Europa (45,1%), América (48,4%), Ásia (6,4%) e outros países (1,1%). Quatro anos mais tarde, chegou a 10.000 MW e no final de 2002 a capacidade total instalada no mundo ultrapassou 32.000 MW. O mercado tem crescido substancialmente nos últimos anos, principalmente na Alemanha, Estados Unidos, Dinamarca e Espanha, onde a potência adicionada anualmente supera 3.000 MW (WWEA, 2011).

Esse crescimento de mercado fez com que a Associação Européia de Energia Eólica estabelecesse novas metas indicando que, até 2020, a energia eólica poderá suprir 10% de toda a energia elétrica requerida no mundo (WWEA, 2011).

De fato, em alguns países e regiões, a energia eólica já representa uma parcela considerável da eletricidade produzida, como se pode ver no Gráfico 4.

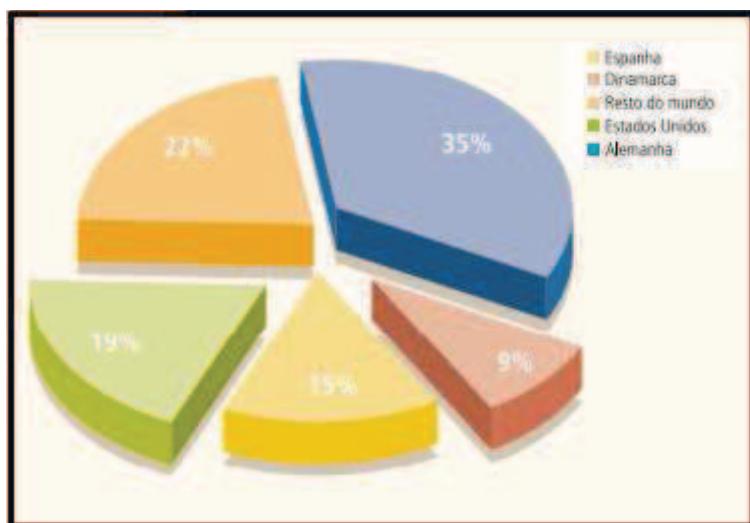


Gráfico 4 -Distribuição da capacidade eólica instalada no mundo

(WWEA, 2011)

De acordo com as Tabelas 2 e 3, que trazem dados sobre países com as maiores capacidades instaladas de energia eólica até 2011, pode-se observar que países antigos pioneiros no que se diz respeito ao desenvolvimento desse tipo de energia, como Alemanha e Espanha, perderam lugar para países maiores e que investem mais nesse tipo de fonte de energia. Destaque para a China cujo aumento em cinco anos superou 10 vezes a capacidade instalada do país (WWEA,2011).

Tabela 1- Ranking dos países em capacidade instalada de energia eólica em 2011

<b>Posição 2011</b>	<b>País</b>	<b>Capacidade instalada em 2011 (MW)</b>	<b>Instalada em 2011 (MW)</b>	<b>Crescimento em 2011 (%)</b>
1	China	62.364,00	17.600,00	39,4
2	EUA	46.919,00	6.810,00	16,8
3	Alemanha	29.075,00	2.007,00	6,8
4	Espanha	21.673,00	1.050,00	4,8
5	Índia	15.880,00	2.827,00	21,5
6	Itália	6.737,00	950,00	16,2
7	França	6.640,00	980,00	17,3
8	Reino Unido	6.018,00	730,00	15,6
9	Canadá	5.265,00	1.267,00	31,4
10	Portugal	4.083,00	375,00	10,3
11	Dinamarca	3.927,00	180,00	5,2
12	Suécia	2.798,00	746,00	36,4

(WWEA, 2011)

Tabela 2- Ranking dos países em capacidade instalada de energia eólica em 2008, 2009 e 2010

<b>Posição 2010</b>	<b>País</b>	<b>Capacidade instalada em 2010 (MW)</b>	<b>Instalada em 2009 (MW)</b>	<b>Crescimento em 2008 (MW)</b>
1	China	44.733,00	25.810,00	12.210,00
2	EUA	40.180,00	35.159,00	25.237,00
3	Alemanha	27.215,00	25.777,00	23.897,00
4	Espanha	20.676,00	19.149,00	16.689,00
5	Índia	13.065,80	11.807,00	9.587,00
6	Itália	5.797,00	4.850,00	3.736,00
7	França	5.660,00	4.574,00	3.404,00
8	Reino Unido	5.203,80	4.092,00	3.195,00
9	Canadá	4.008,00	3.319,00	2.369,00
10	Portugal	3.702,00	3.357,00	2.862,00
11	Dinamarca	3.734,00	3.465,00	3.163,00
12	Suécia	2.052,00	1.448,20	1.066,90

(WWEA, 2011)

O Brasil ocupa a vigésima posição no ranking, sendo seu crescimento de 2005 para 2006 de mais de 8 vezes a capacidade instalada, e vem sendo mantida desde 2008 uma taxa de crescimento entre 40% e 50%. Isso pode ser verificado no Gráfico 5 ,sendo sua capacidade instalada de 1,4GW (WWEA,2011).

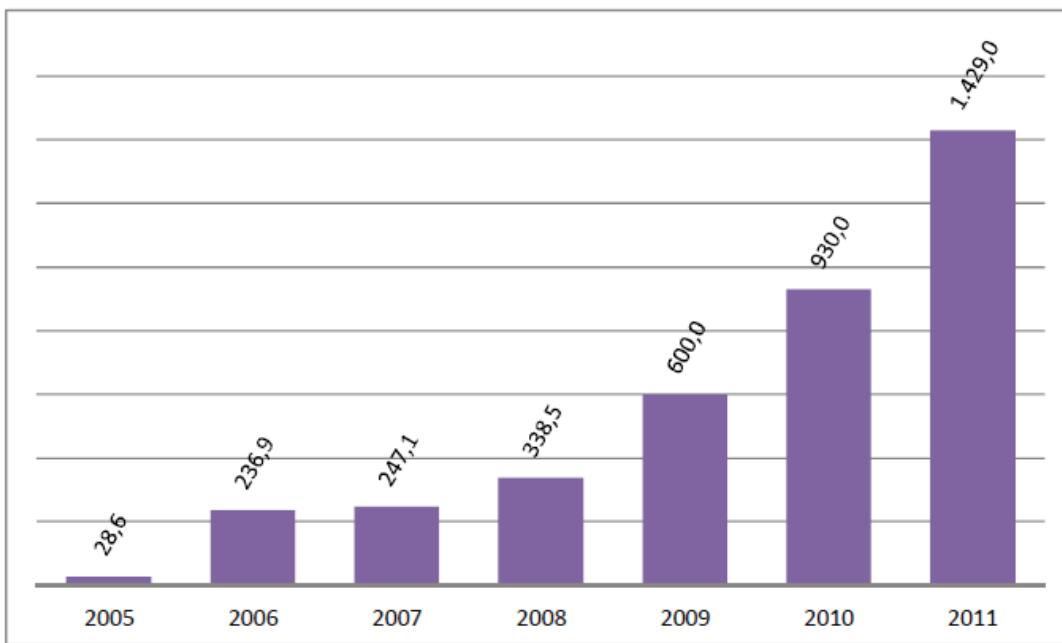


Gráfico 5- Capacidade de energia eólica instalada no Brasil desde 2005 em MW  
(WWEA, 2011)

### **5.5. Energia Eólica no contexto do Setor Elétrico Brasileiro**

A participação da energia eólica na geração de energia elétrica no Brasil vem aumentando. Em 2002, havia apenas 6 centrais em operação no Brasil, num total de 18,8 MW de capacidade instalada, sendo Taíba e Prainha, centrais no estado do Ceará representantes de 80 % do parque eólico nacional (ANEEL, 2008).

O grande potencial eólico está nas regiões de litoral devido ao vento forte vindo do mar, conforme a Figura 15. Nessas regiões se concentra a maior parte dos parques eólicos, porém algumas áreas no interior do Brasil ainda possuem grande disponibilidade para implantação de aerogeradores, como no sul do Brasil, centro-norte de Minas Gerais e centro da Bahia.

As medições devem ser a 50 metros do solo, altura média do rotor do gerador, e a velocidade média superior a 6 m/s, para que o vento recebido pelo rotor seja suficiente para acionar o gerador (ANEEL, 2008).

No Brasil, apesar dos regimes de ventos não serem muito fortes, eles são mais constantes que em outros países. A Alemanha, por exemplo, possui um fator de capacidade instalada (relação entre potência instalada e potência realmente gerada) de 26% (Hartkopf, 2011), enquanto no Brasil esse fator pode chegar a 45% (ABEEólica, 2012).

O Governo Federal realizou esforços para amenizar a crise no abastecimento de energia elétrica. Com o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), por exemplo, instituído em 2001, previa-se agregar ao país 1050 MW de energia eólica até o final de 2003.

Outro incentivo ao aumento do uso de energia eólica foi a implantação do Programa de Incentivo às fontes alternativas de Energia (PROINFA), prevendo a implantação de 1.422,92 MW, e 54 usinas eólicas. Na época, o Brasil passou em pouco mais de 3 anos de cerca de 22 MW de energia eólica instalada, para 414 MW instalados. Há a possibilidade da complementação do uso de energia eólica e hidrelétrica, já que na região nordeste o período de maior potencial eólico ocorre durante o período de menor disponibilidade hídrica, conforme o Gráfico 6 (ANEEL, 2008).

O Brasil tem um grande potencial eólico, mas pouco dele foi aproveitado. Existem em construção 22 projetos eólicos do PROINFA, que totalizam 463 MW, distribuídos de acordo com a Figura 16 (ANEEL, 2008).



Figura 15- Localização dos projetos eólicos em operação e outorgados (construção não iniciada) – situação em setembro de 2003

(ANEEL, 2008)

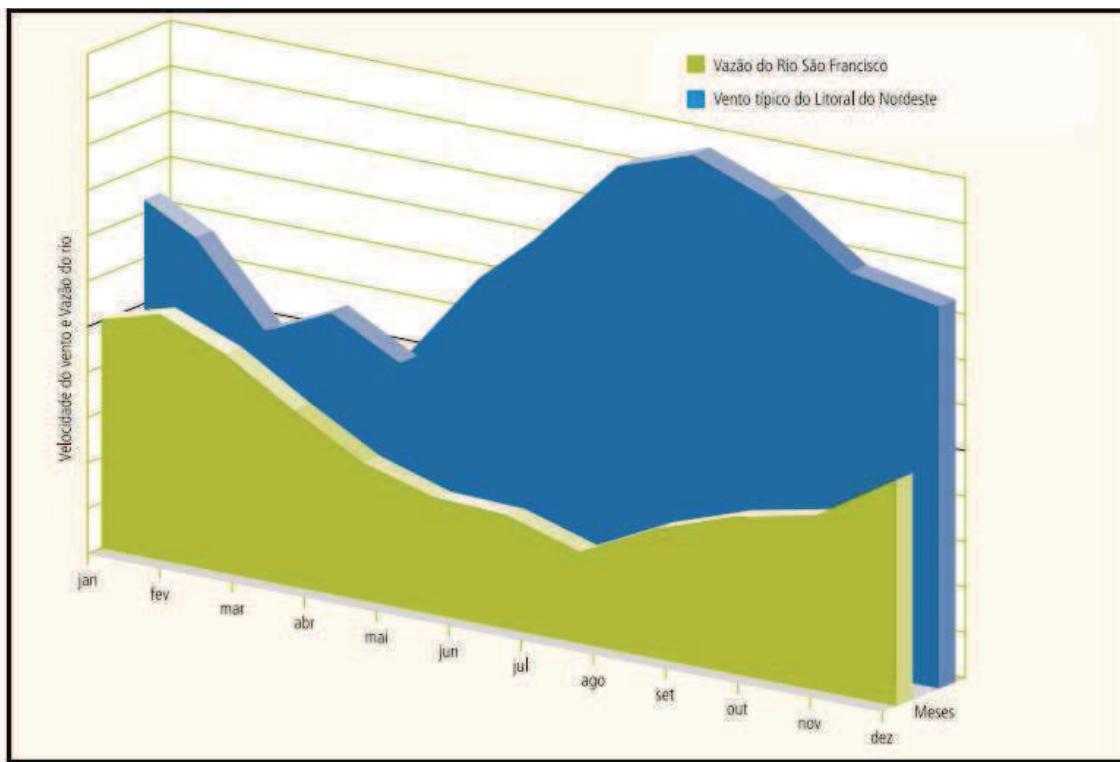


Gráfico 6- Complementaridade entre geração elétrica e eólica

(CBEE, 2000)

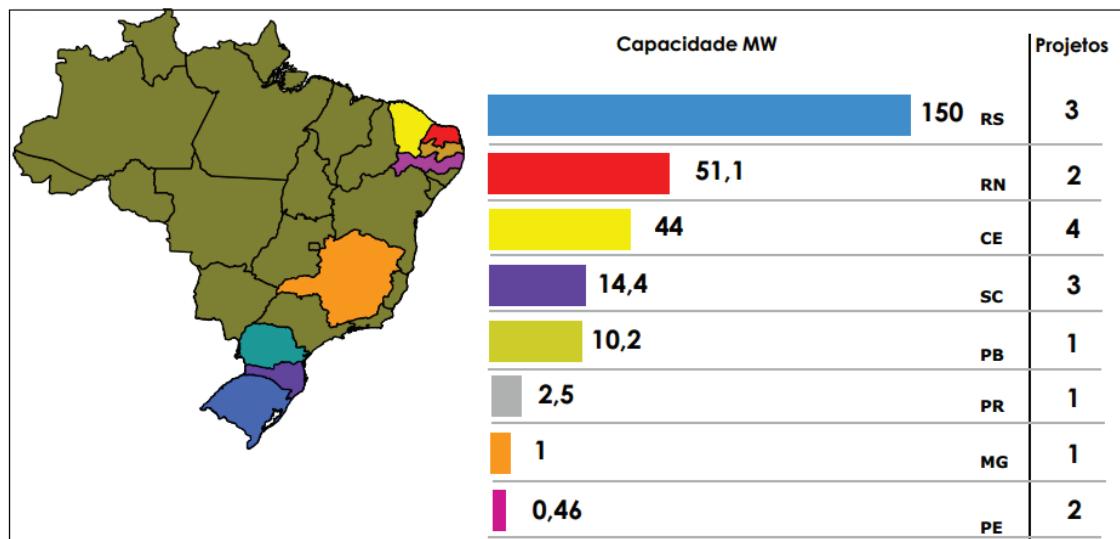


Figura 16- Capacidade em MW de acordo com alguns estados brasileiros

(ANEEL, 2008)

O potencial já autorizado pela Aneel supera 4,5GW. O Plano Nacional de Energia 2030 prevê que a fonte eólica terá uma participação de aproximadamente 5 GW (aproximadamente 4% da matriz), como ilustra a Figura 17 (PNE,2008).

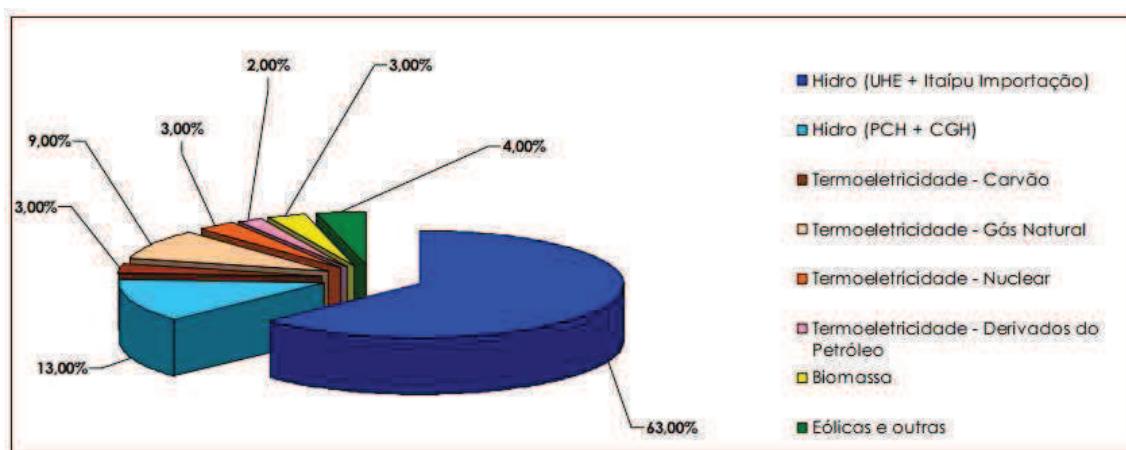


Figura 17- Parcada da participação de diferentes fontes de energia no Brasil  
(PNE, 2008)

## 5.6. Algumas Centrais Eólicas do país

### 5.6.1. Central Eólica Experimental do Morro do Camelinho

A central eólica do Morro do Camelinho foi a primeira usina eólica do Brasil. Instalada em 1994, no Município de Gouveia, Minas Gerais, tem capacidade nominal de 1 MW, possui 4 turbinas de 250 kW com rotor de 29 m de diâmetro e torre de 30 m de altura. Gera em torno de 2.000 MWh por ano (CBEE, 2000).

### 5.6.2. Central Eólica de Taíba

A Central Eólica de Taíba localiza-se no Município de São Gonçalo do Amarante, Estado do Ceará, e está em operação desde 1999. Com 5 MW de potência, 10 turbinas de 500 kW, geradores assíncronos, rotores de 40 m de diâmetro e torre de 45 m de altura, gera em média 17.500 MWh por ano, o suficiente para atender à demanda residencial de um município típico brasileiro com cerca de 50.000 habitantes (EPE, 2013).

### 5.6.3. Central Eólica de Palmas

Localizada no Município de Palmas, Estado do Paraná, foi a primeira central eólica no Sul do Brasil. Foi inaugurada em novembro de 1999 e possui 5 turbinas de 500 kW, como as de Taíba e Prainha (EPE, 2013).

### 5.6.4. Central Eólica de Prainha

Constitui o maior parque eólico da América do Sul, no Município de Aquiraz, Estado do Ceará. Inaugurada em abril de 1999, tem capacidade de 10 MW (20 turbinas de 500 kW), gerando energia suficiente para atender à demanda residencial de um município típico brasileiro com cerca de 100 mil habitantes (EPE, 2013).

## **5.7. Custo e Implantação**

A instalação de uma usina eólica demanda cerca de 18 meses, enquanto outros projetos de usinas de fontes alternativas ou convencionais demandam cerca de 24 meses, fazendo essa modalidade de geração de energia altamente competitiva (EPE, 2013).

Os custos com a construção de cada gerador de alta potência pode alcançar milhões de reais, e os custos com a manutenção destes não são muito altos. Já o custo com combustível para esse tipo de usina é zero, assim como a maioria das formas de geração de energia elétrica, que requerem altíssimos investimentos de capital e baixos custos de manutenção.

No leilão realizado em 2010 pela Aneel, o preço da energia de origem eólica era de R\$ 130,8/ MWh, e no leilão de 2011 era de R\$99,58/MWh, mais barata que a energia advinda de termelétricas a gás natural. Um incentivo foi a queda do preço do aço, importante para a produção de turbinas eólicas (EPE, 2013).

## **5.8. Impactos Socioambientais**

### **5.8.1. Poluição visual e sonora**

Apesar de ser considerada uma energia limpa, esse tipo de geração de energia causa alguns impactos negativos, como o impacto sonoro e o visual. Os impactos sonoros são devidos ao ruído dos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos, causando perturbações aos habitantes e à fauna local. A fim de evitar transtornos à população vizinha, os padrões estabelecidos pela legislação vigente devem ser seguidos no que se diz respeito ao nível de ruído das turbinas, já que turbinas de múltiplas pás, por exemplo, são menos eficientes e mais barulhentas que os aerogeradores de hélices de alta velocidade. Já os impactos visuais se devem ao aglomerado de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas (EPE, 2013).

Apesar dos efeitos negativos, essa mudança na paisagem natural tende a atrair turistas, gerando emprego, e desenvolvimento à região.

### **5.8.2. Impacto sobre a fauna**

A localização dos parques eólicos em áreas localizadas em rotas de migração de aves é um problema, já que algumas espécies aladas podem sofrer prejuízos. Entretanto, pode-se realizar um planejamento levando-se em conta aspectos de conservação da natureza, como "evitar a instalação de parques eólicos em áreas importantes de habitat; evitar áreas de corredor de migração; adotar arranjo adequado das turbinas no parque eólico; usar torres de tipos apropriados (tubulares); e utilizar sistemas de transmissão subterrâneos" (EWEA, 2004).

O ruído além de causar perturbação aos habitantes da região, pode também prejudicar a fauna local, como por exemplo, a sua interferência no processo reprodutivo das tartarugas.

Já analisando a instalação das turbinas, o impacto sobre o solo acontece somente na área da base em que a turbina foi instalada, e os riscos de contaminação do lençol freático são minimizados por não se utilizarem combustíveis fósseis, fazendo com que o risco de contaminação do solo por resíduos líquidos seja quase nulo.

Também torna-se possível o aproveitamento agrícola ou pecuário do solo na região do empreendimento, já que o aumento da altura das torres traz a necessidade de um espaço maior entre as turbinas, diminuindo a densidade na área da fazenda eólica. A ocupação do solo nessas áreas se restringe à área da base de concreto para sustentação de toda a máquina, deixando disponível toda área em torno dessa base; e a vegetação em torno da turbina eólica pode ser mantida intacta (EPE, 2013).

### **5.8.3. Interferências Eletromagnéticas**

Há a possibilidade de interferências eletromagnéticas causando perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados, como rádio e televisão, dependendo do local de instalação da usina, e do material utilizado na fabricação das pás.

### **5.8.4. Descarte das pás**

Associado ao crescimento da indústria eólica tem-se o problema do descarte das pás velhas que chegam ao fim da sua vida útil, além do aumento dos resíduos gerados na fabricação destas. Pás eólicas são formadas por uma mistura de materiais, geralmente um polímero termofixo como a resina epóxi, reforçado com fibra (normalmente de vidro).

Como a vida útil de uma pá eólica é em torno de 20 anos, estima-se que em 2020 serão geradas aproximadamente 50 mil toneladas anuais de pás usadas em todo o mundo, atingindo em 2034, cerca de 200 mil toneladas anuais; o que representa um problema volumoso, pesado e

caro. Assim, pressupõe-se que os donos de usinas queiram transferir a solução do mesmo para os fabricantes, sendo necessárias legislações internacionais que obriguem o fabricante de pás a dar destino adequado às pás trocadas (EWEA, 2004).

O material do qual as pás eólicas são constituídas é complexo, tornando a reciclagem convencional economicamente inviável. Está sendo testada na Unesp-Sorocaba a técnica de transformar o material polimérico num óleo útil além da recuperação da fibra presente, através da separação dos materiais (resina e fibra).

### **5.9. Vantagens da utilização da energia eólica**

Algumas vantagens do uso de energia eólica são:

- ✓ Por ser uma fonte de energia que não emite gases poluentes, diminui a emissão de gases de efeito estufa;
- ✓ É uma fonte inesgotável;
- ✓ Traz investimentos em áreas menos favorecidas;
- ✓ Seu terreno pode ser utilizado para agricultura e pecuária;
- ✓ É uma fonte mais barata de energia e de excelente rentabilidade de investimento;
- ✓ Reduz a elevada dependência de recursos não renováveis de outros países;
- ✓ Os aerogeradores não necessitam de abastecimento e a manutenção necessária é escassa.

### **5.10. Fatores necessários ao desenvolvimento da indústria eólica no Brasil**

O desenvolvimento da indústria eólica no Brasil depende de alguns fatores, como:

- ✓ Política de governo para inserção da fonte eólica na matriz elétrica, definindo a quantia de MWs anuais a serem contratados via Leilões;
- ✓ Realização de Leilões específicos da fonte eólica para atendimento de parte da demanda declarada pelas Distribuidoras;
- ✓ Regras de implantação mais severas;
- ✓ Condições de financiamento para projetos eólicos;
- ✓ Agilidade no licenciamento ambiental;
- ✓ Determinação de um período e condições específicas para a importação de equipamentos até a consolidação da indústria.

## 6. Aproveitamento fototérmico e solar

A energia solar pode ser usada como fonte de energia térmica, sendo convertida diretamente em energia elétrica por meio da utilização de materiais, como por exemplo o fotoelétrico e o fotovoltaico; ou como fonte de energia térmica gerando potência mecânica ou elétrica, aquecendo fluidos; além de ser aproveitada para a iluminação natural e seu calor utilizado para o aquecimento de ambientes.

Com técnicas mais elaboradas de arquitetura e construção, consegue-se um melhor aproveitamento da radiação solar. Aquecimento solar passivo é o nome dado à utilização do calor e da iluminação natural em ambientes, como o uso dessa energia solar em edifícios, reduzindo-se a necessidade de iluminação e aquecimento nestes.

Com o uso de coletores ou concentradores solares pode-se aquecer fluidos através do aproveitamento térmico, sendo os primeiros utilizados em locais residenciais e comerciais para o aquecimento de água; enquanto os concentradores são utilizados quando há a necessidade de um aquecimento maior, chegando a temperaturas mais elevadas como na produção de vapor, podendo gerar energia mecânica com o uso de uma turbina a vapor, e posteriormente através de um gerador gerar eletricidade.

Devido aos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais como semicondutores, consegue-se converter energia solar diretamente em energia elétrica. Com destaque para efeitos como o fotovoltaico e o termoelétrico, sendo que no primeiro, com o uso de células solares os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica; no segundo, a junção de dois metais em condições específicas causam o surgimento de uma diferença de potencial.

A geração fotovoltaica de energia elétrica e o aquecimento de água são os processos de aproveitamento de energia solar mais utilizados dentre todos os outros. No Brasil utiliza-se mais o primeiro nas regiões Norte e Nordeste em lugares afastados da rede elétrica, já o segundo é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste devido ao clima dessas regiões (Magnoli & Scalzaretto, 1998).

### 6.1. Disponibilidade de Recursos

Devido aos movimentos de rotação e translação que a Terra realiza, a disponibilidade de radiação solar depende da latitude e da posição no tempo (hora e dia do ano) em que o local se encontra, além das condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar.

A duração solar do dia varia de região pra região de acordo com os períodos do ano, sendo as variações mais intensas nas regiões polares e nos períodos de solstício (quando o

hemisfério está mais voltado ao Sol, seja mais ao Norte ou mais ao Sul), e menos intensas próximo ao equador nos equinócios (hemisférios igualmente posicionados em relação ao Sol), como ilustra a Figura 18 (Magnoli & Scalzaretto, 1998).



Figura 18- Representação do movimento da Terra em Torno do Sol e das estações do ano (Magnoli & Scalzaretto, 1998).

Não se observam grandes variações na duração solar do dia na maior parte do território brasileiro, por este estar localizado relativamente próximo à linha do Equador. Mas em regiões mais distantes da linha do Equador, a duração solar do dia varia de 10 a 13 horas aproximadamente, entre 21 de junho e 23 de dezembro respectivamente, como na região de Porto Alegre, por exemplo.

Para maximizar o aproveitamento dessa radiação solar, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com o período do ano em que se requer mais energia e a latitude do local. Um sistema de captação solar no Sul, por exemplo, se orientado para o Norte com um ângulo de inclinação semelhante à latitude do local, faz com que esse aproveitamento seja maior.

Apesar de somente uma parte da radiação solar atingir a superfície terrestre, já que parte dos raios solares sofrem reflexão e absorção pela atmosfera; o valor da energia solar incidente sobre a superfície terrestre é 10 mil vezes o valor do consumo mundial de energia.

Pela Figura 19, vê-se que a região com maior índice de radiação é a região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco, existindo também várias regiões de pequenos aproveitamentos de energia solar no Brasil (ANEEL, 2008).

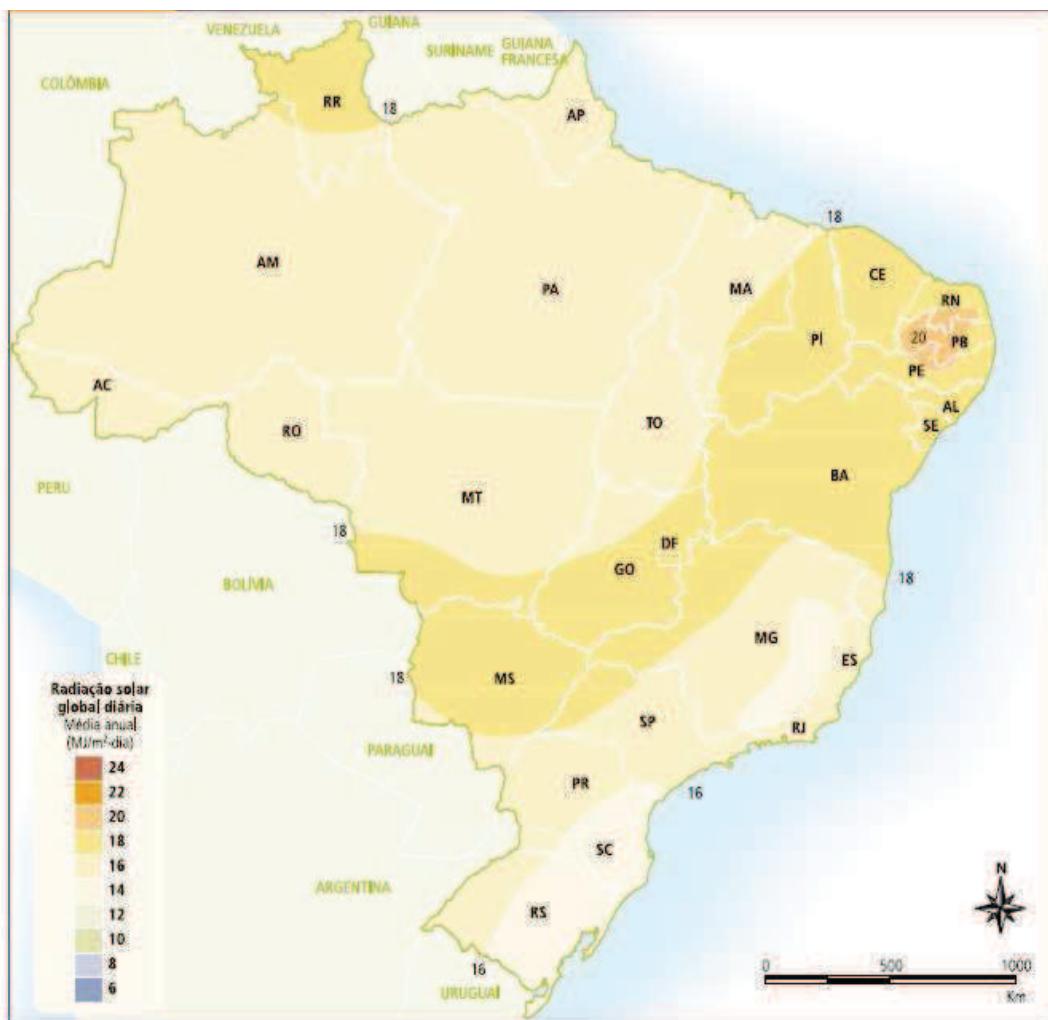


Figura 19-Radiação solar global diária - média anual típica (MJ/m<sup>2</sup>.dia)  
(ANEEL, 2008)

## 6.2. Surgimento e evolução

Em 1939, o físico francês Alexandre Edmond Becquerel verificou por acaso que a exposição à luz de eletrodos de platina ou de prata dava origem ao efeito fotovoltaico, surgindo a idéia de transformar energia solar em elétrica. Mas a evolução de sua utilização prática surgiu na segunda metade do século XIX, com o engenheiro alemão Werner Siemens.

Diferentes tecnologias foram surgindo ao longo dos anos, existindo diferentes materiais semicondutores cada vez menores e de massa reduzida, facilitando sua disposição.

A terceira geração fotovoltaica é muito diferente das duas anteriores, definida por utilizar semicondutores que dependem da junção p-n para separar partículas carregadas por fotogestão. Estes novos dispositivos incluem células fotoeletroquímicas e células de nanocristais (ANEEL, 2008).

### 6.3.Tipos de captação solar

#### 6.3.1. Aproveitamento Térmico

Para se obter a energia solar térmica são utilizados coletores planos ou concentradores solares. A energia solar térmica pode ser utilizada para aquecimento de água e também para secagem e aquecimento industrial, além de várias outras aplicações.

##### 6.3.1.1. Coletores Solares

Também conhecido como aquecimento solar ativo, o uso de coletores solares para o aproveitamento térmico da energia solar ocorre principalmente no setor residencial, porém seu uso também é significativo em edifícios públicos e comerciais, hotéis, hospitais e restaurantes, principalmente para o aquecimento de água a temperaturas inferiores a 100°C. Normalmente é instalado no teto de residências e edificações, podendo ser necessária a instalação de vários metros quadrados de coletores para o atendimento de uma única residência, como por exemplo, para o suprimento de água quente numa residência com três ou quatro moradores em que são necessários cerca de 4 m<sup>2</sup> de coletor, veja na Figura 20 um exemplo:

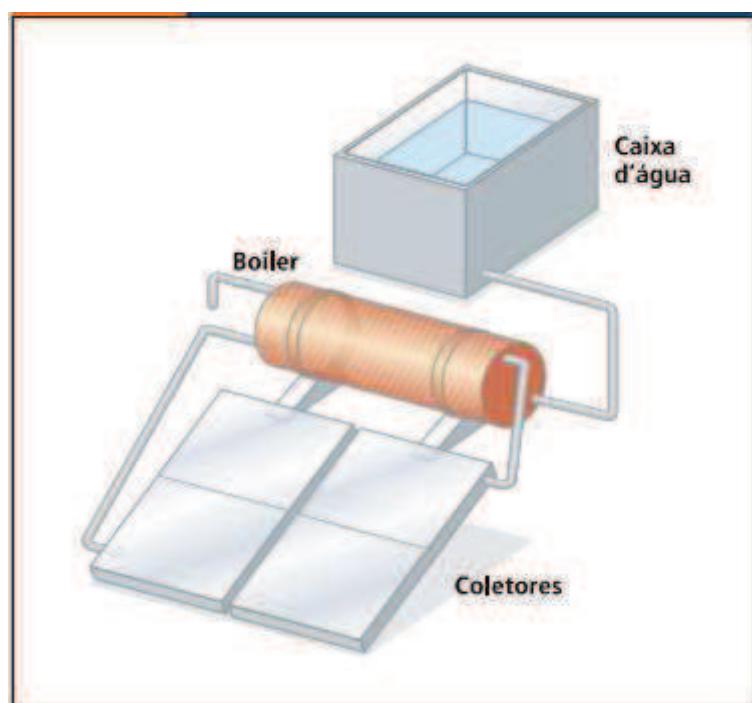


Figura 20- Sistema Solar de aquecimento de água

(Green, 2000)

### **6.3.1.2. Concentradores Solares**

São utilizados quando se requerem temperaturas mais elevadas, já que estes captam energia solar de uma área grande e a concentram numa área muito menor, aumentando bastante a temperatura da mesma. Os raios solares incidem na superfície refletora (espelho) dos concentradores, que podem ser parabólicos ou esféricos, e são refletidos para o foco, onde se localiza o material a ser aquecido. Esse material atinge temperaturas bem elevadas e índices de eficiência entre 14% e 22% do aproveitamento dessa energia solar incidente, podendo ser utilizado para geração de vapor e, consequentemente, energia elétrica. Há a necessidade do uso de dispositivos de orientação para que a luz seja focalizada sobre uma pequena área, acarretando custos que podem ser minimizados em sistemas de grande porte (Green, 2000).

Visando a redução de custos e o aumento da eficiência de conversão, melhoramentos têm sido feitos, como por exemplo, o uso de folhas circulares de filme plástico aluminizado em lugar de pesados espelhos de vidro.

### **6.3.2. Conversão direta de energia térmica em energia elétrica**

A radiação solar pode ser convertida diretamente em energia elétrica por efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, em particular os semicondutores, destacando-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico.

#### **6.3.2.1. Efeito termoelétrico**

Utiliza-se a junção de dois metais para provocar o surgimento de uma diferença de potencial, através do aumento de temperatura causado nessa junção, fazendo com que sua temperatura seja maior do que a das extremidades dos fios. Seu uso comercial para geração de eletricidade tem sido impossibilitado pelos custos elevados dos materiais e baixos rendimentos, embora seu emprego tenha sido na construção de medidores de temperatura (Green, 2000).

#### **6.3.2.2. Efeito Fotovoltaico**

Nelos materiais mais adequados a serem utilizados para a conversão de radiação solar em energia elétrica são as células solares ou fotovoltaicas, destacando-se o silício. O efeito

fotovoltaico decorre da excitação de elétrons de alguns materiais na presença de luz solar, tendo as melhores células uma eficiência de conversão de cerca de 25% (Green, 2000).

Sua vantagem é não precisar do brilho do Sol para operar, já que também gera eletricidade em dias nublados dependendo da densidade das nuvens. A Figura 21 ilustra um sistema completo de geração fotovoltaica de energia elétrica.

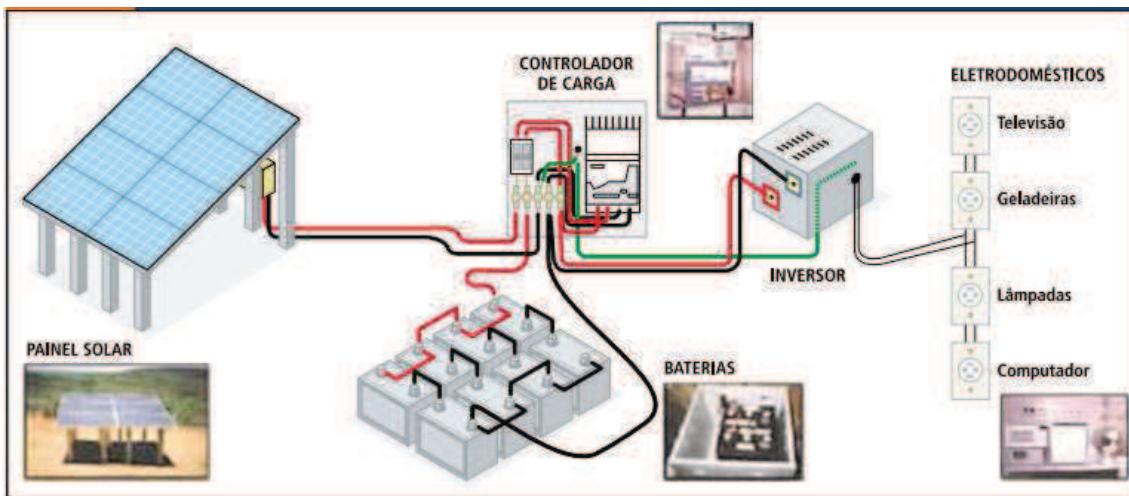


Figura 21- Sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica adaptado (Califórnia- EUA) (NREL, 2000)

#### 6.4. Utilização no mundo

Os continentes que mais investiram em energia solar o ano passado foram Europa, Ásia e América do Norte, totalizando um investimento de 1,5 bilhões de dólares. Segundo levantamento da Associação Européia da Indústria Fotovoltaica (EPIA, na sigla em inglês), em 2012 a capacidade acumulada de geração fotovoltaica no mundo atingiu cerca de 102 GW, pouparindo por ano cerca de 53 milhões de toneladas de gás carbônico( $CO_2$ ). Ocupando o terceiro lugar na geração de eletricidade, a energia solar representa 26% da energia renovável instalada no planeta (ANEEL, 2008).

O continente europeu representa 55% do mercado global em energia solar, e ainda concentra a maior capacidade de geração. Mas isso pode mudar nos próximos anos. Para a EPIA, em 2013, é quase certo que a maioria das novas capacidades de placas fotovoltaicas no mundo será instalada fora da Europa. "Parte da razão para o declínio nos números europeus é um resfriamento natural depois de um crescimento muito forte nos dois anos anteriores", destaca o estudo Tendências globais do investimento em energias renováveis em 2013, realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), em parceria com a Escola de Administração e Finanças de Frankfurt (Pnuma, 2012).

A capacidade de produção de energia solar mundial aumentou de 28,8 GW em 2011 para 30,5 GW em 2012, mas o investimento mundial em novas instalações foi 12% menor em 2012, devido à redução dos preços dos equipamentos, segundo o Pnuma. Na Europa a geração de energia solar diminuiu de 22,4 GW em 2011 para 17,2 GW em 2012. A Figura 22 representa a média da taxa de radiação solar em alguns países do mundo (Pnuma, 2012).

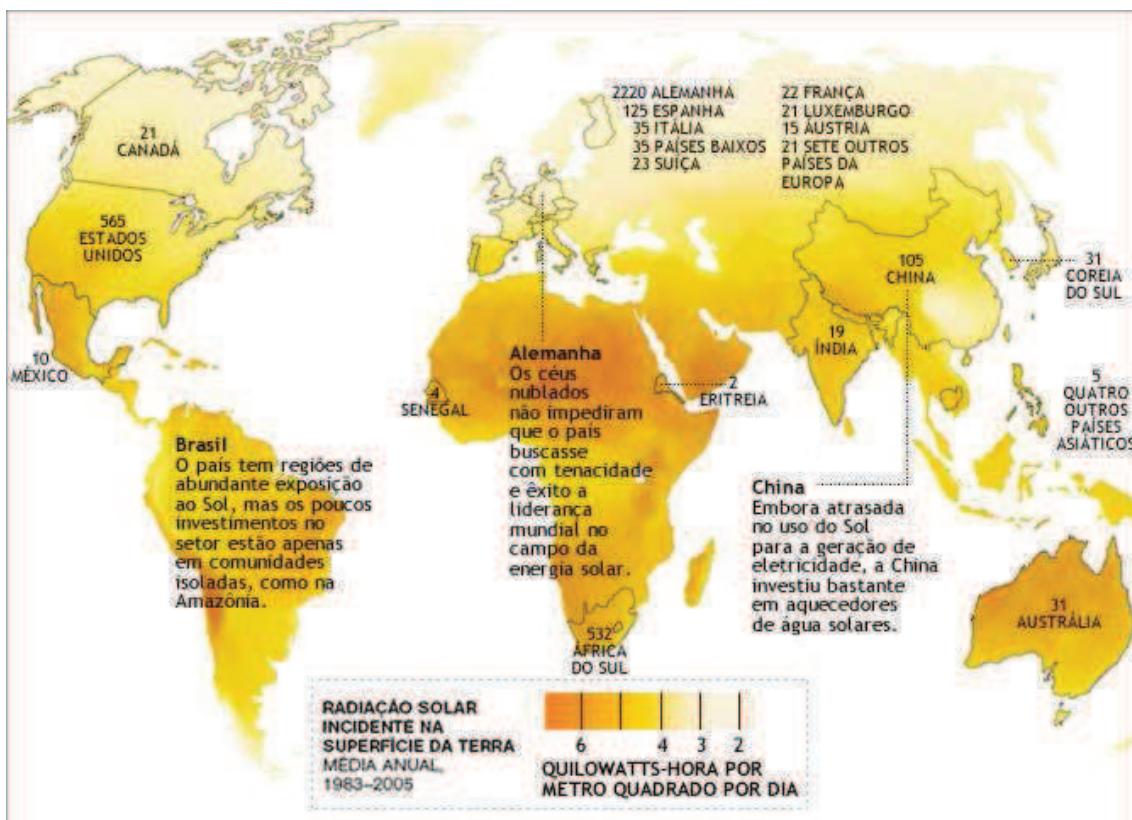


Figura 22- Média anual de radiação solar incidente (1983-2005)

(ANEEL, 2008)

Abaixo estão listados os 4 países que mais produzem energia solar no mundo e suas pretensões para os próximos anos:

#### 6.4.1. Alemanha

Produzindo cerca de 27.700 MW anualmente, a Alemanha é o maior produtor mundial de energia solar. De toda a energia que consomem os alemães, 5,5 % é proveniente do sol. O país é responsável por 44% da energia solar produzida na Europa, e detém 31% do mercado global. Em 2012, segundo o Pnuma, a rede elétrica alemã recebeu 7,6 GW com a instalação de novos sistemas (Pnuma, 2012).

O governo alemão estabeleceu a meta de 66 GW de energia solar como capacidade fotovoltaica para 2030. O país também tem o plano de alcançar 25% do seu total de eletricidade a partir de energia solar até 2050, além do preço da instalação de sistemas voltaicos na Alemanha ter diminuído 50% nos últimos cinco anos (Pnuma, 2012).

#### **6.4.2. Itália**

Segundo maior produtor de energia solar no mundo, a Itália produz cerca de 12,5 GW anualmente, 20% do que é produzido na Europa e 16% da energia solar produzida no mundo. Possui uma capacidade instalada de 16,3GW, liderando o abastecimento residencial e industrial, com 22% e 44%, respectivamente. Os números levantados pelos Pnuma e EPIA indicam uma queda na produção em 2012, já que o mercado de instalação gerou aproximadamente 5GW em 2010, 7 GW em 2011, caindo 53% em 2012. No último ano foram aplicados no setor investimentos de 14,1 bilhões de dólares, o que mostra que o país busca continuar entre os líderes em produção de energia solar (Pnuma, 2012).

#### **6.4.3. Japão**

O Japão foi o quinto maior investidor em energia solar em 2012, com cerca de 13,1 bilhões de dólares, o que representa um aumento em 56% nos investimentos em projetos de pequeno porte. Incluindo grandes projetos o investimento foi de 16 bilhões de dólares, 73% maior que o do ano anterior (Pnuma, 2012).

Foram instalados no Japão 1.100 MW de capacidade em 2011, acumulando agora 4.700 MW na produção de energia solar por ano, respondendo por 7% do mercado mundial. O apoio do governo para a implementação desse tipo de energia no país se tornou ainda maior após o incidente na usina nuclear de Fukushima em 2011, fazendo com que o país passasse a apostar em novas fontes de energia para superar a crise nuclear. A meta do governo para 2020 é que a capacidade fotovoltaica do país chegue a 28 GW e que em 2030 chegue a 53 GW (Pnuma, 2012).

#### **6.4.4. Estados Unidos**

Juntamente com o Japão, os Estados Unidos foi um dos precursores na implantação do uso de tecnologia fotovoltaica, tendo umas das maiores instalações de energia solar do mundo, a Solar Energy Generating Systems (SEGS), na Califórnia. Produzindo cerca de 4.200 GW de energia, representa 7% do mercado global, com 7,7GW de potência instalada, o que vem caindo

desde 2009 em que era representava 10% do mercado global. Mas segundo a EPIA, a previsão é de um crescimento de 4 GW a partir de 2013, e cerca de 30% até 2016, com a implantação de novos parques solares; além dos programas de incentivo à implantação de pequenas instalações lançados em 2012, como por exemplo a lei aprovada na Califórnia, que exige utilitários para que 33% de sua energia seja através de energias renováveis até 2021 (Pnuma, 2012).

Os cinco países que mais ampliaram sua capacidade instalada de energia solar em 2012 foram Alemanha, China, Itália, Estados Unidos e Japão, representando juntos 21,3 GW, quase dois terços do mercado global. Com destaque para o crescimento rápido da China que, apesar de exportar tecnologia solar mais do que eles mesmo utilizem, foi um dos países que mais investiu no setor em 2012, de acordo com o Pnuma, já que dos 67 bilhões investidos em energias renováveis no país, 24,7 bilhões foram para a energia solar. No total o país possui 8% da energia solar do mundo, gerando 8,3 GW de energia. Houve a criação de um plano de crescimento para que a produção de energia solar chinesa chegue de 20 a 30 GW até 2020, com o objetivo de reduzir sua dependência do carvão. Segundo o Pnuma, cerca de 300 MW de projetos de pequena escala foram aprovados com subsídios do governo chinês, sendo os três maiores com capacidade de 100 MW cada (Pnuma, 2012).

#### **6.4.5. Inaugurada maior central fotovoltaica do mundo**

Em março deste ano, foi inaugurada a maior usina solar do mundo, Sham-1, em pleno deserto de Madinat Zayed, na região ocidental do país, a cerca de 120 quilômetros a sudoeste de Abu-Dhabi, capital dos Emirados Árabes Unidos, uma das regiões mais ensolaradas e quentes do mundo. O projeto exigiu um investimento de cerca de € 600 milhões, evitando a emissão de 175.000 toneladas de CO<sub>2</sub> ao ano, o equivalente a retirar 15.000 automóveis de circulação. A usina possui 258 mil espelhos refletores em 768 coletores parabólicos, numa área equivalente a 285 estádios de futebol, com potencial de geração de 100 MW contínuos, suficientes para o consumo médio de 20 mil residências. A Figura 23 mostra a usina de Sham-1.

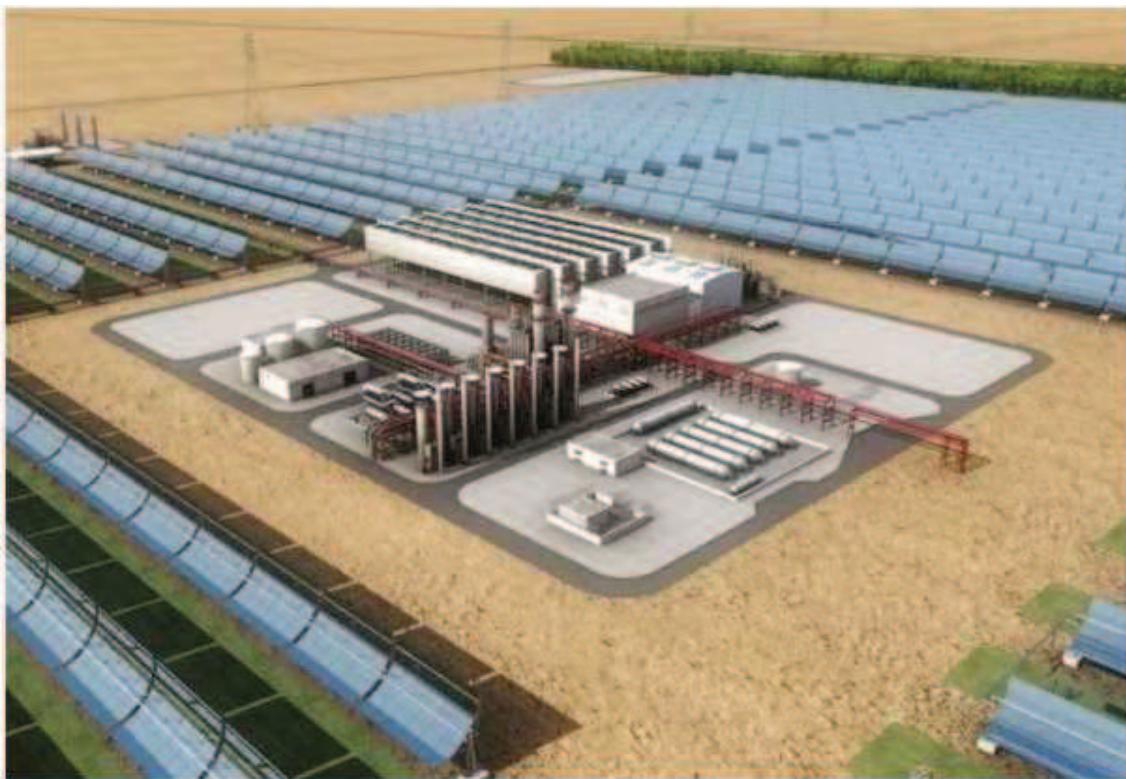


Figura 23- Foto da usina Sham-1

### **6.5. Utilização da energia solar no Brasil**

Há vários projetos de aproveitamento da energia solar em andamento ou em operação no Brasil atualmente com o intuito de atender comunidades isoladas da rede elétrica e de desenvolver regiões. O país conta com o apoio de organizações internacionais e principalmente com o apoio de instituições brasileiras como MME, Eletrobrás/CEPEL e universidades, com seu apoio técnico, científico e financeiro (Pnuma, 2012).

Com uma das maiores reservas de silício do mundo, o Brasil se torna um local propício para a produção de células fotovoltaicas em indústrias locais, o que traria retorno de impostos e geraria empregos. Para isso seria necessário purificar o silício até o chamado “grau solar”, superior ao do silício empregado na siderurgia, sendo necessário um investimento em pesquisas ligadas a essa purificação (Pnuma, 2012).

Nas regiões Sul e Sudeste do país, a energia solar é muito utilizada para o aquecimento de água em residências, já que grande parte do consumo de energia elétrica se deve a isso.

Os principais projetos de aproveitamento da energia solar para aquecimento de água e de geração fotovoltaica estarão descritos abaixo:

### 6.5.1. Aquecimento de água

As primeiras pesquisas sobre esse tipo de tecnologia surgiram na década de 60, e desde então essa tecnologia é usada no Brasil, passando a ser utilizada comercialmente pelas empresas em 1973.

São gastos bilhões de kWh de energia elétrica anualmente com o aquecimento doméstico de água para banho, o que faz com que o uso de energia solar seja uma boa alternativa socioeconômica e ambiental para esse fim seja em residências, hotéis, hospitais, ou conjuntos habitacionais (Pnuma, 2012).

Existem aproximadamente 250.000 aquecedores instalados no Brasil, apenas 0,6% do total de residências brasileiras, segundo a Sociedade Brasileira de Refrigeração. Esse número de sistemas solares instalados ainda é pequeno comparado a muitos países, já que seria necessário um grande investimento inicial para um aumento desse número (CCST, 2012).

No Gráfico 7, pode-se observar a evolução do mercado de aquecimento solar no país, que tem um crescimento anual de cerca de 35%, e uma produção crescente de coletores solares (CCST, 2012).

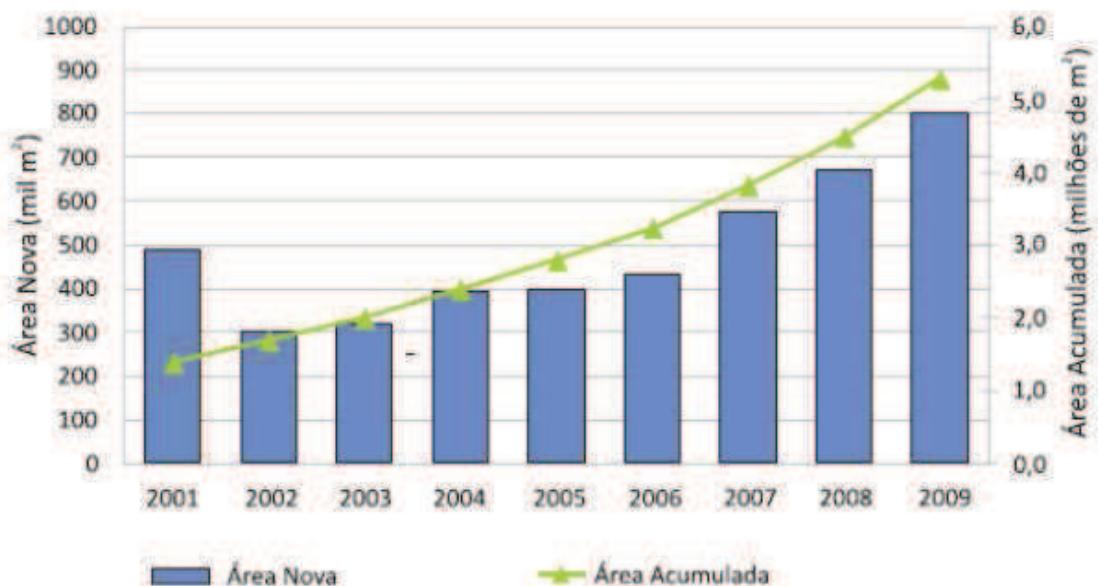


Gráfico 7- Evolução do mercado de aquecimento solar brasileiro.

### 6.5.2. Sistemas Fotovoltaicos

A maior parte dos sistemas fotovoltaicos existentes no Brasil se localiza no Norte e Nordeste, principalmente em comunidades rurais ou isoladas para bombeamento de água, abastecimento doméstico, irrigação, iluminação pública, como na eletrificação de escolas, e

atendimento domiciliar; além de estações telefônicas e monitoramento remoto, eletrificação de cercas, produção de gelo e dessalinização de água. Existe uma grande quantidade de pequenos projetos nacionais de geração fotovoltaica de energia, e uma grande parcela foi instalada através do PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios), instituído em 1994 pelo Governo Federal. Esses projetos incluem bombeamento de água, iluminação pública e sistemas energéticos coletivos (Pnuma, 2012).

O fato de estarem em localidades remotas, a multiplicidade de empresas envolvidas na sua implantação faz com que uma visão mais detalhada dessa distribuição dos sistemas fotovoltaicos instalados seja difícil.

## **6.6. Centrais Solares Brasileiras**

### **6.6.1. Usina Solar MPX Tauá**

A Usina Solar localizada na cidade de Tauá, no Ceará, conta com uma área de cerca de 12 mil metros quadrados, com capacidade de geração de 1MW, o equivalente ao consumo de 1.500 famílias. Com 4.680 painéis fotovoltaicos da fabricante japonesa Kyocera, esta usina foi um investimento feito pelo empresário Eike Batista e pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), de cerca de R\$ 10 milhões, que entrou em funcionamento em 2011, sendo a primeira usina fotovoltaica em escala comercial conectada ao Sistema Interligado Nacional brasileiro. O plano é que seja ampliada até a capacidade de 50 MW, sendo que já possui autorização da Aneel para uma capacidade de 5 MW (CCST, 2012).

### **6.6.2. Usina Solar Tanquinho**

Maior usina solar do Brasil, localizada em Campinas, inaugurada em 2012, a Usina Tanquinho teve um investimento de R\$ 13,8 milhões. Foi construída pela CPFL (Companhia de Força e Luz), com o apoio da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas), para compor em parte a eletricidade usada pelos moradores da cidade. Seu funcionamento deve abastecer cerca de 70% da população de Campinas, segundo a concessionária (CCST, 2012).

Conectada a linhas de distribuição que alimentam zonas rurais da região, a usina é dividida em 3 plantas, e possui potência total de 1.085 kWp (Wp refere-se às Condições-Padrão de Teste - Standard Test Conditions: irradiação de 1.000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, e temperatura da célula a 25°C) (CCST, 2012).

Outros projetos como o da usina solar que começará a funcionar no Parque Villa-Lobos, com investimento de R\$ 13,3 milhões e o da instalação de uma rede de energia solar na

construção do estádio Itaquerão, com investimento de R\$24 milhões , mostram que o país está caminhando para um crescimento no uso de energia solar como fonte de energia elétrica.

## **6.7. Custo de Implantação**

A energia solar é pouco utilizada devido ao elevado custo de obtenção desta, já que seu custo de instalação é bem mais elevado quando comparado com modalidades mais tradicionais de energia. Precisa-se de pesquisas e maior desenvolvimento tecnológico para que seu custo de instalação seja mais baixo, e sua eficiência maior.

Um sistema para uso familiar, por exemplo, numa casa cujo consumo seja cerca de 250 kWh de energia por mês, seriam necessários 8 painéis, num custo de R\$15.000 a R\$20.000, o que demoraria 15 anos para ter o retorno do investido (CCST, 2012).

No Brasil em 2010, a instalação do sistema fotovoltaico estava em torno de 3,5 mil euros/kW enquanto que na Alemanha, este custo seria em torno de 2,9 mil euros. Esse alto custo no Brasil se deve à inexistência da produção de semicondutores no país, havendo a necessidade da importação de produtos para a montagem das células fotovoltaicas. Os preços dos painéis têm reduzido cerca de 10% ao ano, e o avanço das tecnologias traz a promessa de redução dos custos, segundo a pesquisa do Laboratório de Nanotecnologia e Energia Solar (LNES) (CCST, 2012).

Um fator que pode contribuir para o abaixamento do preço pago pelo consumidor é a nova resolução da Aneel, que permite que a sobra de energia obtida durante o dia seja injetada na rede elétrica, e o produtor receba uma compensação em kWh da distribuidora, pagando apenas o valor da diferença entre a energia consumida da rede pública e o que foi gerado e colocado na rede. O uso de painéis solares para esquentar água do chuveiro é uma alternativa econômica que apresenta retorno do investimento em 3 anos, diminuindo o consumo de energia pelo chuveiro elétrico, que é o maior responsável pelo consumo de energia elétrica em residências (CCST, 2012).

### **6.7.1. Redução de custos**

Uma das saídas seria o uso de células que utilizam óxido de titânio como semicondutor, ou o uso de células orgânicas, que tem como base o carbono. Ambos fazem parte de pesquisas de laboratórios, prometendo a redução do custo dos painéis. Encontrar fornecedores para os componentes necessários seria um desafio, e somente com produção em larga escala conseguiram alcançar preços competitivos, ainda que com potência e vida útil menores que as dos painéis de materiais inorgânicos como os de silício e cobre.

## 6.8. Impactos Socioambientais

Um dos problemas do aproveitamento de energia solar, é que a baixa eficiência dos sistemas de conversão faz com que sejam necessárias grandes áreas para a captação de energia, para que essa torne o empreendimento viável. Além disso, há o problema da inutilidade do sistema após sua vida útil de 30 anos de geração. Normalmente parte é reciclada e o restante é descartado em algum aterro sanitário (CCST, 2012).

## 6.9. Vantagens do uso de energia solar

- ✓ Não é poluente durante seu uso, e a poluição decorrente dos equipamentos para a construção dos painéis solares é controlável;
- ✓ A manutenção necessária para as centrais é mínima;
- ✓ Sua instalação em pequena escala em lugares remotos não obriga grandes investimentos em linhas de transmissão;
- ✓ As perdas por transmissão e distribuição de energia são reduzidas, já que a eletricidade é consumida onde é produzida;
- ✓ Os maiores volumes de eletricidade são fornecidos quando ocorre a maior demanda, por exemplo, ao meio dia no Brasil, quando o uso do ar-condicionado é maior, há a maior incidência solar;
- ✓ O custo dos painéis solares vem decaindo e eles têm se tornado cada vez mais potentes.

## 6.10. Desvantagens da energia solar

- ✓ Durante a noite não há produção, havendo a necessidade de meios de armazenamento da energia produzida durante o dia em locais onde esses painéis solares não estejam ligados à rede de transmissão de energia;
- ✓ As formas de armazenamento da energia solar são pouco eficientes quando comparadas com combustíveis fósseis e energia hidroelétrica;
- ✓ A quantidade produzida varia de acordo com a situação climática, como chuvas, nebulosidade e neve;
- ✓ Quedas bruscas na produção ocorrem no inverno em locais de altas e médias latitudes, devido à menor disponibilidade de energia solar;
- ✓ O rendimento de painéis solares é de apenas 25%.





## 7. Energia Maremotriz

O mar pode ser utilizado para gerar energia, através do aproveitamento das marés, correntes marítimas e ondas. Mas todas as tecnologias de aproveitamento do mar estão em fase de desenvolvimento, não apresentando custos competitivos frente às demais fontes, com exceção ao aproveitamento da energia proveniente do desnível das marés ou do movimento destas, cujo potencial é utilizado em usinas maremotrizes (ANEEL, 2008).

A combinação de forças produzidas pela atração do sol e da lua e do movimento de rotação da Terra, causa as marés que levam à subida e descida da água dos mares e oceanos, e também a um movimento horizontal.

Energia maremotriz é o aproveitamento da energia contida no movimento das massas de água devido às marés, para geração de eletricidade. Pode-se obter energia cinética através das correntes devido às marés, ou energia potencial devido à diferença de altura entre as marés alta e baixa. Para que essa energia potencial se reverta em eletricidade, constrói-se uma barragem, formando um reservatório junto ao mar, permitindo a entrada e saída de água. O sistema é semelhante ao de uma usina hidrelétrica. Durante a maré alta, a água chega ao reservatório, passando pela turbina hidráulica, produzindo energia elétrica; e durante a maré baixa, esvazia-se o reservatório, e essa água que sai, passa pela turbina em sentido contrário, gerando energia elétrica novamente. A Figura 24 ilustra esse processo.

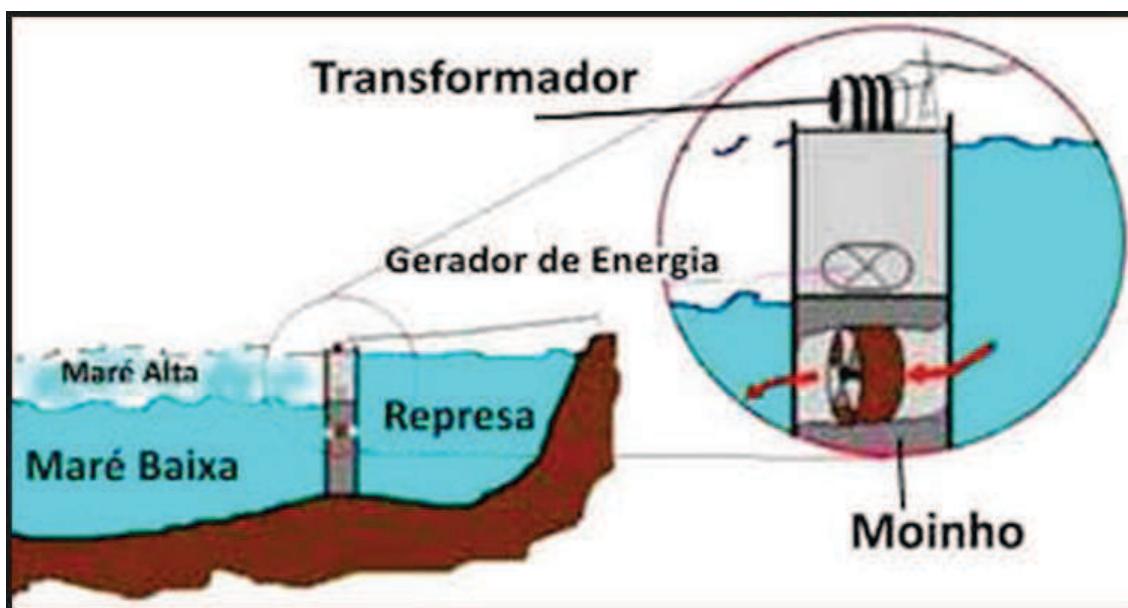


Figura 24- Modelo de uma barragem de geração de energia elétrica através da energia maremotriz

### **7.1. Disponibilidade de Recursos**

É necessário um conjunto de características geográficas específicas para a instalação de uma usina maremotriz, como uma área adequada para o represamento, a forma da costa e leito marinho, e a existência de baías e estuários.

Para o aproveitamento da energia das ondas, é necessário um local onde estas sejam continuamente altas, ou seja, a central tem que ser capaz de suportar condições adversas e rigorosas. Para o aproveitamento da energia das marés, as barragens também têm que ser bem resistentes (ANEEL, 2008).

### **7.2. Surgimento e evolução**

Sabe-se que desde o século XI a força das marés tem sido aproveitada. Naquela época, franceses e ingleses a utilizavam para movimentar pequenos moinhos. A primeira usina maremotriz entrou em funcionamento em 1963, no Rio Rance, na França. Foi construída uma barragem de 710 metros, numa usina com 24 turbinas de 5,3 metros de diâmetro, 470 toneladas, e capaz de gerar 240 MW (MME, 2012).

A partir daí muitos países passaram a utilizar a energia das marés como fonte alternativa de geração de energia elétrica, mas seu uso ainda é pequeno se comparado ao grande potencial existente.

### **7.3. No mundo**

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, França, Japão e Inglaterra já utilizam essa forma de geração de energia e existem projetos de construção de usinas maremotrizes em planejamento no Canadá, México, Reino Unido, EUA (principalmente na região do Havaí), Argentina, Austrália, Coréia e Rússia.

Em Portugal há uma central do tipo de coluna de água oscilante com um gerador de potência de 400 kW na Ilha dos Açores, local com condições naturais favoráveis para o aproveitamento das ondas para geração de energia. Portugal é um dos pioneiros no aproveitamento da energia das ondas com centrais na ilha do Pico, em Castelo de Neiva, e na Póvoa do Varzim.

Já no Japão, está sendo desenvolvido um projeto de aproveitamento da energia das ondas do mar através de um sistema que transforma a energia das ondas em energia pneumática. O balanço das ondas faz com que o nível da água no interior das câmaras funcione como um

pistão gigante ao subir e descer, comprimindo o ar que existe no interior, movendo suas pás e gerando eletricidade (ANEEL, 2008).

Sabe-se que apesar do grande interesse no desenvolvimento da energia maremotriz como fonte de geração energia elétrica, ainda muito pouco dela é utilizado atualmente, como se pode perceber pelo Gráfico 8.

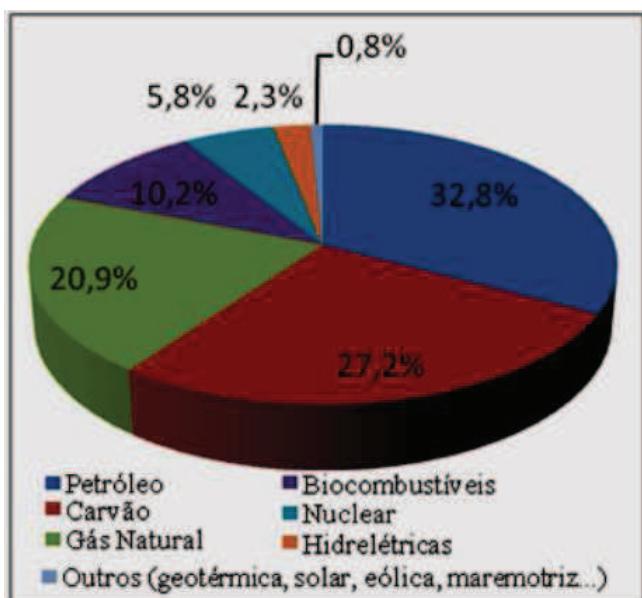


Gráfico 8 - Matriz Energética Mundial

(ANEEL, 2008)

#### 7.4. No Brasil

Apesar de apresentar condições favoráveis à implementação do uso de energia maremotriz para geração de energia elétrica em várias regiões, o Brasil ainda não possui nenhuma usina desse tipo. O litoral maranhense e os estados do Pará e Amapá, apresentam condições para esse sistema; e uma pesquisa que visa o estudo da implementação de uma usina que aproveite o balanço das marés no litoral Cearense gerando cerca de 400MW de energia elétrica, está sendo feita pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (ANEEL, 2008).

Está sendo discutido um projeto de implantação da primeira usina maremotriz no Brasil, na barragem de Bacanga, estado do Maranhão. No projeto da Barragem do Bacanga idealizado há mais de 40 anos já se tinha a idéia de que uma usina maremotriz seria colocada na barragem original. O litoral maranhense possui ondas com amplitude de até 8 metros, as maiores do país, o que faz dessa região uma região favorável à instalação dessa usina maremotriz. Esse projeto serve de exemplo para a construção de usinas desse tipo em outras regiões também favoráveis.

## 7.5. Custo de Implantação

O investimento financeiro necessário para a construção de uma usina maremotriz é alto, próximo ao de uma usina hidrelétrica, e seu período de construção também. Mas o aproveitamento da capacidade instalada é menor que o de uma hidrelétrica, já que a energia das marés não está disponível de maneira contínua. Como os custos de operação e manutenção da usina são baixos, pode-se recuperar os investimentos em construção e operação num período não muito longo.

A viabilidade econômica de uma usina maremotriz depende muito das demais alternativas energéticas da região, sendo muito competitiva em relação a termoelétricas, mas nem tanto quando comparada às hidrelétricas, por exemplo (ANEEL, 2008).

## 7.6. Impactos Ambientais

Ao se instalar uma usina maremotriz, pode-se interferir drasticamente nas características do local, já que a construção das barragens ocasiona alteração nos níveis das marés. Os equipamentos podem causar mudanças na qualidade da água, e na cadeia alimentar das espécies da região, como na vida de aves e peixes, por exemplo (ANEEL, 2008).

## 7.7. Vantagens

- ✓ É uma forma não-poluidora de geração de energia elétrica;
- ✓ É uma fonte de energia renovável, limpa e abundante;
- ✓ A vida útil de uma usina maremotriz é de 2 a 3 vezes a de uma usina nuclear ou termoelétrica.

## 7.8. Desvantagens

- ✓ Necessita de grande quantidade de água pra ser rentável;
- ✓ O rendimento obtido atualmente é baixo;
- ✓ Exige um investimento inicial alto;
- ✓ As marés e ondas não são constantes;
- ✓ Seu custo aumenta devido à necessidade de se utilizar materiais especiais em sua construção, devido ao alto poder de corrosão da água salgada.

## 8. Biomassa

A biomassa é uma das fontes de energia que mais tem crescido nos últimos tempos, podendo ser originada de substâncias orgânicas não-fósseis, principalmente de origem animal ou vegetal, como : lenha, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos de florestas, resíduos de agricultura, resíduos de aterros sanitários, excrementos animais, casca de arroz e outras matérias orgânicas. Pode ser utilizada para produção de calor, gerando eletricidade, ou para uso térmico industrial; além de outras formas de energias sólidas ( briquetes e carvão vegetal), líquidas ( biodiesel e etanol) e gasosas ( biogás de lixo). É utilizada na fabricação de vários biocombustíveis, como o BLT, biodiesel, biogás, etc. O biogás, por exemplo, pode ser utilizado em atividades industriais e agropecuárias produzindo calor, e também na geração de energia elétrica (ANEEL, 2008).

O processo de liberação da energia das plantas se deve à sua queima, através da qual o carbono se combina com o oxigênio do ar, liberando energia, água e CO<sub>2</sub>. Essa energia pode ser aplicada fervendo água, transformando essa em vapor , que alimenta as turbinas gerando eletricidade.

Outra forma de obtenção de energia através das plantas é com a criação do biocombustível. Os açúcares das plantas são convertidos em álcool através da fermentação, e esse álcool gasoso ou líquido, libera energia quando sofre queima.

Com a pressão dos ambientalistas e a escassez de fontes não-renováveis, a biomassa tende a ter um maior aproveitamento, já que sua quantidade é da ordem de dois trilhões de toneladas em toda a Terra, o equivalente em termos energéticos, a oito vezes o consumo mundial de energia primária. O aperfeiçoamento de tecnologias de conversão se fez necessário para o aumento da eficiência e a redução dos impactos ambientais causados pelo uso da biomassa (ANEEL, 2008).

### 8.1. Disponibilidade de Recursos

A variedade de fontes como resíduos agrícolas, industriais e urbanos, além de culturas plantadas exclusivamente para a obtenção da biomassa e também de tecnologias para os processos de conversão, fazem com que o potencial de crescimento da biomassa como fonte de produção de energia seja grande, segundo estudos do Ministério de Minas e Energia (MME).

Atualmente, estima-se que 14% do consumo mundial de energia primária seja através da biomassa. Essa taxa é maior em países em desenvolvimento, e chega a 65% na África. Apesar da Agência Internacional de Energia (AIE) indicar que a proporção da biomassa na matriz energética mundial tende a cair para 11% em 2020, outros estudos indicam que o uso da

biomassa tende a se manter estável ou até aumentar, consequência do crescimento da população, e da urbanização e melhora dos padrões de vida da população; já que com a melhoria de vida da população urbana e rural, essas substituem o uso de resíduos (galhos de árvore, etc.) pelo uso de lenha e carvão vegetal (ANEEL, 2008).

## **8.2. Surgimento e evolução**

A importância da biomassa como fonte energética se tornou maior a partir da crise do petróleo de 1973, e programas de incentivo ao uso de combustão, gaseificação e pirólise da biomassa começaram a ser desenvolvidos nos países. Atualmente a biomassa representa cerca de 14% da energia consumida no mundo, equivalendo a 35% em países em desenvolvimento, segundo o pesquisador D. O. Hall; e os programas nacionais mais bem sucedidos são: o Pró-álcool no Brasil, Coque vegetal no Brasil, e os internacionais: Aproveitamento do biogás na China Continental, Aproveitamento de madeira para fins energéticos na Suécia, Aproveitamento de resíduos agrícolas na Grã-Bretanha, Plantações de eucaliptos na Etiópia e Aproveitamento do bagaço de cana nas Ilhas Murício. Na seção seguinte será falado um pouco sobre o maior programa de utilização de biomassa na produção de energia no mundo, o Pró-álcool (ANEEL, 2008).

### **8.2.1. Pró- álcool**

Esse programa criado em 1975 pelo governo brasileiro, representou a iniciativa de maior sucesso mundial. Com o objetivo de tentar amenizar o problema energético reduzindo a importação de petróleo, houve o incentivo à produção de álcool nas unidades açucareiras, e o financiamento da indústria automobilística para o desenvolvimento de motores movidos à álcool, além da criação de uma extensa rede de distribuição do combustível. Naquela época o Brasil comprava 80% do petróleo que consumia, e o mundo vivia o primeiro choque do petróleo, fazendo com que os gastos com a importação deste passassem de US\$ 600 milhões para US\$ 22 bilhões no Brasil (ANEEL, 2008).

Posteriormente houve a baixa dos preços do petróleo, o que fez com que o álcool se tornasse pouco competitivo, e a produção de veículos novos à álcool se tornasse baixa. Recentemente, criaram-se expectativas promissoras para o uso do álcool novamente, já que o preço do petróleo está elevado, e o álcool tem sido reconhecido como uma possível solução aos problemas ambientais pela comunidade internacional. Segundo o Protocolo de Kyoto, o álcool é um candidato ao apoio de políticas financeiras, como os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Atualmente a taxa de crescimento da produção de automóveis a álcool é significante, com a criação de carros que possibilitam a utilização de dois combustíveis, conhecidos como “Flex”.

### 8.3. Tipos de Aproveitamento

A Figura 25 representa os processos mais utilizados para a conversão da biomassa em energia, que podem ser por meio da combustão direta (com ou sem processos de secagem, compressão, quebra etc.) ou por processos termoquímicos (pirólise, liquefação, transesterificação e gaseificação) (MME, 2012).

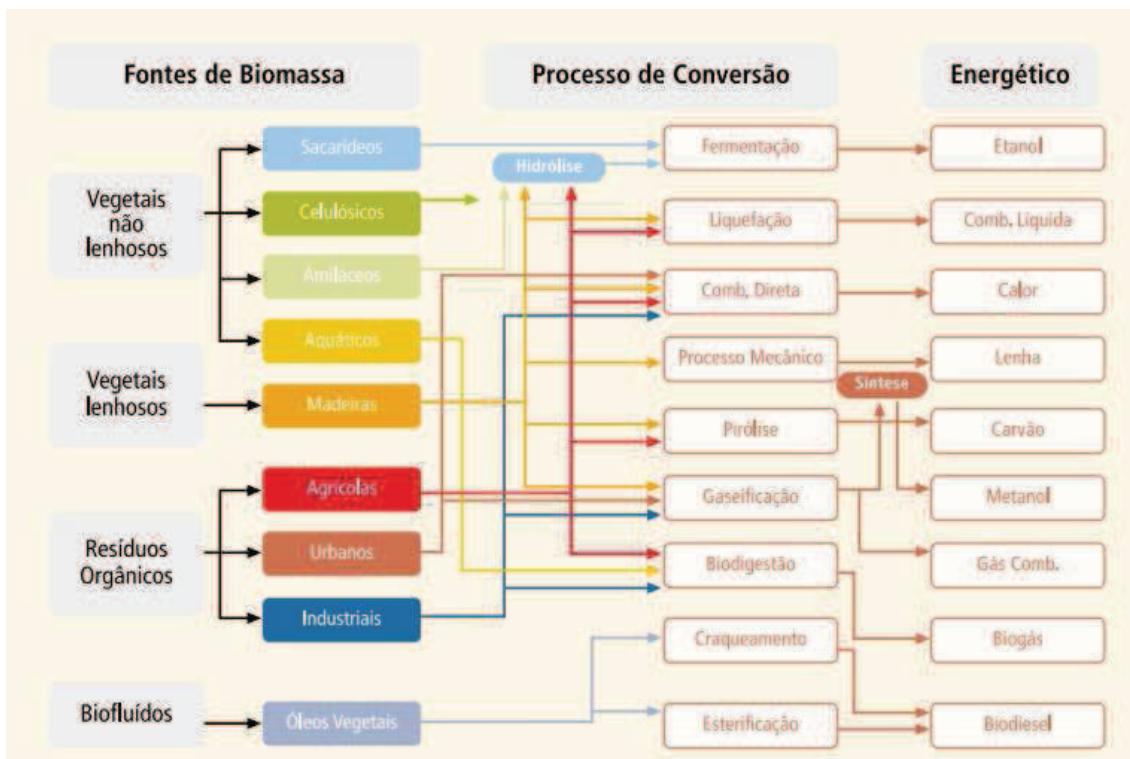


Figura 25- Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa  
(MME, 2012)

Abaixo são descritas as tecnologias de aproveitamento energético da biomassa mais utilizadas.

#### 8.3.1. Combustão direta

Ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), em fornos na metalurgia, por exemplo, e em caldeiras para a geração de vapor. O processo de combustão direta ocorre por reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido, com a transformação da energia química dos combustíveis em calor.

Esse processo de combustão é normalmente muito ineficiente, e seu armazenamento e transporte são difíceis devido à baixa densidade energética de combustíveis como a lenha, palha e resíduos; além da alta umidade, que chega a 20% no caso da lenha (ANEEL, 2008).

### 8.3.2. Gaseificação

Ocorre por meio de reações termoquímicas, com vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades menores à quantidade mínima necessária para a combustão convertendo combustíveis sólidos em gasosos.

Esse processo não é recente, e o aumento do seu uso se deve ao fato da remoção de componentes químicos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, como o enxofre; além da possibilidade de usos alternativos como motores de combustão interna e turbinas a gás. Essa versatilidade torna possível a geração de eletricidade em comunidades isoladas da rede de energia elétrica, por exemplo.

Dentre os diversos tipos de gaseificadores, os reatores de leito fixo e de leito fluidizado são os mais comuns, sendo o gás resultante uma mistura cujas proporções dependem do que está sendo usado na oxidação, ar ou oxigênio.

### 8.3.3. Pirólise

Esse processo ocorre através do aquecimento do material original (normalmente lenha), entre 300°C e 500°C, até que o material volátil seja retirado. Esse processo é feito com uma quantia mínima de ar, e o principal produto gerado é o carvão, cuja temperatura para queimar passa a ser muito mais elevada, e cuja densidade energética é cerca de duas vezes a do material de origem. A quantidade de carvão produzido em relação à lenha utilizada depende muito do teor de umidade desta, produzindo-se uma tonelada de carvão com cerca de quatro a dez toneladas de lenha.

Caso a temperatura seja controlada e o material volátil coletado, o que ocorre nos processos mais sofisticados, o combustível terá melhor qualidade, e a proporção de carvão poderá chegar a 30% do material de origem; e o líquido produzido, sofrendo tratamento, poderá ser usado como óleo combustível.

Já na pirólise rápida, cerca de 60% do material original se transforma em um gás rico em hidrogênio e monóxido de carbono, sob temperaturas entre 800°C e 900°C, o que a torna uma tecnologia competitiva com a gaseificação. Mas os problemas de tratamento de resíduos gerados pela alta temperatura, fazem com que a pirólise convencional (300°C a 500°C) seja uma tecnologia mais atrativa.

Para o emprego da pirólise no aproveitamento de resíduos de origem vegetal é necessária a compactação destes, que são transformados em briquetes (blocos densos e compactos de materiais energéticos), que passam a ter um poder calorífico maior além de obterem maiores teores de carbono.

#### 8.3.4. Digestão anaeróbia

É um processo natural que ocorre em quase todos os compostos orgânicos, através da decomposição do material pela ação de bactérias na ausência de ar, gerando um produto que pode ser utilizado como fertilizante. O biogás, que é o produto final, é composto essencialmente por metano e dióxido de carbono, com um conteúdo energético de cerca de 5.500 kcal por metro cúbico.

#### 8.3.5. Fermentação

Ocorre através da ação de microorganismos, normalmente leveduras, que convertem açúcares de plantas como a batata, o milho, a beterraba, e principalmente a cana de açúcar, em álcool, através de um processo anaeróbio. Esse álcool produzido é composto por etanol em maior proporção, e por metanol.

#### 8.3.6. Transesterificação:

Ocorre entre um material oriundo da reação entre álcoois (metanol e etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio), numa reação química com óleo vegetal dando origem à glicerina e ao biodiesel, cujas características fisicoquímicas são muito parecidas às do óleo diesel.

### **8.4. No mundo**

A quantidade de biomassa estimada existente na Terra é da ordem de 1,8 trilhões de toneladas, sendo os países com agroindústria ativa e de grandes dimensões de terras cultivadas ou cultiváveis os maiores fornecedores de matéria-prima para a produção de biocombustíveis e energia elétrica. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, a faixa entre o Trópico de Câncer e o Trópico de Capricórnio é a melhor região para a produção de biomassa. Ainda assim, Estados Unidos e União Européia, ambos no Hemisfério Norte, fazem parte dos produtores de etanol; os Estados Unidos através do milho, do trigo e da madeira, e a União Européia principalmente através da beterraba.

Não existe um ranking dos maiores produtores mundiais de biomassa, apenas estatísticas. Em 2005, por exemplo, os Estados Unidos era o maior produtor de energia elétrica através da biomassa, a Alemanha a maior produtora de biodiesel, seguida pelo Brasil.

Estudos da Agência Internacional de Energia (1998) indicam que a produção de energia através da biomassa deverá passar para 27 TWh em 2020. Nos Estados Unidos o etanol já substitui 10% de toda a gasolina consumida, que chega a 9 milhões de barris por dia dentre os 21 milhões de barris consumidos mundialmente; e estima-se que essa porcentagem chegue a 15% ainda nessa década. Utilizando o milho para a produção de etanol mesmo este não sendo vantajoso tanto quanto a cana de açúcar, os Estados Unidos produzem o dobro do etanol produzido pelo Brasil, tendo uma meta para 2022 de substituição de 20% da gasolina, buscando sua independência do suprimento por fontes externas de petróleo (Agroanalysis, 2013).

A União Européia aprovou uma diretiva que estabelece uma meta de substituição de 10% dos combustíveis fósseis por renováveis até 2020 (Agroanalysis, 2013).

Na Finlândia, cerca de 30% da eletricidade gerada no país é proveniente de sistemas de cogeração, e cerca de 20% do consumo de energia do país é suprido pela biomassa, utilizada principalmente no setor industrial e no segmento de papel e celulose. Os sistemas industriais em geral são de cogeração a vapor, e seus geradores são capazes de realizar a queima de vários combustíveis, numa conversão eficiente de madeira e de resíduos como os da produção de celulose e turfa (ANEEL, 2008).

Na Suécia, estudos mostram que a biomassa poderá representar de 25% a 40% da produção elétrica a longo prazo, sendo o papel da biomassa na matriz energética muito importante em unidades de cogeração em fábricas de celulose e papel, através do uso de resíduos florestais e industriais (Agroanalysis, 2013).

Devido ao sucesso do programa implementado pelo governo filipino nos anos 80, de implementação de pequenas usinas termoelétricas à lenha, o governo tailandês propôs um programa similar de produção de energia elétrica através da lenha, propondo a construção de 86 plantas a vapor integradas a módulos de florestas homogêneas. A Tailândia possui uma tradição no uso de biomassa, já que fábricas de extração de óleos vegetais e usinas de açúcar geram cerca de 15% da potência elétrica, ou 1GW da potência elétrica consumida no país (Agroanalysis, 2013).

Em países como Havaí, Ilhas Maurício e Cuba, a cogeração a partir do bagaço de cana é um fator importante no segmento sucroalcooleiro. Já em países como Holanda, Alemanha, França, Japão e os países da América do Norte, existem em menor escala instalações que aproveitam o calor gerado pela queima de lixo urbano em ciclos de potência a vapor, o que não é justificado economicamente, mas sim como uma alternativa na eliminação de resíduos urbanos.

## 8.5. No Brasil

No Brasil a biomassa representa grande potencial na geração de energia elétrica, além da produção de álcool, queima em fornos e outros usos não comerciais. O país possui excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala, já que a superfície do território nacional se encontra em sua maioria, localizada em regiões tropicais e chuvosas.

O estado de São Paulo, apesar de ser um estado com alta densidade demográfica, é um intenso produtor de biomassa através da cana-de-açúcar para a produção do etanol, sendo importador de 40% da energia elétrica que consome e exportador de álcool para todo o país. Além disso, juntamente com o estado do Paraná, o estado de São Paulo possui o maior aproveitamento de resíduos de madeira para a geração de energia (MME, 2012).

O bagaço de cana-de-açúcar tem sido o recurso de maior potencial de geração de energia elétrica no país, devido a sua enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço produzida pelas usinas de cana-de-açúcar, atendendo o consumo de estados da região Sul e Sudeste; sendo uma opção vantajosa, já que o período de colheita da cana-de-açúcar coincide com o de estiagem das principais bacias hidrográficas do parque elétrico do país.

O bagaço de cana é pobemente utilizado nas usinas, já que em sua maior parte é incinerado produzindo vapor de baixa pressão, sendo que 63% é utilizado em turbinas e 37% na geração de eletricidade; desse vapor que sai das turbinas, 15% não é aproveitado. Para que uma tonelada de cana seja processada, 12 kWh de energia elétrica são necessários, o que pode ser gerado pelos próprios resíduos da cana; além do que, a auto-suficiência por meio da cogeração se torna possível, devido à competitividade dos custos de geração (MME, 2012).

Na região Amazônica várias plantas como o dendê e o babaçu, por exemplo, produzem óleo vegetal que pode gerar energia elétrica atendendo comunidades isoladas do sistema elétrico, através de sua queima em motores de combustão interna e caldeiras. Resíduos agrícolas como a casca de arroz e de castanha de caju também são utilizados na geração de energia elétrica.

A participação da biomassa na Oferta Interna de Energia (OIE), que corresponde à energia necessária para movimentar a economia do país, foi de 28,4% em 2012: 15,4 % devido ao uso de cana-de-açúcar e 9,1% devido ao uso de lenha e carvão vegetal. Já em 2011, foi de 29,5%. Estima-se que até 2021 a participação da biomassa seja de 8,7% na oferta total de energia elétrica, o suficiente para atender demandas de eletricidade da Colômbia e Equador (MME, 2012).

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG), das três maiores usinas em produção, duas estão localizadas no estado de São Paulo e uma no estado da Bahia. As três

utilizam a matéria-prima de aterros sanitários, e fazem parte das 19 usinas termoelétricas movidas a biogás em operação no país, totalizando uma geração de 79.000 kW (MME, 2012).

### **8.6. Custo de Implantação**

Uma planta de 30 MW, usando madeira com custo de US\$ 4/GJ, nos países de primeiro mundo, geraria cerca de US\$4000/ kWe. Estudos indicam plantas com potência de 110 MWe e custos de US\$ 1600-2400 /Kwe instalado para a próxima década, sendo o KWe (quilowatt elétrico), uma unidade de medida de capacidade de geração elétrica. Com a evolução da tecnologia, espera-se que em 2030 o custo da biomassa caia para US\$ 1100/ KW (Biodieselbr, 2013).

### **8.7. Impactos Ambientais**

O corte incontrolado de árvores pode gerar grandes áreas desmatadas, causar a perda de nutrientes do solo, além de erosões. A produção de alimentos pode sofrer interferência da formação de monoculturas em grande extensão de terras, trazendo a necessidade de um maior gerenciamento do uso e ocupação do solo. Isso tende a ser minimizado devido ao desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias de conversão energética da biomassa, de aumento de produtividade reduzindo a necessidade de crescimento de áreas plantadas, a longo prazo ,além de incentivos pelas políticas do setor elétrico.

### **8.8. Vantagens**

- ✓ A utilização da biomassa desde que controlada, não agride o meio ambiente, já que na sua decomposição, o CO<sub>2</sub> liberado é transformado em hidratos de carbono pela fotossíntese que as plantas realizam, contribuindo para a diminuição do efeito estufa e do aquecimento global;
- ✓ Torna possível a redução do consumo de combustíveis fósseis como o petróleo e seus derivados, que não são matérias- primas renováveis;
- ✓ Seu custo de operação é baixo;
- ✓ É altamente eficiente energeticamente;
- ✓ Torna possível o reaproveitamento de resíduos, diminuindo a quantidade de resíduos em aterros, por exemplo;
- ✓ É de fácil armazenamento e transporte;
- ✓ Gera empregos diretos e indiretos, aumentando os níveis de consumo e qualidade de vida, inclusão social , redução do êxodo rural, etc.

### **8.9. Desvantagens**

- ✓ Mesmo que em menor quantidade, há a emissão de gás carbônico;
- ✓ Baixa eficiência termodinâmica das plantas;
- ✓ Custos relativamente altos de produção e transporte.



## 9. Energia Geotérmica

A energia geotérmica é a energia térmica proveniente da Terra, que se deve ao magma existente abaixo da crosta terrestre que chega a atingir 6000°C de temperatura. A crosta terrestre se encontra flutuante sobre o magma, e esse por vezes atinge a superfície através de uma fenda ou um vulcão. A água que existe nos reservatórios subterrâneos, quando entra em contato com esse magma, chega a aquecer ou mesmo ferver, podendo atingir cerca de 2000°C, e chega a atingir a superfície em alguns locais dando origem a pequenos lagos, chamados geiseres. Aproveita-se desse calor interno da Terra para a produção de energia elétrica através de centrais geotérmicas ou para usos como o de aquecimento de edifícios, estufas, etc. Os reservatórios de água a altas temperaturas têm sua água drenada por meio da abertura de buracos fundos. Essa água é drenada por canos e tubos até a superfície, e o vapor é conduzido até a central elétrica geotérmica, fazendo girar as lâminas das turbinas. Então com o uso de um gerador, a energia mecânica das turbinas é convertida em energia elétrica. Após passar pelas turbinas, o vapor passa por um resfriamento se transformando em água, que será transportada por tubulações de volta ao reservatório onde estava inicialmente, para ser aquecida novamente pelas rochas quentes. A Figura 26 ilustra esse ciclo (MME, 2012).

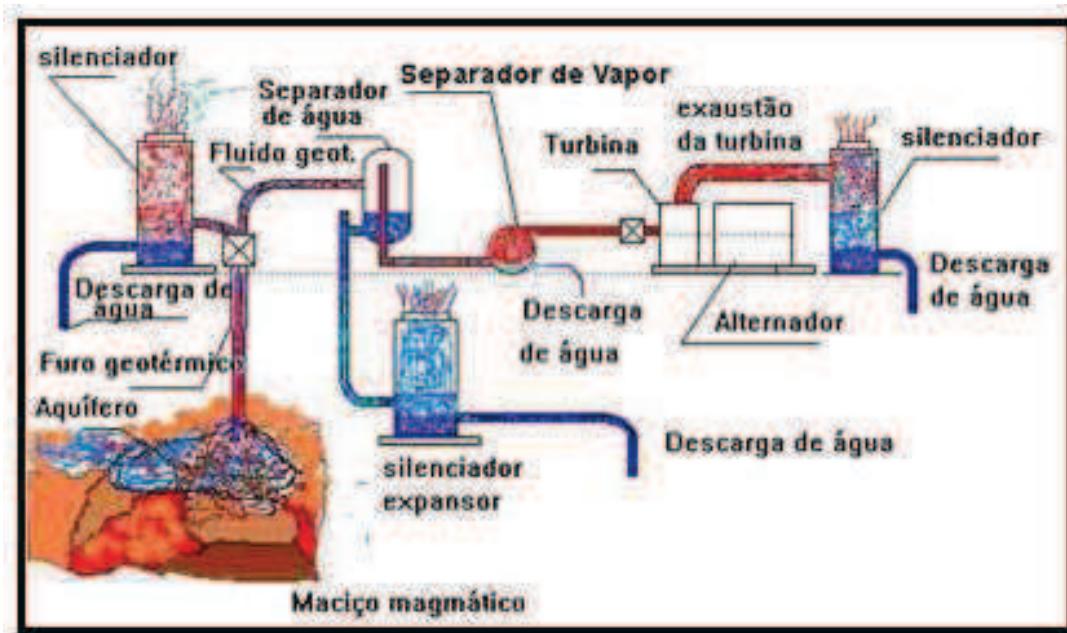


Figura 26- Ciclo de utilização do vapor para geração de energia elétrica

Sabe-se que a cada 32 metros de profundidade da crosta terrestre, há um aumento de 1°C de temperatura, o chamado grau geotérmico. Pode-se aproveitar esse aumento de temperatura em usinas geotérmicas.

## **9.1. Disponibilidade de Recursos**

Através da teoria das placas tectônicas e de técnicas sismológicas foi possível entender o porque algumas regiões têm uma atividade vulcânica e sísmica maior do que outras, além de possibilitar um conhecimento maior da estrutura da Terra. O movimento das placas tectônicas pode gerar uma pressão no local, podendo surgir atividades vulcânicas entre as placas, o que ocorre normalmente em áreas de dobramentos modernos. Com os conhecimentos disponíveis atualmente, sabe-se em quais países é possível o uso de energia geotérmica, devido a sua localização em meio a essas placas (MME, 2012).

## **9.2. Fontes de energia geotérmica**

### **9.2.1. Rocha seca quente**

Em locais que não possuem gêiseres mas as condições do uso do calor interno da Terra são favoráveis , é possível utilizar este para o aquecimento de água. Uma experiência realizada na Califórnia, em que dois poços vizinhos foram perfurados a uma distância de 35 metros um do outro lateralmente e 360 metros verticalmente, ambos alcaçando uma camada de rocha quente, provou a viabilidade deste tipo de produção de energia. Num dos poços injeta-se a água, que em contato com a rocha quente é aquecida, então essa água é enviada pelo outro poço até uma central geotérmica que está na saída deste poço. Ainda não se utiliza esse projeto com fins comerciais, mas há a possibilidade de que outras instalações desse tipo surjam (MME, 2012).

### **9.2.2. Rocha úmida quente**

É possível gerar energia elétrica através de poços perfurados até que atinjam depósitos de água aquecidos pelo calor terrestre, como nos outros casos.

### **9.2.3. Vapor seco**

Essas fontes são raramente encontradas, mas elas possuem vapor com uma pressão suficientemente alta, capaz de movimentar turbinas da central geotérmica, assim gerando eletricidade. Fontes como essa foram encontradas em Larderello, na Itália e em Cerro Prieto, no México.

### **9.3. Surgimento e evolução**

Desde os primórdios a água geotérmica que chega à superfície é utilizada. Antigamente essa água era utilizada somente para relaxar. Os Romanos já utilizavam essa água para tratar de doenças dos olhos e da pele; os índios da América, há 10 mil anos, utilizavam essa água para práticas medicinais e para cozinhar; e na França, desde a década de 1960, essa água é utilizada para aquecer 200 mil casas (MME, 2012).

A primeira tentativa de gerar eletricidade através de fontes geotérmicas aconteceu em 1904 na Itália. Foi uma tentativa mal sucedida, já que a presença de substâncias químicas contidas no vapor de tais fontes, causou a destruição das máquinas utilizadas. Hoje, mais de um século depois, essa utilização já faz parte de 24 países.

### **9.4. No mundo**

Há projetos de uso de energia geotérmica em desenvolvimento em dezenas de países, e até 2015 espera-se que 9.000 GW sejam instalados. O setor tem crescido 3% ao ano, e a capacidade instalada no mundo é de cerca de 10.900 kW (ANEEL, 2008).

O país de maior produção de eletricidade geotérmica é os Estados Unidos, com 3.100 MW instalados, cerca de 32% do total mundial, possuindo o maior complexo do mundo, de 17 usinas de produção de eletricidade geotérmica, The Geysers, na Califórnia. O presidente americano tem apoiado o uso de energia geotérmica para o abandono do uso de combustíveis fósseis no país, diminuindo a emissão de gases do efeito estufa. Cerca de 1000 km<sup>2</sup> de terras públicas no sudoeste do país foram concedidas para a exploração de energia geotérmica, e a expectativa é de que 111 novas usinas entrem em funcionamento em alguns anos (IEA, 2012).

As Filipinas, no Pacífico, ocupam o segundo lugar no mundo em capacidade instalada, com 1.900 MW; e a Indonésia, que está localizada entre o limite de placas tectônicas, ocupa o terceiro lugar, com 1.200 MW instalados, planejando chegar a 12.000 MW em 2025, conseguindo suprir 75% da eletricidade necessária no país, segundo o relatório *Bloomberg New Energy Finance*. O México com 958MW está em quarto lugar, e a Islândia fornece um quarto da energia do país através de geotérmicas, com 575MW de capacidade instalada, o que pode dobrar nessa década. O governo da Islândia pretende exportar energia para a Escócia, através da construção de um cabo submarino (IEA, 2012).

O Japão, com menos de 540 MW instalados, busca um aumento na utilização desse tipo de energia após o desastre de Fukushima. O Tibete supre 30% da energia que consome através

de geotérmicas, e a geração desse tipo de energia triplicou na França, Rússia e Quênia, nos últimos anos (IEA, 2012).

O Quênia está localizado numa região de alta atividade sísmica, assim como a região do Anel de Fogo do Pacífico. Ele é cortado pelo Vale do Grande Rift, região para a qual o Programa Ambiental das Nações Unidas( UNEP) apóia um projeto de seis países da África Oriental.

### **9.5. No Brasil**

O Brasil se encontra numa região que não possui atividade vulcânica, e é técnica e economicamente inviável a extração de vapor para a utilização em centrais geotérmicas. Então, o uso de energia geotérmica no Brasil acontece apenas em parques termais como o de Caldas Novas, Goiás e Poços de Caldas, Minas Gerais, por exemplo (MME, 2012).

### **9.6.Custo de Implantação**

O alto investimento necessário é a principal desvantagem do uso de energia geotérmica. Além de ser uma fonte de energia extremamente cara e restrita a algumas localidades, requer altos investimentos em exploração, perfuração e construção de usinas. Apesar disso, seu custo de operação é baixo, já que o combustível não possui custo (MME, 2012).

### **9.7.Impactos Ambientais**

- ✓ Pode trazer o esgotamento do campo geotérmico, já que sua recuperação pode levar séculos; Emite ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), que é prejudicial à saúde, corrosivo e com odor desagradável;
- ✓ Gases dissolvidos nos fluxos geotérmicos são liberados para a atmosfera;
- ✓ Há a possibilidade de contaminação de rios e lagos de locais próximos à usina por fluidos de natureza mineralizada;
- ✓ Há a chance de abalos devido à grande quantidade de fluido retirada da Terra, mesmo que seja feita a reinjeção de água ;
- ✓ Os testes de perfuração das fontes são barulhentos, apesar das áreas geotérmicas se encontrarem longe das áreas urbanas;
- ✓ O ambiente próximo à usina geotérmica sofre um aumento de temperatura, já que o calor perdido nessas usinas é maior que nos outros tipos de usina.

### **9.8. Vantagens**

- ✓ A emissão de gases poluentes (CO e SO) é praticamente nula, diminuindo o efeito estufa;
- ✓ A área necessária para a instalação de uma usina é pequena;
- ✓ Pode abastecer comunidades isoladas das centrais elétricas;
- ✓ A produção de energia independe de variações como chuvas, etc;
- ✓ Podem fornecer energia 24 horas por dia;
- ✓ Seu custo de operação é baixo;
- ✓ Leva a uma geração de empregos.

### **9.9. Desvantagens**

- ✓ É uma energia cara e de pouca rentabilidade, rendimento e eficiência. Necessita de altos investimentos para a construção de usinas e para a perfuração;
- ✓ É um tipo de energia restrita apenas a algumas localidades;
- ✓ Os impactos gerados devem ser bem avaliados, já que em geral as condições ideais para a implantação de usinas geotérmicas ocorrem em locais de potencial turístico, podendo trazer prejuízos à população e à economia local;
- ✓ O desperdício na transmissão do fluido geotérmico a grandes distâncias traz a necessidade de que a energia seja posta em uso próxima deste.



## 10. Energia Hidráulica

O recurso natural mais abundante na Terra é a água, que recobre 2/3 da superfície do planeta, podendo ser sob a forma de oceanos, rios, lagos, calotas polares e aquíferos subterrâneos. Mesmo assim, segundo o relatório Key World Energy Statistics publicado em 2008, a participação da água na produção de energia diminuiu nos últimos anos. Isso se deve a vários fatores, como ao impacto ambiental causado e ao fato das reservas estarem se esgotando (MME, 2012).

A geração de energia elétrica numa hidrelétrica se deve ao fluxo de água de uma altura maior para uma menor, normalmente devido ao controle de um rio através da construção de uma represa, que cria um reservatório atrás deste. A usina possui turbina, que consiste num conjunto de pás em um eixo central , que gira à medida que o fluxo de água passa por elas, fazendo girar o rotor do gerador, cujo campo magnético ao se deslocar produz eletricidade.

Apesar da tendência do uso de fontes alternativas de energia, a energia hidráulica ainda é a principal forma de geração de energia em alguns países, chegando a representar 20% da eletricidade mundial, com tecnologias de aproveitamento consolidadas. Contribui para atividades agrícolas, comerciais, industriais, e também para a sociedade na qualidade de vida das pessoas; além de proporcionar uma integração entre regiões distantes e centros urbanos e industriais (MME, 2012).

### 10.1. Disponibilidade de Recursos

A energia hidráulica potencial no mundo é da ordem de 200 mil TWh por ano, segundo estimativas através do cálculo de energia potencial (EP):

$$EP = M \text{ (massa)} \times g \text{ (aceleração da gravidade)} \times h \text{ (altura)}$$

Em que a precipitação média anual é de 1.017 kg e a altura média da superfície terrestre é de 800m em relação ao nível do mar.

Na prática a situação é outra. Não ocorre o aproveitamento de todo o volume de água, já que parte dele evapora; além das perdas devido ao processo de conversão, sendo os modelos mais eficientes com uma eficiência de 90%. Estima-se que esteja disponível para o aproveitamento hidráulico apenas um quarto deste volume de água, ou seja, a energia hidráulica disponível na Terra é de cerca de 50.000 TWh por ano. Isso ainda depende de topografia, tipo de chuva, entre outros fatores (ANEEL, 2008).

Uma usina chega a trabalhar com um fator de capacidade de 40%, já que há a necessidade de manutenção devido a problemas operacionais, fazendo com que o potencial aproveitável de energia hidráulica seja de 10.000 TWh a 20.000 TWh por ano (ANEEL, 2008).

As turbinas utilizadas para o aproveitamento de energia hidráulica na geração de energia elétrica diferem quanto ao tamanho e à forma. Os modelos de turbinas que se destacam são: Francis, Kaplan, Pelton e Bulbo. Francis é o modelo mais utilizado, por ser adaptável á locais de alta e baixa queda; Kaplan é um modelo mais adequado a baixas quedas( 10m a 70m);Pelton é um modelo mais adequado a locais de queda elevada( 200m a 1.500m), e Bulbo é usada normalmente em usinas a fio d'água, por ser indicada para baixas quedas e altas vazões não exigindo grandes reservatórios.

Uma usina hidrelétrica pode ser classificada segundo a altura de sua queda d'água, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina utilizada, localização, tipo de barragem e reservatório. Esses valores se relacionam: geralmente a altura da queda determina os demais, e a combinação desta com a capacidade instalada determina a planta de instalação. Esses valores variam entre autores e fontes (MME, 2012).

## **10.2. Funcionamento de uma usina hidrelétrica**

A produção de energia elétrica através de usinas hidrelétricas depende da água disponível num determinado tempo, dos desniveis do relevo , que podem ser naturais ou artificiais, e da vazão do rio. Numa usina hidrelétrica, basicamente encontra-se a barragem, o sistema de captação e adução de água, a casa de força e vertedouro, tudo funcionando conjuntamente, como mostra a Figura 27.

A barragem tem a função de permitir a formação do reservatório, interrompendo o curso normal do rio. Os reservatórios estocam a água e tornam possível a formação do desnível,que a água seja captada em volume adequado e que a vazão dos rios em períodos de chuva e estiagem seja regularizada.

Nos sistemas de captação e adução existem túneis e canais,por onde a água passa até chegar à casa de força. Nesta instalação encontram-se as turbinas, formadas por uma série de pás ligadas a um eixo conectado ao gerador. As turbinas fazem a conversão de energia cinética em energia elétrica por meio dos geradores, e a água que passou pela turbina volta ao leito natural do rio pelo canal de fuga.

O vertedouro funciona de acordo com os níveis de água no reservatório, permitindo a saída desta quando a água estiver em quantidade maior que a necessária para o armazenamento ou geração de energia, e também em períodos de chuva, evitando enchentes na região em que se encontra a usina (MME, 2012).

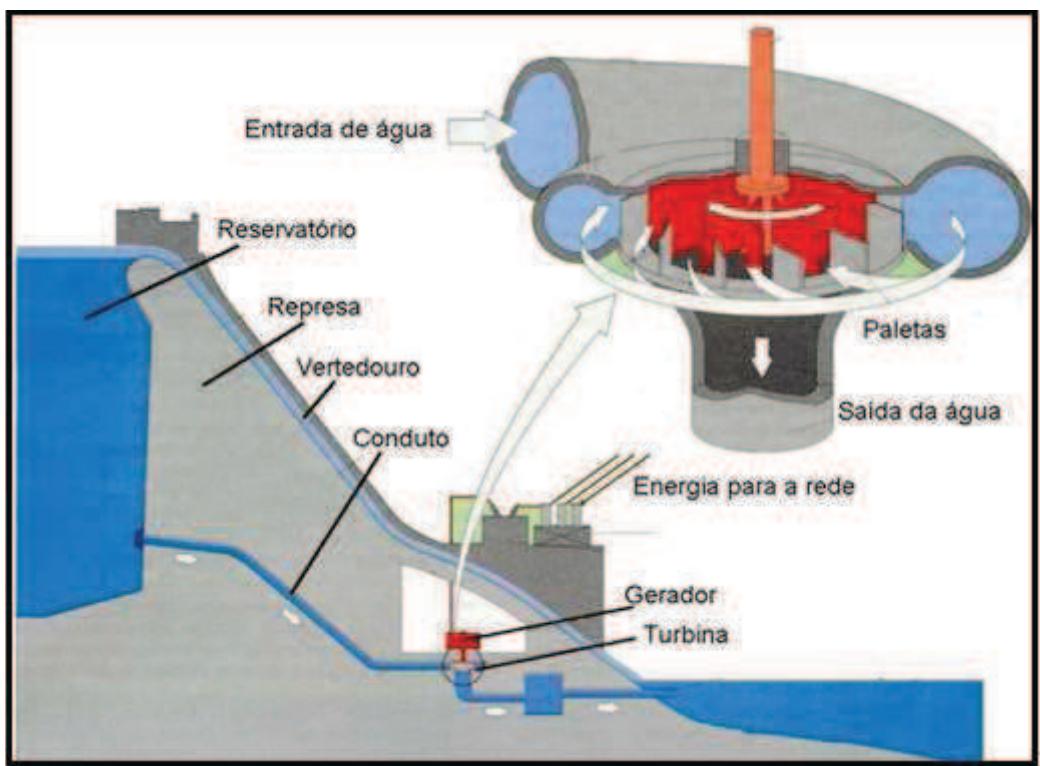


Figura 27- Modelo típico de uma Usina Hidrelétrica

(ANEEL, 2008)

### 10.3. Tipos de Instalações de Usinas Hidrelétricas

Existem três tipos principais de instalações de usina hidrelétrica: a usina de acumulação, a usina de desvio e a usina de armazenamento bombeado. A mais comum é a usina de acumulação, que libera água conforme a demanda necessária de energia, podendo ser de qualquer tamanho, dependendo do rio, represa e coluna d'água. Um reservatório é utilizado para armazenar água para ser usada posteriormente, já que a água flui deste para as turbinas, que giram e então alimentam o gerador. O fato dessas usinas serem dependentes da precipitação na região, pode limitar a quantidade de energia elétrica produzida por elas, já que durante uma seca o reservatório pode se encontrar num nível baixo de água.

Já as usinas de desvio ou fio d'água, ou seja, próximas à superfície, dependem diretamente do fluxo do rio na produção de eletricidade, já que desviam parte da água do rio através de um canal, que alimenta uma turbina. Não existe uma represa para aumentar artificialmente a altura da água, o que reduz as áreas de alagamento, mas que torna a maioria das usinas de desvio limitadas em relação à produção de energia, já que a ocorrência de uma seca gera um impacto grande. Já quando estas são construídas em lugares com grande fluxo de água, a quantidade de energia elétrica produzida é alta.

As usinas de armazenamento bombeado armazem água em represas. Possuem dois reservatórios: um localizado numa elevação maior, acima da represa, e outro com uma elevação menor, localizado abaixo dela. A água do reservatório alto é liberada para o reservatório baixo, em tempos de alta demanda energética, girando as turbinas ao longo do caminho. A água do reservatório inferior é bombeada pra o reservatório superior em épocas de baixa demanda energética. Isso faz com que as secas não afetem esse tipo de usina, que podem manter sua produção de eletricidade estável. As desvantagens desse tipo de usina são a dificuldade de encontrar locais para a acomodação dos reservatórios e o custo elevado de construção dessas usinas (MME, 2012).

#### **10.4. Surgimento e evolução**

Como forma de substituição para o trabalho animal, para o bombeamento de água e moagem de grãos, o uso de energia hidráulica é feito há séculos. A roda- d'água, que funciona como a turbina para girar máquinas, era usada por Gregos, Romanos e também Chineses na antiguidade. Na Europa essas rodas eram utilizadas para moer trigo e milho, que eram transformados em farinha. No início do século XIX, fábricas têxteis na Inglaterra funcionavam por moinhos, e no fim deste século surgiram usinas hidrelétricas (MME, 2012).

A primeira usina de energia hidrelétrica surgiu nos Estados Unidos, e produzia apenas 12,5 kW de energia elétrica. Essa usina foi substituída mais tarde por uma usina maior, e em 1889 já havia 45 usinas hidrelétricas nos Estados Unidos. Usinas hidrelétricas entraram em funcionamento por todo o mundo. A Itália construiu sua primeira usina hidrelétrica em 1885; Canadá, França, Japão e Rússia logo construíram as suas, e de 1900 a 1950, o uso de energia hidrelétrica teve um aumento rápido (EPE, 2013).

O fornecimento de energia era apenas a pequenas distâncias, mas com o uso de corrente alternada no fim da década de 1880 e com a melhora das turbinas hidráulicas, o fornecimento a distâncias maiores se tornou possível .

#### **10.5. No mundo**

Segundo o estudo Statistical Review of World Energy publicado em 2008 pela BP Global( Beyond Petroleum), os países que mais haviam consumido energia elétrica em 2007 eram: China( 15,4% do total mundial), Brasil (11,9% do total mundial) e Canadá( 11,79% do total mundial) (BP, 2008).

O ranking dos dez países mais dependentes de hidreletricidade em 2006 segundo a IEA (Agência Internacional de Energia) foi : Noruega, Brasil, Venezuela, Canadá, Suécia, Rússia,

Índia, República Popular da China, Japão e Estados Unidos. Alguns desses países também faziam parte dos maiores produtores de energia elétrica através de hidrelétricas, na ordem: República Popular da China, Canadá, Brasil, Estados Unidos, Rússia, Noruega, Índia, Japão, Venezuela e Suécia.

Os grandes investimentos realizados nesse setor, fizeram com que Índia e China fossem incluídas nesse ranking, já que a participação de hidrelétricas nesses países teve um salto muito grande até 2006. Investimentos realizados no Brasil também fizeram com que o país pasasse a produzir três vezes mais energia elétrica através de hidrelétricas nesse período. Na Figura 28 estão representados os países de acordo com sua capacidade instalada de hidrelétricas.

Com o aumento do uso de outras fontes alternativas de energia ao longo dos anos, os países passaram a utilizar fontes de energia solares, eólicas, biomassa, entre outras; mas mesmo assim a energia hidrelétrica continua representando a maior fonte na produção de energia elétrica, e a previsão é de que permanecerá assim por um longo tempo.

Atualmente a China é o país com maior produção de energia por meio de hidrelétricas, seguido pelo Brasil, Canadá, Estados Unidos e Rússia. Segundo pesquisas realizadas pelo IEA, até 2050 a geração mundial de eletricidade através de hidrelétricas será de mais que 7.000 TWh, com duplicação da capacidade global, sendo muito considerável em continentes como África, Ásia e América Latina, como mostra o Gráfico 9 (IEA, 2012).

Grande parte desse aumento na geração através de hidrelétricas acontecerá por meio de projetos em economias emergentes e países em desenvolvimento, já que estes podem trazer melhorias como a diminuição da pobreza, maior desenvolvimento social e econômico, principalmente nas comunidades locais. A participação dos países industrializados nesse aumento, pode ser através da modernização das instalações já existentes, o que pode trazer maiores benefícios a eles.

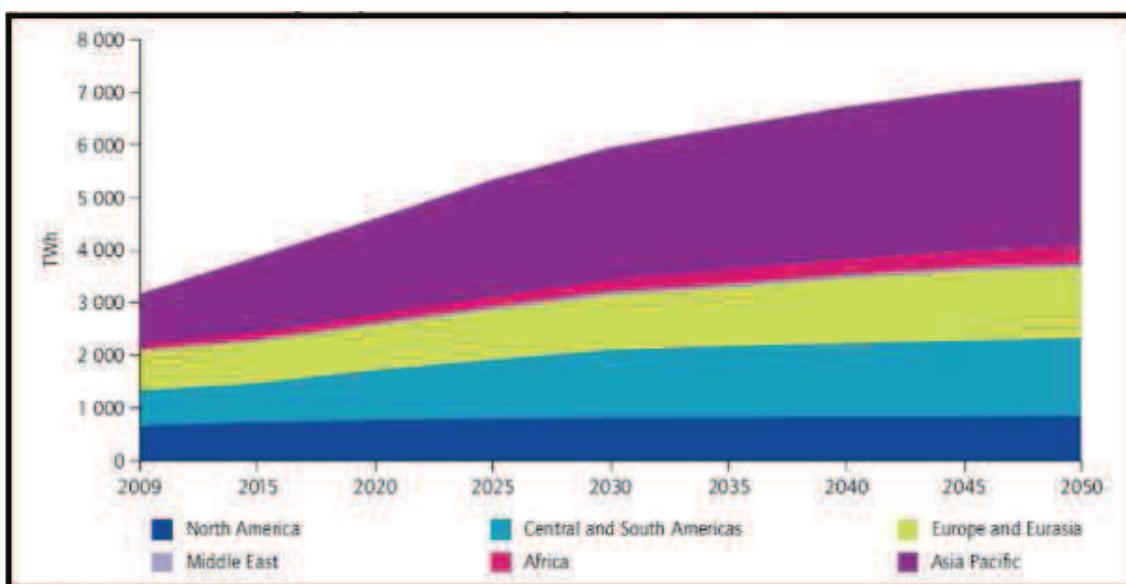


Gráfico 9- Previsão da geração de energia elétrica através de Hidrelétricas até 2050 em TWh

(IEA, 2012).

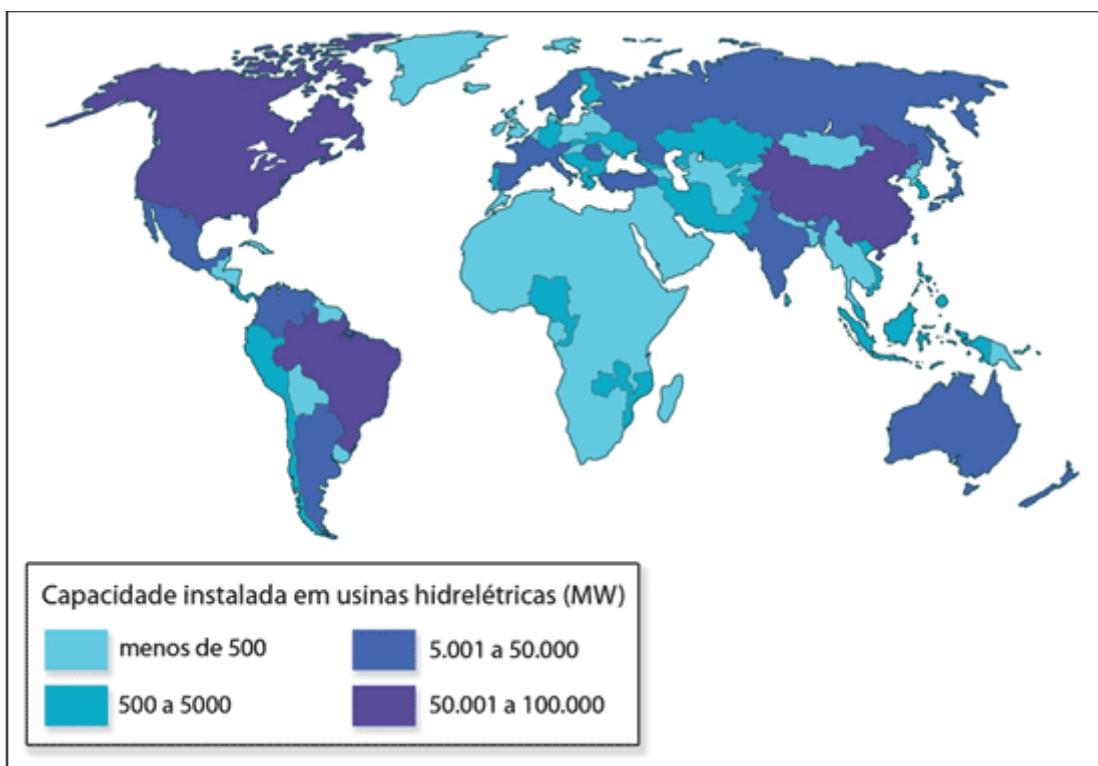


Figura 28- Capacidade instalada em usinas hidrelétricas em MW no mundo

As 10 maiores Usinas Hidrelétricas do mundo em capacidade de produção são:

### **10.5.1. Três Gargantas**

Concluída em 2006, é a maior central hidrelétrica do mundo construída no rio Yang-Tsé, maior rio da China. Em 2009, com 26 turbinas instaladas, com 18.200 MW de potência instalada, ultrapassou Itaipu. Desempenha um papel muito importante no país, com a prevenção de enchentes, geração de energia e transporte fluvial (EPE, 2013).

### **10.5.2. Itaipu**

Localizada no rio Paraná, a Usina Hidrelétrica de Itaipu é binacional, vai de Foz do Iguaçu, no Brasil, e Ciudad del Este, no Paraguai, a Guaíra e Salto del Guairá, no Paraguai. Localizada na fronteira dos dois países, foi construída pelos dois países de 1975 a 1982, e hoje com 14.000 MW de potência instalada, é a segunda maior usina em potencial instalado, mas a maior geradora de eletricidade do mundo. Itaipu foi a primeira usina em potencial instalado por muito tempo, antes de ser ultrapassada pela Usina Três Gargantas.

Em 2008 forneceu 90% da energia consumida no Paraguai e 19% da energia consumida pelo Brasil, com um recorde de 94,68 bilhões de kWh de produção (EPE, 2013).

#### **10.5.3. Guri**

Com potência instalada de 10.200 MW, foi concluída em 1963, no Rio Caroni, Venezuela. Também fornece energia para o estado de Roraima no Brasil (EPE, 2013).

#### **10.5.4. Tucuruí I e II**

Com uma capacidade instalada de 8.370 MW, é a maior usina hidrelétrica 100% brasileira em funcionamento. Está localizada no estado do Pará, a 300 km de Belém, no rio Tocantins. Foi inaugurada em 1984, e possui o segundo maior vertedouro do mundo, com capacidade para 110.000 m<sup>3</sup>/s (EPE, 2013).

#### **10.5.5. Grand Coulee**

Concluída em 1974, situada no rio Columbia, no estado de Washington nos Estados Unidos, é a maior produtora de energia elétrica do país, com capacidade instalada de 6.494 MW (EPE, 2013).

#### **10.5.6. Longtan Dam**

Com a barragem mais alta do seu tipo no mundo, localizada no rio Hongshui em Tian'e Country, na China, a usina possui capacidade instalada de 6.426 MW. Destina-se a produção de energia, controle de enchentes e navegação (EPE, 2013).

#### **10.5.7. Sayano- Shushenskaya**

Localizada no rio Yenisei, na Rússia, é a maior usina de energia do país, com 10 turbinas hidráulicas, e capacidade instalada de 6.400 MW (EPE, 2013).

#### **10.5.8. Krasnoyarsk**

Localizada no rio Yenisey, na Rússia, finalizada em 1972, fornece 6.000 MW de potência principalmente para o abastecimento da fábrica de alumínio KRAZ (EPE, 2013).

### **10.5.9. Churchill Falls**

Finalizada em 1974, pode gerar cerca de 5.428 MW. Está localizada no rio Churchill, no Canadá (EPE, 2013).

### **10.5.10. La Grande 2**

Construída entre 1991 e 1992 no Canadá, possui capacidade instalada de 5.328 MW, fazendo parte do Hydro- Québec's (EPE, 2013).

## **10.6. No Brasil**

O fato do Brasil possuir grande número de rios de planalto, chuvas tropicais abundantes , e uma das maiores reservas de água doce do mundo, faz com que o país opte pelo modelo hidrelétrico como fonte de energia mais utilizada.

Uma série de usinas hidrelétricas entraram em construção no país por volta do ano de 1940, tornando o país um dos maiores produtores de energia renovável do mundo, juntamente com o Canadá. Com a revolução industrial e para evitar o desabastecimento de energia, o governo brasileiro iniciou a construção de grandes represas e a interligação das usinas hidrelétricas.

Até 1950 as usinas hidrelétricas se concentravam próximas ao litoral, entre os Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Atualmente há uma dispersão delas, com Bacias importantes no rio Paraná, que possui pouco menos de 60% da capacidade hidrelétrica instalada do Brasil; do São Francisco, com 16% da capacidade instalada do país,; e do Tocantins, com 12%. Bacias como as do Atlântico Norte/ Nordeste e Amazonas, possuem menor potência instalada, de apenas 1,5 % da capacidade instalada no país (ANEEL, 2008).

Segundo resultados do Balanço Nacional (BEN) de 2007, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, 85,6% da energia produzida no país foi através de hidrelétricas. Segundo a ANEEL, em 2012 o país possuía capacidade instalada de cerca de 78.000 MW; possuindo o maior potencial hidrelétrico do mundo, num total de 260 mil MW, segundo o Plano 2015 da Eletrobrás (ANEEL, 2012).

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, cerca de 70% do potencial hidrelétrico do país está nas bacias do Amazonas e Tocantins/ Araguaia. A bacia do rio Amazonas, no rio Madeira, é a maior, com potencial de 106 mil MW. A bacia do Tocantins/ Araguaia possui

potencial de 28.000 MW, 12.200 MW aproveitados pelas usinas de Serra da Mesa e Tucuruí. A bacia do rio Xingu é onde está sendo construída a Usina de Belo Monte (EPE, 2013).

As bacias mais saturadas são as do Paraná e do São Francisco, que possuem respectivamente índices de aproveitamento (razão entre o potencial aproveitado e o existente) de 64,5% e 39,5%. Já as bacias do Amazonas e Atlântico Norte e Nordeste, possuem o menor índice de aproveitamento. Esse índice na bacia do Amazonas se deve ao seu relevo predominantemente de planícies e ao fato de estar longe dos principais centros consumidores de energia. Já na região centro-sul do país, há um maior aproveitamento hidráulico, consequência do maior desenvolvimento econômico da região, e ao relevo onde predominam planaltos (EPE, 2013).

As maiores questões contrárias à expansão hidrelétrica no país são de natureza ambiental e judicial. Opositores alegam que a construção de usinas gera impacto na vida da população, na flora e fauna locais. Por conta de pressão de grupos organizados, principalmente Organizações Não-Governamentais (ONGs), empreendedores têm desenvolvido projetos de maneira sustentável, compensando impactos socioambientais causados pelas usinas.

A matriz energética brasileira ainda é predominantemente hídrica, porém devido ao fato da falta de chuvas, o governo brasileiro acionou o uso de termelétricas para garantir que não houvesse maiores transtornos, já que esta não depende de chuva, sol ou vento, apesar de ser uma energia cara e não limpa.

## **10.7. Locais no Brasil**

### **10.7.1. Usina de Itaipu**

A usina de Itaipu, localizada no rio Paraná, é atualmente, a maior usina hidrelétrica do mundo em geração de energia, sendo a segunda maior em potência instalada. Atende Paraguai e Brasil, fornecendo cerca de 17,3% da energia consuída no Brasil e cerca de 72,5% da energia consumida no Paraguai. Com 14.000 MW de potência instalada e 20 unidades geradoras, produziu em 2012 98,2 milhões de MWh, muito mais que seu recorde de produção em 2008, gerando 94,6 milhões de MWh (Itaipu, 2013).

### **10.7.2. Usina de Belo Monte**

Com 30% das obras civis concluídas, estima-se que a usina de Belo Monte, localizada no rio Xingu, próxima ao município de Altamira, no norte do Pará, fique pronta em 2015. Será a terceira maior usina hidrelétrica do mundo, atrás somente de Três Gargantas e Itaipu, gerando

cerca de 41,6 milhões de MW por ano, o suficiente para o consumo de 20 milhões de pessoas em um ano (Portal Brasil, 2013).

Orçada em R\$ 16 bilhões, hoje esse valor já supera os R\$30 bilhões, já que os custos reais estão bem acima das previsões feitas inicialmente. Leiloadada em abril de 2010, a usina foi arrematada por um grupo de empresas, e as linhas de transmissão que farão sua ligação ao Sistema Elétrico Brasileiro até Colinas, no Tocantins, orçadas em cerca de US\$ 2 bilhões, deverão ter licitação separada da usina (Portal Brasil, 2013).

A questão das terras indígenas e o impacto ambiental causado pela usina de Belo Monte, são as principais polêmicas envolvidas na sua construção, causando manifestações e paralisações por parte de índios, trabalhadores , ambientalistas e pessoas contrárias à sua construção. O fato é que as cidades de Altamira e Vitória do Xingu terão prejuízos na agricultura, nas terras indígenas de Paquiçamba e Arara da Volta Grande do Xingu, e também sua população ribeirinha será afetada, já que terão grandes áreas inundadas, além da diminuição da vazão do rio, trazendo prejuízos para a população que depende dele para pesca,plantação e transporte.

Devido às paralisações provocadas por índios e trabalhadores, a obra já sofreu atraso de mais de um ano. Se continuar nesse ritmo , além de um aumento nos investimentos, a concessionária perderá cerca de R\$ 4 bilhões em receita. Ninguém duvida que novas greves e invasões ocorram até o fim da obra, já que o projeto é alvo de reivindicações e protestos, com visibilidade mundial (Portal Brasil, 2013).

Não é certeza que a hidrelétrica seja entregue no prazo estabelecido mesmo que um programa de aceleração seja posto em prática, dobrando turnos e contratando mais mão de obra,o que elevaria ainda mais os custos.

## **10.8. Custo de Implantação**

Uma hidrelétrica é composta por diversas obras, por isso, o custo de instalação pode variar de acordo com a capacidade de gerar energia, com a localização, entre outras características. O preço de uma construção pode ficar em torno de R\$7 bilhões a R\$12 bilhões. A capacidade de produção também pode variar. No Brasil, por exemplo, pouco menos de 60% da capacidade hidrelétrica instalada, está na Bacia do Rio Paraná, com 39.262,81MW. Já a Bacia do Rio Amazonas tem capacidade de 1,0% (667,30 MW). As pequenas centrais hidrelétricas (PCH's) produzem de 1MW a 30MW e possuem um reservatório com área inferior a 3 km<sup>2</sup> e as grandes centrais hidrelétricas (GCH's) produzem acima de 30MW (ANEEL, 2008).

## 10.9. Impactos Ambientais

Os impactos provocados pela construção de hidrelétricas, como interferência na fauna e flora, perda de solos agricultáveis, aumento do nível de rios ou alteração de seu curso devido ao represamento, e consequente inundação de áreas, são o principal argumento contra sua construção.

Muitas vezes é necessária a realocação de grandes contingentes de pessoas e animais silvestres para a construção das usinas, já que na maioria dos casos as áreas possuem grande diversidade biológica. As alterações no regime das águas devido aos reservatórios de acumulação, faz com que certas espécies sejam favorecidas, prejudicando ou até mesmo extinguindo outras. Também há o perigo de rompimento de barragens, podendo ocasionar problemas de grandes dimensões.

Isso tudo faz com que seja necessária a realização de estudos geológicos, hidrológicos e socioambientais prévios para a implantação de empreendimentos hidrelétricos, já que estes podem ser evitados ou minimizados devido a medidas preventivas.

## 10.10. Vantagens

- ✓ É um método limpo e seguro de obtenção de energia, já que não libera gás carbônico no meio ambiente;
- ✓ Sua fonte de energia é renovável e não tem custo;
- ✓ Sua eficiência energética é em torno de 95%;
- ✓ Represas e usinas hidrelétricas têm a duração de muitos anos, o que a torna uma fonte de eletricidade relativamente barata após o pagamento dos gastos com sua construção;
- ✓ A água retida atrás de represas pode ser utilizada para recreação e para o turismo, por exemplo.



## **11.Os avanços e melhorias em Energia Renováveis**

### **11.1. Inovação**

#### **11.1.1. Energia Solar – Instalação fotovoltaica flutuante (Power Clouds, 2013)**

Com mais de 100 metros quadrados de painéis fotovoltaicos, será testada a primeira instalação fotovoltaica flutuante da Índia, em Calcutá. De acordo com rumores, este protótipo poderá gerar cerca de 10 kW.

As expectativas são altas, espera-se que haja um aumento de 16% na potência gerada, comparada as instalações em terra, devido ao maior resfriamento gerado pelo modelo especial de instalação.

Antes da inauguração desse projeto já se pensa em sua expansão com pedidos aos órgãos públicos para que novas instalações em lagos e corpos hídricos sejam utilizados para produzir energia limpa.

Este tipo de instalação pode representar uma solução de integração entre sistemas hidroelétricos e sistemas fotovoltaicos, aumentando a produção de energia elétrica em uma única estação, e também contribuindo para regular a produção de energia na estação seca.

#### **11.1.2. Energia Solar – Empresa de Israel cria bateria solar eterna (Globo Rural, 2013)**

A empresa israelense Sol Chip descobriu recentemente uma bateria com energia infinita, bateria com uma tecnologia que elimina a necessidade de áreas extensas com painéis solares e fornece energia infinita para sensores e dispositivos eletrônicos móveis a partir de uma miniatura. Este produto é o resultado do cruzamento de microchips e células solares.

De acordo com a empresa Sol Chip, integrar com sucesso células solares e microchips de forma rentável é inédito na indústria de semicondutores. Embora o produto ainda seja limitado a uma saída de 8,4 volts, pode ser capaz de fornecer energia para diversos dispositivos.

A empresa está estudando para adaptar baterias solares em sensores utilizados na agricultura e atividades rurais, em testes meteorológicos e aplicações relacionadas a segurança. Chegar à indústria leiteira é uma meta da Sol Chip, a ideia é substituir as

baterias que estão ligados a monitores fixados em vacas por baterias solares, as quais seriam mais econômicas e ecológicas que as convencionais.

### **11.1.3. Energia Solar – Cientistas chineses criam janela capaz de poupar e gerar energia (Ambiente Brasil, 2013)**

Cientistas chineses desenvolveram uma janela “inteligente” capaz de gerar e economizar energia ao mesmo tempo, resolvendo o inconveniente onde janelas convencionais deixam que o calor escape no inverno e que os raios solares indesejáveis entrem no verão. As mesmas se limitam a regular a luz e o calor do Sol, desperdiçando certa quantidade de energia potencial solar.

Já é antigo o desejo de unificar células voltaicas geradoras de energia e vidraças sem afetar essa transparência, então a equipe de Yanfeng Gao, coautor da pesquisa, da academia Chinesa de Ciências, descobriu um material denominado óxido de vanádio ( $\text{VO}_2$ ) que pode ser usado como uma cobertura transparente para regular a radiação infravermelha do Sol.

De acordo com a temperatura o  $\text{VO}_2$  altera suas propriedades. Abaixo de um nível é isolante e permite a penetração da luz infravermelha, mas com outra temperatura, torna-se reflexivo. Esta janela inteligente tem potencial para regular e usar a radiação solar de forma eficiente, e também gerar e economizar energia, através da dissipação da luz para as células solares que os cientistas dispuseram em volta dos painéis de vidro, e então poderiam gerar energia, por exemplo, para acender uma lâmpada.

### **11.1.4. Energias Renováveis - Armazenamento de energias renováveis (EFE, 2013)**

Fontes de energia renovável, como solar e eólica, não produzem eletricidade constantemente, dificultando então sua integração a rede elétrica.

Estudos recentes da Universidade Nacional Australiana encontraram uma substância comum utilizada nas indústrias, o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), que pode ajudar a armazenar a energia gerada por fontes renováveis.

O armazenamento desta energia poderia contribuir para equilibrar a quantidade de energia que alimenta a rede, afirmou a química Yun Liu, da mesma Universidade.

Durante anos Liu e outros cientistas vem procurando algum material perfeito para incluir nos condensadores elétricos, que são dispositivos passivos utilizados para armazenar energia. A idéia é construir os condensadores mediante a separação de dois eletrodos metálicos com um isolante. Este isolante deveria possuir algumas características como constante dielétrica elevada

para armazenar maiores quantidades de energia, baixa perda dielétrica para não desperdiçar a energia armazenada entre outras características.

Depois de 5 anos de pesquisa, o grupo encontrou o dióxido de titânio, que cumpre todas necessidades do isolante procurado. A Austrália, país onde estão sendo feitos os estudos, atualmente domina o mercado mundial exportador do material.

#### **11.1.5. Biocombustível – Energia elétrica gerada através de esgoto e algas**

(Mercado\_Etico, 2013)

A estação de tratamento de águas de “Chiclana de La Frontera”, na Espanha, será a pioneira em utilizar água residual para cultivar algas, trazendo uma economia para a estação de produção de biocombustível na cidade se comparada com unidades convencionais.

Utilizando a água residual para o cultivo de algas, estas se transformam em biomassa devido à ação do dióxido de carbono, e pode ser aproveitado para gerar gás, convertido em combustível ou energia elétrica. O primeiro lote de algas, com o investimento da União Européia, foi produzido e estima-se que ao final do estudo quantidade suficiente para abastecer cerca de 200 carros por ano seja produzida. Esse projeto já virou interesse de outras 300 cidades, que estariam dispostas a investir nessa tecnologia.

No Brasil, um estudo realizado no Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense (UFF), constatou que o potencial de microalgas do litoral brasileiro em gerar energia chega a ser de 90 mil quilos de óleo por hectare; muito maior que o da soja, utilizada para produção de biodiesel no país.

Já na Alemanha, algas serão utilizadas em prédios filtrando o ar e gerando energia. As algas serão inseridas em grelhas, e a biomassa extraída, que pode ser cerca de 15 gramas por dia a cada metro quadrado, pode chegar a gerar cerca de 4.500 kWh de energia elétrica por ano.

#### **11.1.6. Energia de ondas – Escócia pretende se tornar maior produtora de energia de ondas do mundo**

(Tn Sustentável, 2013)

A Escócia anunciou planos de ampliação na utilização da energia de ondas, através da implantação do maior sistema de captação de ondas do mundo. O país, que é responsável por 10% do potencial de energia de ondas na Europa, pretende colocar o projeto em funcionamento em 2018, devendo gerar 40 MW de energia, suficientes para abastecer cerca de 30 mil casas por ano.

Segundo o projeto, dispositivos compostos de abas articuladas que se movem de acordo com a ondulação do mar, gerando energia, serão instalados no noroeste do país. Além de criar

empregos e aumentar as exportações, essa utilização reduz as emissões de carbono no país, já que sua localização no Atlântico Oriental torna o país ideal para esse tipo de aproveitamento.

## **11.2. Investimento**

### **11.2.1. Energias renováveis – Minas gerais (Ambiente Energia, 2013)**

Em agosto de 2013 foi assinado o decreto que cria o Programa Mineiro de Energias Renováveis. O estado de Minas Gerais busca a consolidação como centro de referência na produção de energia limpa no país.

O programa vai criar incentivos para estimular a implantação de novos empreendimentos e então, aumentar a participação de energias renováveis no estado.

### **11.2.2. Energias renováveis – Alemanha (Ambiente Brasil, 2013)**

Após o acidente em Fukushima, o governo alemão decidiu aos poucos fechar suas usinas nucleares e então abriu espaço para o investimento em energias renováveis no país.

Foram desligados 8 dos 22 reatores nucleares nos últimos 2 anos, porém a quantidade de energia gerada no país foi mantida devida principalmente ao aumento na geração de energias de fontes renováveis: 23%. No ano de 2012 a energia solar na Alemanha chegou a 8 milhões de casas, aumento de 45% em comparação a 2011. Uma das maiores contribuições para esse aumento, principalmente de usuários de energia solar, se deve aos enormes esforços que a Alemanha vem fazendo para desenvolver tecnologia para energia solar como, por exemplo, a queda de preço pela metade das placas voltaicas entre 2011 e 2012.

### **11.2.3. Energias renováveis – Fernando de Noronha (EcoD, 2013)**

A ilha do estado de Pernambuco recebeu nos últimos anos do governo do estado e da iniciativa privada cerca de R\$ 50 milhões para serem usados em ações de sustentabilidade.

No próximo ano o arquipélago ganhará sua segunda usina solar. Prometendo produzir 777 MW/ano (aproximadamente 6% da energia consumida na ilha), cerca de 230 mil litros de óleo diesel deixarão de ser consumidos.

De acordo com o governador de Pernambuco, Eduardo Campos, os residentes da ilha poderão vender o excedente de energia produzido em suas casas e então, em 3 anos Noronha terá a primeira comunidade no Brasil a ter fornecimento de energia 100% renovável.

#### **11.2.4. Energia Solar – Petrobras e SunEdison irão construir uma das maiores usinas fotovoltaicas do Brasil** (Instituto Carbono Brasil, 2013)

A Petrobras e a SunEdison acordaram de construir em Alto do Rodrigues, RN, uma das maiores usinas fotovoltaicas do Brasil. A ideia é que a usina gere 1,65 GWh por ano de energia limpa, número que se fosse gerada em uma termelétrica a gás natural, por exemplo, geraria a emissão de 380 toneladas de carbono.

Dentro do projeto também está prevista a construção de uma usina modelo com capacidade para gerar 10 kW no Laboratório de Eletrônica de Potência e Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A ideia é aumentar os estudos e testes nesta área, melhorando os dados públicos sobre geração de energia solar e contribuindo para a capacitação de profissionais dedicados a esta área.

#### **11.2.5. Energia Solar – Crescimento expressivo na América Latina em 2013**

(Instituto Carbono Brasil, 2013)

No início de 2013 a GTM Research publicou um relatório sobre as previsões do mercado solar para América Latina e Caribe, o qual indica que serão instalados 459 MW, um crescimento de quase 400%. O crescimento é muito alto pois o mercado ainda está começando, partindo basicamente do nada.

O Brasil com mais de 2 GW em projetos, está entre os mercados que mais vai crescer, ao lado de México e Chile. A nova legislação para micro e minigeração de energia, implementada em 2012 está impulsionando o mercado. A legislação permite que os micro e minigeradores que produzirem energia em excesso, poderão trocar por créditos com as distribuidoras.

#### **11.2.6. Energia Solar – Austrália** (Binas, 2013)

Com investimentos de bilhões de dólares na indústria solar, a Austrália, que em 2008 tinha somente 20 mil sistemas solares instalados, atingiu no começo de 2013 a marca de 1 milhão de residências que geram sua própria energia por painéis fotovoltaicos.

A ideia é que a energia solar represente 20% da matriz energética no país.

### **11.2.7. Energia Eólica – Novos Parques Eólicos (EXAME.com, 2013)**

No mês de Julho de 2013 o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) aprovou um financiamento de mais de R\$ 90 milhões a construção de 5 novos parques eólicos no Ceará. Com potência de 136 MW, os parques terão sistema de transmissão integrado. A previsão é que no fim de 2013 seja registrado um crescimento de 15% em operações neste setor.

### **11.2.8. Energia Eólica – Projeções para 2015 (EPE, 2013)**

No Leilão de Reserva realizado em agosto de 2013, com abordagem exclusiva de energia eólica foram contratados 1,5 GW para novos projetos de parques eólicos. Os projetos terão uma garantia física de 700 MWmédios e estão localizados nos estados da Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Rio Grande do sul, somando no total 66 projetos contratados.

O preço final de venda ficou estabelecido ficou em R\$ 110,51/MWh.

Há previsão de mais leilões visto que dos 655 projetos que se inscreveram, uma quantidade expressiva estava habilitada, e ainda resta 75% da capacidade da rede de transmissão para ser conectada. O presidente da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Mauricio Tolmasquim, afirma que há espaço para a energia eólica crescer de forma sustentável na matriz energética brasileira.

### **11.2.9. Etanol – Segunda usina de etanol produzida pelo bagaço da cana será construída em Alagoas (BNDES, 2013)**

Uma usina de segunda geração de etanol deve ser construída no município de São Miguel dos Campos, em Alagoas, pela empresa Bioflex Agroindustrial, graças ao financiamento de R\$ 300,3 milhões pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Com capacidade de produzir 82 milhões de litros de etanol por safra através da tecnologia de biomassa na conversão do bagaço de cana- de-açúcar, a usina será a segunda deste tipo no mundo, já que a primeira se encontra na Itália.

Esta alternativa contribuirá para que o etanol brasileiro seja ainda mais sustentável, fazendo com que sua produção possa atingir cerca de 10 mil litros por hectare, aumento de 45% em relação ao que se produz atualmente. Esse aumento na produção trará uma redução dos custos no setor, estimulando que novos investimentos sejam feitos, reduzindo a importação de combustíveis e gerando mais empregos e aumento de renda.

### **11.2.10. Hidroeletricidade – Investimento em PCHs (Revista DAE, 2013)**

Segundo informações do Plano Decenal de Energia (PDE 2021), nos próximos anos o crescimento de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), que são empreendimentos de 1 MW a 30 MW de potência instalada, no Brasil será de 65%. Segundo dados da Aneel, hoje no Brasil operam 456 PCHs, com potência total de 4.502 MW, afirma a assessora de gestão de risco da Trade Energy, Regina Pimentel.

A Trade Energy, fundada em 1998, foi uma das primeiras empresas autorizadas pela Aneel a atuar no mercado livre de energia. Ela tem foco nos consumidores livres e produtores independentes de energia.

Na medida em que a capacidade do estoque hídrico encolhe, por questões ambientais cada vez mais severas, torna-se indispensável o uso de energia de termoelétricas como complementação. Apesar disso, há uma previsão de aumento de PCHs, já que estas possuem menor tempo de construção, necessidade de um menor reservatório de acumulação, e maior facilidade em licença ambiental, se comparadas com Hidrelétricas de grande porte.

## **11.3. Custos**

### **11.3.1. Energia Solar – Custo deve cair até 45% (EXAME.com, 2013)**

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), o custo da energia solar deve cair 45% até 2018. Com essa redução o valor deve chegar a R\$ 165/MWh, ficando então mais competitivo com a eólica, por exemplo, cujo custo está perto de R\$ 100/MWh.

O leilão de energia A-3, com entrega a partir de 2016, contará com a presença inédita da energia solar e de resíduos de lixo. A ideia é que reduzindo o custo, a energia solar aumente sua participação em leilões de energia. Ao mesmo tempo, o país visa atrair investidores do mesmo segmento para garantir a instalação de fábricas de equipamentos e sistemas voltados a energia solar.

### **11.3.2. Energia Eólica - Turbina eólica pode ser até 600% mais eficaz e mais barata que convencional (Mercado Ético, 2013)**

O protótipo da turbina eólica Invelox, desenvolvido pela empresa norte-americana SheerWind promete revolucionar os rumos da energia eólica. Podendo reduzir o custo de instalação para menos de US\$ 750 por kW e podendo ser até 600% mais produtiva que as

turbinas eólicas tradicionais, essas novas turbinas também diminuirão o impacto ambiental e não precisam de incentivo governamental, segundo os desenvolvedores.

As mesmas possuem baixo custo de instalação e manutenção, e conseguem trabalhar com vento em baixa velocidade, podendo ser instaladas em áreas que não possuem grande potencial eólico. Funcionam capturando brisas do vento no nível do solo, e estas são aceleradas em direção a um conversor de energia, através de sua canalização por uma passagem que se torna mais fina. Em um teste, 72% de energia foi gerada por um vento de 1,6 km por hora, um recorde de produção.



Figura 29- Protótipo da turbina eólica que promete revolucionar

## 12. Conclusão

Este trabalho de conclusão de curso teve como finalidade a análise do panorama energético mundial atual, tendo em vista as mudanças visivelmente observadas quando se analisa o aumento do uso de energias renováveis como fonte de obtenção de energia elétrica.

A preocupação com os impactos gerados pelo uso de diversas fontes de energia é pauta importante nas discussões de grandes eventos mundiais, e o desenvolvimento de novas tecnologias de uso de energias não poluentes e eficazes recebe investimento da maioria dos países.

A diminuição da emissão de monóxido de carbono na atmosfera, e do número de catástrofes ocorridas em usinas cujas fontes de energia eram poluidoras e apresentavam algum tipo de perigo, são alguns exemplos de significativas melhorias trazidas pela substituição de fontes não renováveis de energia por fontes renováveis.

A maior parcela de energia elétrica é proveniente de fontes hidrelétricas de energia, que é maior que todas as outras fontes renováveis de energia somadas. O Brasil é um país que muito contribui para essa produção, já que possui uma grande quantidade de rios favoráveis à geração de energia, possuindo a usina hidrelétrica de maior produção de energia do mundo, a usina de Tucuruí. A segunda maior produtora de energia elétrica é a usina de Três Gargantas, na China, que possui o maior potencial instalado do mundo.

Análises do panorama energético a longo prazo mostram que o uso de energias renováveis terá um aumento ainda maior nos próximos anos, e isso já pode ser observado no surgimento de novas tecnologias na obtenção de energia a cada dia.

### 13. Referências Bibliográficas

BNDES. (2013). Acesso em 7 de Maio de 2013, disponível em BNDES - O banco nacional do desenvolvimento: <http://www.bnDES.gov.br/>

EXAME.com. (2013). Acesso em 2 de Julho de 2013, disponível em Exame:  
<http://exame.abril.com.br/>

Mercado Ético. (2013). Acesso em 17 de Maio de 2013, disponível em  
<http://www.mercadoetico.com.br/>

Revista DAE. (2013). Acesso em 04 de Julho de 2013, disponível em Revista DAE:  
<http://www.revistadae.com.br/>

ABEEólica. (2012). Acesso em 17 de julho de 2013, disponível em Associação Brasileira de Energiea Eólica: <http://abeeolica.org.br>

AGENEAL. (2013). Acesso em Agosto de 2013, disponível em <http://www.ageneal.pt>

Agroanalysis. (2013). Acesso em 17 de agosto de 2013, disponível em Agroanalysis:  
<http://www.agroanalysis.com.br>

Ambiente Brasil. (2013). Acesso em Agosto de 2013, disponível em Ambiente Brasil:  
<http://www.ambientebrasil.com.br/>

Ambiente Energia. (2013). *Incentivo para Renováveis em Minas*. Acesso em Setembro de 2013, disponível em Ambiente Energia: <http://www.ambienteenergia.com.br/>

Ambiente\_Brasil. (2013). *Sem reatores, energia renovável cresce 23% na Alemanha*. Acesso em Agosto de 2013, disponível em Ambiente Brasil.

ANEEL. (2012). Acesso em 22 de setembro de 2013, disponível em Agência Nacional de Energia Elétrica: <http://www.aneel.com.br>

ANEEL, A. N. (2008). Atlas de Energia Elétrica do Brasil.

Binas, F. (2013). Acesso em Agosto de 2013, disponível em Jornal da Energia:  
[http://www.jornaldaenergia.com.br/](http://www.jornaldaenergia.com.br)

Biodieselbr. (2013). Acesso em 20 de agosto de 2013, disponível em Biodieselbr:  
<http://www.biodieselbr.com>

BP. (2008). Acesso em 04 de setembro de 2013, disponível em Beyond Petroleum:  
<http://www.bp.com>

BP, B. P. (Junho de 2013). BP Statistical Review of World Energy. *BP*.

CBEE. (2000). *CBEE-Centro Brasileiro de Energia Eólica*. Acesso em 20 de julho de 2013, disponível em <http://www.eolica.com.br>

- CCST. (2012). Acesso em 15 de agosto de 2013, disponível em Atlas brasileiro de energia solar:  
<http://www.ccst.inpe.br>
- Cipriano, S. (2013). *Os maiores desastres provocados pelo homem*. Acesso em Setembro de 2013, disponível em Bombeiros.pt: <http://www.bombeiros.pt/>
- EcoD. (2013). Fonte: Instituto Ecod: <http://www.institutoecod.org/>
- EFE. (2013). Acesso em Agosto de 2013, disponível em Agencia EFE: <http://www.efe.com/>
- EPE. (2013). Acesso em Agosto de 2013, disponível em Empresa de Pesquisa Energética:  
<http://www.epe.gov.br/>
- Farias, L. M., & Sellito, M. A. (Abril de 2011). Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Fundação Liberato*.
- Globo Rural. (2013). Acesso em Outubro de 2013, disponível em Globo Rural:  
<http://revistagloborural.globo.com/>
- Green, M. A. (2000). *Solar cell efficiency tables*. Sydney.
- Grubb, M., & Meyer, N. (1993). *Windy Energy: resources, systems and regional strategies*.
- IEA. (2012). Acesso em 20 de agosto de 2013, disponível em International Energy Agency:  
<http://www.iea.org>
- IEA, I. E. (2000). Fonte: [www.iea.org](http://www.iea.org)
- IEA, I. E. (2013). Key World Energy Statistics. IEA.
- Instituto Carbono Brasil. (2013). Fonte: Instituto Carbono Brasil:  
<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/>
- Itaipu. (2013). Acesso em 25 de setembro de 2013, disponível em Itaipu:  
<http://www.itaipu.gov.br>
- Lopes, M. (2013). *Os 10 maiores desastres ambientais causados pelo homem nos últimos 30 anos*. Acesso em Julho de 2013, disponível em Verdades a serem ditas:  
<http://marciolopes4.blogspot.com.br/>
- Magnoli, D., & Scalzaretto, R. (1998). *Geografia, espaço,cultura e cidadania*. São Paulo: Moderna.
- Mercado\_Etico. (2013). Acesso em Julho de 2013, disponível em Mercado Ético:  
<http://www.mercadoetico.com.br/>
- MME. (2012). Acesso em 15 de agosto de 2013, disponível em Ministério de Minas e Energia:  
<http://www.mme.gov.br>
- NREL. (2000). Acesso em 02 de agosto de 2013, disponível em National Renewable Energy Laboratory: <http://www.nrel.gov.com>

PNE. (2008). Acesso em 17 de julho de 2013, disponível em Plano Nacional de Energia:  
<http://www.epe.gov.br/pne>

Pnuma. (2012). Acesso em 02 de agosto de 2013, disponível em Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: <http://www.pnuma.org.br>

Portal Brasil. (2013). Acesso em 26 de setembro de 2013, disponível em Portal Brasil:  
<http://www.brasil.gov.br>

Power Clouds. (2013). *Primeira Instalação Fotovoltaica Flutuante Na Índia*. Acesso em 02 de Setembro de 2013, disponível em Power Clouds: <http://www.powerclouds.com/>

Tn Sustentável. (2013). *Escócia pretende se tornar a maior produtora de energia de ondas do mundo*. Acesso em Julho de 2013, disponível em Tn Sustentável:  
<http://www.tnsustentavel.com.br/>

Wikipedia. (2011). *Energia Nuclear*. Acesso em Agosto de 2013, disponível em  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_nuclear](http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_nuclear)

WWEA. (2011). *World Wind Energy Association*. Acesso em 27 de julho de 2013, disponível em  
<http://wwindea.org>

## **ANEXOS**

# ANEXO A: RESERVAS DE PETRÓLEO NO MUNDO



## Proved reserves

	At end 1992 Thousand million barrels	At end 2002 Thousand million barrels	At end 2011 Thousand million barrels	At end 2012			
				Thousand million tonnes	Thousand million barrels	Share of total	R/P ratio
US	31.2	30.7	35.0	<b>4.2</b>	<b>35.0</b>	2.1%	10.7
Canada	39.6	180.4	174.6	<b>28.0</b>	<b>173.9</b>	10.4%	*
Mexico	51.2	17.2	11.4	<b>1.6</b>	<b>11.4</b>	0.7%	10.7
<b>Total North America</b>	<b>122.1</b>	<b>228.3</b>	<b>221.0</b>	<b>33.8</b>	<b>220.2</b>	13.2%	<b>38.7</b>
Argentina	2.0	2.8	2.5	<b>0.3</b>	<b>2.5</b>	0.1%	10.2
Brazil	5.0	9.8	15.0	<b>2.2</b>	<b>15.3</b>	0.9%	19.5
Colombia	3.2	1.6	2.0	<b>0.3</b>	<b>2.2</b>	0.1%	6.4
Ecuador	3.2	5.1	7.2	<b>1.2</b>	<b>8.2</b>	0.5%	44.6
Peru	0.8	1.0	1.2	<b>0.2</b>	<b>1.2</b>	0.1%	31.5
Trinidad & Tobago	0.5	1.1	0.8	<b>0.1</b>	<b>0.8</b>	♦	18.8
Venezuela	63.3	77.3	297.6	<b>46.5</b>	<b>297.6</b>	17.8%	*
Other S. & Cent. America	0.6	1.6	0.5	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	♦	9.7
<b>Total S. &amp; Cent. America</b>	<b>78.8</b>	<b>100.3</b>	<b>326.9</b>	<b>50.9</b>	<b>328.4</b>	19.7%	*
Azerbaijan	n/a	7.0	7.0	<b>1.0</b>	<b>7.0</b>	0.4%	21.9
Denmark	0.7	1.3	0.8	<b>0.1</b>	<b>0.7</b>	♦	9.7
Italy	0.6	0.8	1.4	<b>0.2</b>	<b>1.4</b>	0.1%	33.7
Kazakhstan	n/a	5.4	30.0	<b>3.9</b>	<b>30.0</b>	1.8%	47.4
Norway	9.7	10.4	6.9	<b>0.9</b>	<b>7.5</b>	0.4%	10.7
Romania	1.2	0.5	0.6	<b>0.1</b>	<b>0.6</b>	♦	19.1
Russian Federation	n/a	76.1	87.1	<b>11.9</b>	<b>87.2</b>	5.2%	22.4
Turkmenistan	n/a	0.5	0.6	<b>0.1</b>	<b>0.6</b>	♦	7.4
United Kingdom	4.6	4.5	3.1	<b>0.4</b>	<b>3.1</b>	0.2%	8.8
Uzbekistan	n/a	0.6	0.6	<b>0.1</b>	<b>0.6</b>	♦	24.0
Other Europe & Eurasia	61.3	2.2	2.2	<b>0.3</b>	<b>2.1</b>	0.1%	14.8
<b>Total Europe &amp; Eurasia</b>	<b>78.3</b>	<b>109.3</b>	<b>140.3</b>	<b>19.0</b>	<b>140.8</b>	8.4%	<b>22.4</b>
Iran	92.9	130.7	154.6	<b>21.6</b>	<b>157.0</b>	9.4%	*
Iraq	100.0	115.0	143.1	<b>20.2</b>	<b>150.0</b>	9.0%	*
Kuwait	96.5	96.5	101.5	<b>14.0</b>	<b>101.5</b>	6.1%	88.7
Oman	4.7	5.7	5.5	<b>0.7</b>	<b>5.5</b>	0.3%	16.3
Qatar	3.1	27.6	23.9	<b>2.5</b>	<b>23.9</b>	1.4%	33.2
Saudi Arabia	261.2	262.8	265.4	<b>36.5</b>	<b>265.9</b>	15.9%	63.0
Syria	3.0	2.3	2.5	<b>0.3</b>	<b>2.5</b>	0.1%	41.7
United Arab Emirates	98.1	97.8	97.8	<b>13.0</b>	<b>97.8</b>	5.9%	79.1
Yemen	2.0	2.9	3.0	<b>0.4</b>	<b>3.0</b>	0.2%	45.4
Other Middle East	0.1	0.1	0.7	<b>0.1</b>	<b>0.6</b>	♦	8.4
<b>Total Middle East</b>	<b>661.6</b>	<b>741.3</b>	<b>797.9</b>	<b>109.3</b>	<b>807.7</b>	48.4%	<b>78.1</b>
Algeria	9.2	11.3	12.2	<b>1.5</b>	<b>12.2</b>	0.7%	20.0
Angola	1.3	8.9	10.5	<b>1.7</b>	<b>12.7</b>	0.8%	19.4
Chad	–	0.9	1.5	<b>0.2</b>	<b>1.5</b>	0.1%	40.7
Republic of Congo (Brazzaville)	0.7	1.5	1.6	<b>0.2</b>	<b>1.6</b>	0.1%	14.8
Egypt	3.4	3.5	4.3	<b>0.6</b>	<b>4.3</b>	0.3%	16.1
Equatorial Guinea	0.3	1.1	1.7	<b>0.2</b>	<b>1.7</b>	0.1%	16.5
Gabon	0.8	2.4	2.0	<b>0.3</b>	<b>2.0</b>	0.1%	22.3
Libya	22.8	36.0	48.0	<b>6.3</b>	<b>48.0</b>	2.9%	86.9
Nigeria	21.0	34.3	37.2	<b>5.0</b>	<b>37.2</b>	2.2%	42.1
South Sudan	–	–	–	<b>0.5</b>	<b>3.5</b>	0.2%	*
Sudan	0.3	0.6	5.0	<b>0.2</b>	<b>1.5</b>	0.1%	50.0
Tunisia	0.5	0.5	0.4	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	♦	17.9
Other Africa	0.8	0.6	2.2	<b>0.5</b>	<b>3.7</b>	0.2%	43.0
<b>Total Africa</b>	<b>61.1</b>	<b>101.6</b>	<b>126.6</b>	<b>17.3</b>	<b>130.3</b>	7.8%	<b>37.7</b>
Australia	3.2	4.6	3.9	<b>0.4</b>	<b>3.9</b>	0.2%	23.4
Brunei	1.1	1.1	1.1	<b>0.1</b>	<b>1.1</b>	0.1%	19.0
China	15.2	15.5	17.3	<b>2.4</b>	<b>17.3</b>	1.0%	11.4
India	5.9	5.6	5.7	<b>0.8</b>	<b>5.7</b>	0.3%	17.5
Indonesia	5.6	4.7	3.7	<b>0.5</b>	<b>3.7</b>	0.2%	11.1
Malaysia	5.1	4.5	3.7	<b>0.5</b>	<b>3.7</b>	0.2%	15.6
Thailand	0.2	0.7	0.4	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	♦	2.7
Vietnam	0.3	2.8	4.4	<b>0.6</b>	<b>4.4</b>	0.3%	34.5
Other Asia Pacific	0.9	1.1	1.1	<b>0.1</b>	<b>1.1</b>	0.1%	10.5
<b>Total Asia Pacific</b>	<b>37.5</b>	<b>40.6</b>	<b>41.4</b>	<b>5.5</b>	<b>41.5</b>	2.5%	<b>13.6</b>
<b>Total World</b>	<b>1039.3</b>	<b>1321.5</b>	<b>1654.1</b>	<b>235.8</b>	<b>1668.9</b>	<b>100.0%</b>	<b>52.9</b>
of which: OECD	142.7	251.2	238.5	<b>36.0</b>	<b>238.3</b>	14.3%	33.4
Non-OECD	896.6	1070.3	1415.6	<b>199.7</b>	<b>1430.7</b>	85.7%	58.6
OPEC	772.7	903.3	1199.0	<b>169.9</b>	<b>1211.9</b>	72.6%	88.5
Non-OPEC+	207.1	327.9	329.4	<b>48.8</b>	<b>331.0</b>	19.8%	25.8
European Union#	8.3	8.0	6.9	<b>0.9</b>	<b>6.8</b>	0.4%	12.1
Former Soviet Union	59.6	90.3	125.8	<b>17.1</b>	<b>126.0</b>	7.5%	25.2
Canadian oil sands: Total	32.4	174.4	168.6	<b>27.3</b>	<b>167.8</b>		
of which: Under active development	3.0	11.6	25.5	<b>4.2</b>	<b>25.9</b>		
Venezuela: Orinoco Belt	–	–	220.0	<b>35.3</b>	<b>220.0</b>		

\*More than 100 years.

♦Less than 0.05%.

#Excludes Former Soviet Union.

**Notes:** Proved reserves of oil – Generally taken to be those quantities that geological and engineering information indicates with reasonable certainty can be recovered in the future from known reservoirs under existing economic and operating conditions.

Reserves-to-production (R/P) ratio – If the reserves remaining at the end of any year are divided by the production in that year, the result is the length of time that those remaining reserves would last if production were to continue at that rate.

Source of data – The estimates in this table have been compiled using a combination of primary official sources, third-party data from the OPEC Secretariat, *World Oil*, *Oil & Gas Journal* and an independent estimate of Russian and Chinese reserves based on information in the public domain.

Canadian oil sands 'under active development' are an official estimate. Venezuelan Orinoco Belt reserves are based on the OPEC Secretariat and government announcements.

**Reserves include gas condensate and natural gas liquids (NGLs) as well as crude oil.**

**Shares of total and R/P ratios are calculated using thousand million barrels figures.**

## ANEXO B: CONSUMO DE PETRÓLEO NO MUNDO

### Consumption\*

Thousand barrels daily	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Change 2012 over 2011	2012 share of total
US	19761	20033	20732	20802	20687	20680	19490	18769	19134	18949	<b>18555</b>	-2.3%	19.8%
Canada	2172	2228	2309	2288	2295	2361	2315	2195	2316	2404	<b>2412</b>	-0.9%	2.5%
Mexico	1864	1909	1983	2030	2019	2067	2054	1995	2014	2043	<b>2074</b>	2.3%	2.2%
Total North America	<b>23797</b>	<b>24170</b>	<b>25023</b>	<b>25119</b>	<b>25002</b>	<b>25109</b>	<b>23860</b>	<b>22959</b>	<b>23464</b>	<b>23397</b>	<b>23040</b>	-1.8%	24.6%
Argentina	394	405	425	449	471	523	534	522	557	598	<b>612</b>	2.3%	0.7%
Brazil	2031	1973	2050	2097	2134	2286	2439	2467	2676	2740	<b>2805</b>	2.5%	3.0%
Chile	225	228	244	250	278	358	372	367	329	367	<b>376</b>	1.9%	0.4%
Colombia	221	222	225	230	235	234	234	241	257	271	<b>274</b>	1.0%	0.3%
Ecuador	146	151	155	169	180	183	188	191	220	226	<b>234</b>	3.6%	0.3%
Peru	146	139	152	152	147	153	172	176	187	203	<b>212</b>	3.2%	0.2%
Trinidad & Tobago	25	24	25	26	29	34	37	35	39	33	<b>33</b>	0.2%	♦
Venezuela	660	535	582	623	658	662	746	755	766	764	<b>781</b>	2.5%	0.9%
Other S. & Cent. America	1156	1184	1200	1189	1202	1219	1171	1167	1192	1203	<b>1205</b>	0.2%	1.4%
Total S. & Cent. America	<b>5004</b>	<b>4860</b>	<b>5059</b>	<b>5185</b>	<b>5332</b>	<b>5651</b>	<b>5892</b>	<b>5921</b>	<b>6222</b>	<b>6405</b>	<b>6533</b>	2.0%	7.3%
Austria	270	292	283	287	291	276	274	264	276	259	<b>257</b>	-1.2%	0.3%
Azerbaijan	73	84	88	106	96	91	74	73	71	89	<b>93</b>	5.4%	0.1%
Belarus	142	141	144	145	162	150	168	188	146	180	<b>182</b>	1.1%	0.2%
Belgium	650	688	680	679	671	676	747	650	672	662	<b>636</b>	-5.4%	0.7%
Bulgaria	88	95	92	102	105	103	102	92	82	80	<b>80</b>	0.1%	0.1%
Czech Republic	172	184	202	210	207	205	209	204	194	193	<b>194</b>	0.2%	0.2%
Denmark	197	189	185	196	198	200	196	178	176	169	<b>160</b>	-6.3%	0.2%
Finland	222	235	221	229	222	223	222	209	219	204	<b>190</b>	-6.2%	0.2%
France	1953	1952	1963	1946	1942	1911	1889	1822	1763	1742	<b>1687</b>	-3.6%	2.0%
Germany	2697	2648	2619	2592	2609	2380	2502	2409	2445	2369	<b>2358</b>	-0.7%	2.7%
Greece	406	396	426	424	442	435	425	405	368	347	<b>313</b>	-9.5%	0.4%
Hungary	139	131	136	158	168	168	164	154	146	140	<b>129</b>	-7.7%	0.1%
Republic of Ireland	179	175	181	191	191	195	187	166	158	141	<b>130</b>	-7.7%	0.2%
Italy	1915	1900	1850	1798	1791	1740	1661	1563	1532	1475	<b>1345</b>	-9.2%	1.6%
Kazakhstan	169	183	196	204	210	233	229	188	196	242	<b>265</b>	10.2%	0.3%
Lithuania	51	50	53	57	58	58	63	54	55	53	<b>53</b>	-1.2%	0.1%
Netherlands	934	946	983	1039	1047	1065	991	971	977	971	<b>933</b>	-4.5%	1.1%
Norway	216	232	221	224	229	237	228	236	235	240	<b>247</b>	1.3%	0.3%
Poland	430	441	469	487	512	531	549	549	576	574	<b>542</b>	-5.8%	0.6%
Portugal	332	311	315	324	294	296	278	263	259	240	<b>226</b>	-6.2%	0.3%
Romania	220	194	224	218	214	218	216	195	184	191	<b>182</b>	-3.6%	0.2%
Russian Federation	2559	2679	2660	2679	2761	2777	2862	2772	2892	3089	<b>3174</b>	2.5%	3.6%
Slovakia	75	70	67	80	72	76	82	79	82	81	<b>73</b>	-9.3%	0.1%
Spain	1493	1539	1575	1594	1592	1613	1557	1473	1394	1377	<b>1278</b>	-7.2%	1.5%
Sweden	346	352	339	339	344	342	332	307	321	305	<b>295</b>	-4.8%	0.3%
Switzerland	264	257	255	260	266	241	256	260	242	235	<b>238</b>	1.6%	0.3%
Turkey	643	641	655	662	696	716	681	683	694	673	<b>685</b>	2.3%	0.8%
Turkmenistan	81	91	88	90	85	95	104	96	93	97	<b>100</b>	3.3%	0.1%
Ukraine	282	295	310	296	308	338	322	287	281	277	<b>282</b>	1.9%	0.3%
United Kingdom	1700	1723	1766	1806	1788	1716	1683	1610	1588	1532	<b>1468</b>	-4.0%	1.7%
Uzbekistan	131	162	149	100	101	93	91	88	75	80	<b>82</b>	2.1%	0.1%
Other Europe & Eurasia	535	567	601	624	640	663	673	663	665	668	<b>668</b>	-0.3%	0.8%
Total Europe & Eurasia	<b>19563</b>	<b>19842</b>	<b>19998</b>	<b>20142</b>	<b>20311</b>	<b>20062</b>	<b>20017</b>	<b>19149</b>	<b>19057</b>	<b>18974</b>	<b>18543</b>	-2.5%	21.3%
Iran	1486	1581	1639	1705	1826	1868	1962	1996	1936	1878	<b>1971</b>	4.3%	2.2%
Israel	260	267	251	257	251	264	259	244	236	249	<b>289</b>	17.8%	0.3%
Kuwait	285	334	374	411	378	383	405	453	489	466	<b>476</b>	2.5%	0.5%
Qatar	84	95	106	121	134	150	171	173	212	235	<b>250</b>	2.5%	0.2%
Saudi Arabia	1668	1780	1913	2013	2084	2203	2378	2592	2790	2835	<b>2935</b>	3.9%	3.1%
United Arab Emirates	412	453	484	493	527	565	586	576	631	699	<b>720</b>	2.2%	0.8%
Other Middle East	1257	1176	1258	1335	1248	1263	1425	1492	1567	1629	<b>1714</b>	5.3%	2.0%
Total Middle East	<b>5452</b>	<b>5686</b>	<b>6026</b>	<b>6335</b>	<b>6449</b>	<b>6696</b>	<b>7185</b>	<b>7526</b>	<b>7861</b>	<b>7992</b>	<b>8354</b>	4.5%	9.1%
Algeria	221	230	239	250	258	286	309	327	327	345	<b>367</b>	6.9%	0.4%
Egypt	524	540	556	617	602	642	687	726	766	718	<b>744</b>	4.4%	0.9%
South Africa	480	497	513	514	528	549	528	517	547	547	<b>561</b>	2.6%	0.7%
Other Africa	1342	1380	1459	1531	1532	1590	1694	1734	1822	1749	<b>1850</b>	5.8%	2.1%
Total Africa	<b>2568</b>	<b>2646</b>	<b>2767</b>	<b>2911</b>	<b>2920</b>	<b>3068</b>	<b>3218</b>	<b>3302</b>	<b>3463</b>	<b>3359</b>	<b>3523</b>	5.1%	4.0%
Australia	844	854	863	896	929	936	949	943	962	1007	<b>1019</b>	0.9%	1.1%
Bangladesh	80	83	86	89	89	86	84	78	86	108	<b>114</b>	6.3%	0.1%
China	5262	5771	6738	6944	7439	7823	7947	8229	9272	9750	<b>10221</b>	5.0%	11.7%
China Hong Kong SAR	267	269	313	285	305	324	293	334	362	364	<b>360</b>	-1.2%	0.4%
India	2413	2485	2556	2606	2737	2941	3077	3237	3319	3488	<b>3652</b>	5.0%	4.2%
Indonesia	1184	1210	1278	1263	1234	1271	1263	1316	1426	1549	<b>1565</b>	0.4%	1.7%
Japan	5357	5461	5308	5391	5210	5053	4882	4429	4473	4465	<b>4714</b>	6.3%	5.3%
Malaysia	561	561	585	580	615	672	661	662	672	682	<b>697</b>	2.1%	0.7%
New Zealand	139	145	150	151	153	154	154	148	150	149	<b>149</b>	-0.1%	0.2%
Pakistan	356	319	324	311	354	387	388	414	411	417	<b>402</b>	-4.2%	0.5%
Philippines	330	329	336	314	284	301	266	283	286	279	<b>282</b>	0.7%	0.3%
Singapore	739	689	763	830	884	963	1015	1083	1193	1246	<b>1255</b>	0.4%	1.6%
South Korea	2320	2340	2294	2312	2320	2399	2308	2339	2370	2394	<b>2458</b>	2.5%	2.6%
Taiwan	957	998	1043	1053	1043	1096	992	987	1028	951	<b>939</b>	-1.8%	1.0%
Thailand	798	863	930	959	973	984	994	1071	1076	1171	<b>1212</b>	3.6%	1.3%
Vietnam	205	220	263	258	254	283	300	304	329	358	<b>361</b>	0.7%	0.4%
Other Asia Pacific	275	284	293	296	302	317	307	349	351	376	<b>382</b>	1.3%	0.4%
Total Asia Pacific	<b>22086</b>	<b>22880</b>	<b>24124</b>	<b>24535</b>	<b>25124</b>	<b>25989</b>	<b>25881</b>	<b>26205</b>	<b>27766</b>	<b>28754</b>	<b>29781</b>	3.7%	33.6%
<b>Total World</b>	<b>78470</b>	<b>80085</b>	<b>82996</b>	<b>84228</b>	<b>85138</b>	<b>86575</b>	<b>86052</b>	<b>85064</b>	<b>87833</b>	<b>88879</b>	<b>89774</b>	0.9%	100.0%

\*Inland demand plus international aviation and marine bunkers and refinery fuel and loss. Consumption of fuel ethanol and biodiesel is also included.

♦Less than 0.05%.

**Notes:** Differences between these world consumption figures and world production statistics are accounted for by stock changes, consumption of non-petroleum additives and substitute fuels, and unavoidable disparities in the definition, measurement or conversion of oil supply and demand data.

Annual changes and shares of total are calculated using million tonnes per annum figures.

Growth rates are adjusted for leap years.

## ANEXO C: RESERVAS DE GÁS NATURAL NO MUNDO

### Natural gas

#### Proved reserves

	At end 1992 Trillion cubic metres	At end 2002 Trillion cubic metres	At end 2011 Trillion cubic metres	At end 2012 Trillion cubic feet	At end 2012 Trillion cubic metres	Share of total	R/P ratio
US	4.7	5.3	8.8	<b>300.0</b>	<b>8.5</b>	4.5%	12.5
Canada	2.7	1.7	2.0	<b>70.0</b>	<b>2.0</b>	1.1%	12.7
Mexico	2.0	0.4	0.4	<b>12.7</b>	<b>0.4</b>	0.2%	6.2
<b>Total North America</b>	<b>9.3</b>	<b>7.4</b>	<b>11.2</b>	<b>382.7</b>	<b>10.8</b>	<b>5.8%</b>	<b>12.1</b>
Argentina	0.5	0.7	0.3	<b>11.3</b>	<b>0.3</b>	0.2%	8.5
Bolivia	0.1	0.8	0.3	<b>11.2</b>	<b>0.3</b>	0.2%	17.0
Brazil	0.1	0.2	0.5	<b>16.0</b>	<b>0.5</b>	0.2%	26.0
Colombia	0.2	0.1	0.2	<b>5.5</b>	<b>0.2</b>	0.1%	12.9
Peru	0.3	0.2	0.4	<b>12.7</b>	<b>0.4</b>	0.2%	27.9
Trinidad & Tobago	0.2	0.6	0.4	<b>13.3</b>	<b>0.4</b>	0.2%	8.9
Venezuela	3.7	4.2	5.5	<b>196.4</b>	<b>5.6</b>	3.0%	*
Other S. & Cent. America	0.2	0.1	0.1	<b>2.0</b>	<b>0.1</b>	♦	15.5
<b>Total S. &amp; Cent. America</b>	<b>5.4</b>	<b>7.0</b>	<b>7.5</b>	<b>268.3</b>	<b>7.6</b>	<b>4.1%</b>	<b>42.8</b>
Azerbaijan	n/a	0.9	0.9	<b>31.5</b>	<b>0.9</b>	0.5%	57.1
Denmark	0.1	0.1	0.0	<b>1.3</b>	<b>0.0</b>	♦	5.9
Germany	0.2	0.2	0.1	<b>2.0</b>	<b>0.1</b>	♦	6.1
Italy	0.3	0.2	0.1	<b>1.9</b>	<b>0.1</b>	♦	7.0
Kazakhstan	n/a	1.3	1.3	<b>45.7</b>	<b>1.3</b>	0.7%	65.6
Netherlands	1.7	1.4	1.0	<b>36.7</b>	<b>1.0</b>	0.6%	16.3
Norway	1.4	2.1	2.1	<b>73.8</b>	<b>2.1</b>	1.1%	18.2
Poland	0.2	0.1	0.1	<b>4.2</b>	<b>0.1</b>	0.1%	28.3
Romania	0.5	0.3	0.1	<b>3.6</b>	<b>0.1</b>	0.1%	9.3
Russian Federation	n/a	29.8	32.9	<b>1162.5</b>	<b>32.9</b>	17.6%	55.6
Turkmenistan	n/a	2.3	17.5	<b>618.1</b>	<b>17.5</b>	9.3%	*
Ukraine	n/a	0.7	0.7	<b>22.7</b>	<b>0.6</b>	0.3%	34.6
United Kingdom	0.6	1.0	0.2	<b>8.7</b>	<b>0.2</b>	0.1%	6.0
Uzbekistan	n/a	1.2	1.1	<b>39.7</b>	<b>1.1</b>	0.6%	19.7
Other Europe & Eurasia	34.7	0.4	0.3	<b>10.1</b>	<b>0.3</b>	0.2%	29.2
<b>Total Europe &amp; Eurasia</b>	<b>39.6</b>	<b>42.1</b>	<b>58.4</b>	<b>2062.5</b>	<b>58.4</b>	<b>31.2%</b>	<b>56.4</b>
Bahrain	0.2	0.1	0.2	<b>7.0</b>	<b>0.2</b>	0.1%	14.0
Iran	20.7	26.7	33.6	<b>1187.3</b>	<b>33.6</b>	18.0%	*
Iraq	3.1	3.2	3.6	<b>126.7</b>	<b>3.6</b>	1.9%	*
Kuwait	1.5	1.6	1.8	<b>63.0</b>	<b>1.8</b>	1.0%	*
Oman	0.2	0.9	0.9	<b>33.5</b>	<b>0.9</b>	0.5%	32.8
Qatar	6.7	25.8	25.0	<b>885.1</b>	<b>25.1</b>	13.4%	*
Saudi Arabia	5.2	6.6	8.2	<b>290.8</b>	<b>8.2</b>	4.4%	80.1
Syria	0.2	0.3	0.3	<b>10.1</b>	<b>0.3</b>	0.2%	37.5
United Arab Emirates	5.8	6.1	6.1	<b>215.1</b>	<b>6.1</b>	3.3%	*
Yemen	0.4	0.5	0.5	<b>16.9</b>	<b>0.5</b>	0.3%	63.1
Other Middle East	0.0	0.1	0.2	<b>7.3</b>	<b>0.2</b>	0.1%	78.0
<b>Total Middle East</b>	<b>44.0</b>	<b>71.8</b>	<b>80.4</b>	<b>2842.9</b>	<b>80.5</b>	<b>43.0%</b>	*
Algeria	3.7	4.5	4.5	<b>159.1</b>	<b>4.5</b>	2.4%	55.3
Egypt	0.4	1.7	2.2	<b>72.0</b>	<b>2.0</b>	1.1%	33.5
Libya	1.3	1.5	1.5	<b>54.6</b>	<b>1.5</b>	0.8%	*
Nigeria	3.7	5.0	5.2	<b>182.0</b>	<b>5.2</b>	2.8%	*
Other Africa	0.8	1.1	1.3	<b>44.3</b>	<b>1.3</b>	0.7%	68.1
<b>Total Africa</b>	<b>9.9</b>	<b>13.8</b>	<b>14.7</b>	<b>512.0</b>	<b>14.5</b>	<b>7.7%</b>	<b>67.1</b>
Australia	1.0	2.5	3.8	<b>132.8</b>	<b>3.8</b>	2.0%	76.6
Bangladesh	0.3	0.3	0.3	<b>6.5</b>	<b>0.2</b>	0.1%	8.4
Brunei	0.4	0.3	0.3	<b>10.2</b>	<b>0.3</b>	0.2%	22.9
China	1.4	1.3	3.1	<b>109.3</b>	<b>3.1</b>	1.7%	28.9
India	0.7	0.8	1.3	<b>47.0</b>	<b>1.3</b>	0.7%	33.1
Indonesia	1.8	2.6	3.0	<b>103.3</b>	<b>2.9</b>	1.6%	41.2
Malaysia	1.7	2.5	1.2	<b>46.8</b>	<b>1.3</b>	0.7%	20.3
Myanmar	0.3	0.4	0.2	<b>7.8</b>	<b>0.2</b>	0.1%	17.4
Pakistan	0.6	0.8	0.7	<b>22.7</b>	<b>0.6</b>	0.3%	15.5
Papua New Guinea	0.4	0.4	0.4	<b>15.6</b>	<b>0.4</b>	0.2%	*
Thailand	0.2	0.4	0.3	<b>10.1</b>	<b>0.3</b>	0.2%	6.9
Vietnam	0.1	0.2	0.6	<b>21.8</b>	<b>0.6</b>	0.3%	65.6
Other Asia Pacific	0.3	0.4	0.3	<b>11.8</b>	<b>0.3</b>	0.2%	18.6
<b>Total Asia Pacific</b>	<b>9.4</b>	<b>13.0</b>	<b>15.5</b>	<b>545.6</b>	<b>15.5</b>	<b>8.2%</b>	<b>31.5</b>
<b>Total World</b>	<b>117.6</b>	<b>154.9</b>	<b>187.8</b>	<b>6614.1</b>	<b>187.3</b>	<b>100.0%</b>	<b>55.7</b>
of which: OECD	15.2	15.4	19.0	<b>658.4</b>	<b>18.6</b>	10.0%	15.4
Non-OECD	102.4	139.5	168.8	<b>5955.7</b>	<b>168.6</b>	90.0%	78.4
European Union	3.8	3.4	1.8	<b>61.7</b>	<b>1.7</b>	0.9%	11.7
Former Soviet Union	34.3	36.4	54.5	<b>1924.1</b>	<b>54.5</b>	29.1%	71.0

\* More than 100 years.

♦ Less than 0.05%.

n/a not available.

**Notes:** Proved reserves of natural gas – Generally taken to be those quantities that geological and engineering information indicates with reasonable certainty can be recovered in the future from known reservoirs under existing economic and operating conditions.

**Reserves-to-production (R/P) ratio** – If the reserves remaining at the end of any year are divided by the production in that year, the result is the length of time that those remaining reserves would last if production were to continue at that rate.

**Source of data** – The estimates in this table have been compiled using a combination of primary official sources and third-party data from Cedigaz and the OPEC Secretariat.

## ANEXO D: CONSUMO DE GÁS NATURAL NO MUNDO

### Consumption

Billion cubic metres	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Change 2012 over 2011	2012 share of total
	2012	2011										
US	652.1	630.8	634.4	623.4	614.4	654.2	659.1	648.7	682.1	690.5	<b>722.1</b>	4.1% 21.9%
Canada	90.2	97.7	95.1	97.8	96.9	96.2	96.1	94.9	95.0	100.9	<b>100.7</b>	-0.4% 3.0%
Mexico	46.5	51.4	54.3	61.0	66.6	63.5	66.3	72.4	72.5	76.6	<b>83.7</b>	8.9% 2.5%
<b>Total North America</b>	<b>788.7</b>	<b>779.9</b>	<b>783.8</b>	<b>782.2</b>	<b>778.0</b>	<b>813.9</b>	<b>821.5</b>	<b>816.1</b>	<b>849.6</b>	<b>868.0</b>	<b>906.5</b>	<b>4.0%</b> <b>27.5%</b>
Argentina	30.3	34.6	37.9	40.4	41.8	43.9	44.4	43.2	43.3	45.7	<b>47.3</b>	3.3% 1.4%
Brazil	14.1	15.8	18.8	19.6	20.6	21.2	24.9	20.1	26.8	26.7	<b>29.2</b>	8.9% 0.9%
Chile	7.4	8.0	8.7	8.4	7.8	4.6	2.7	3.1	5.3	5.4	<b>6.0</b>	11.7% 0.2%
Colombia	6.1	6.0	6.3	6.7	7.0	7.4	7.6	8.7	9.1	8.8	<b>9.8</b>	10.9% 0.3%
Ecuador	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	<b>0.7</b>	30.8%
Peru	0.4	0.5	0.9	1.5	1.8	2.7	3.4	3.5	5.4	6.1	<b>7.5</b>	21.7% 0.2%
Trinidad & Tobago	12.0	13.4	14.8	16.3	21.2	21.9	21.3	22.2	23.2	23.1	<b>21.7</b>	-6.2% 0.7%
Venezuela	28.4	25.2	28.4	27.4	31.5	29.6	31.5	30.5	33.2	33.4	<b>34.9</b>	4.4% 1.1%
Other S. & Cent. America	2.4	3.1	3.0	3.3	3.9	4.5	4.7	5.0	5.4	6.7	<b>7.9</b>	18.4% 0.2%
<b>Total S. &amp; Cent. America</b>	<b>101.3</b>	<b>106.8</b>	<b>119.0</b>	<b>123.9</b>	<b>136.0</b>	<b>136.3</b>	<b>140.9</b>	<b>136.8</b>	<b>152.2</b>	<b>156.4</b>	<b>165.1</b>	<b>5.3%</b> <b>5.0%</b>
Austria	8.5	9.4	9.5	10.0	9.4	8.9	9.5	9.3	10.1	9.5	<b>9.0</b>	-4.8% 0.3%
Azerbaijan	7.5	7.7	8.3	8.6	9.1	8.0	9.2	7.8	7.4	8.1	<b>8.5</b>	3.7% 0.3%
Belarus	16.1	15.8	17.9	18.4	19.0	18.8	19.2	16.1	19.7	18.3	<b>18.6</b>	1.1% 0.6%
Belgium	14.9	16.0	16.2	16.4	16.7	16.6	16.5	16.8	18.8	16.6	<b>16.9</b>	1.7% 0.5%
Bulgaria	2.7	2.8	2.8	3.1	3.2	3.2	3.2	2.3	2.6	2.9	<b>2.7</b>	-7.1% 0.1%
Czech Republic	8.7	8.7	9.1	9.5	9.3	8.7	8.7	8.2	9.3	8.4	<b>8.2</b>	-2.9% 0.2%
Denmark	5.1	5.2	5.2	5.0	5.1	4.6	4.6	4.4	5.0	4.2	<b>3.9</b>	-6.9% 0.1%
Finland	4.0	4.5	4.3	4.0	4.2	3.9	4.0	3.6	3.9	3.4	<b>3.1</b>	-10.9% 0.1%
France	40.7	43.2	45.1	45.4	44.0	42.6	44.3	42.6	47.4	40.9	<b>42.5</b>	3.7% 1.3%
Germany	82.6	85.5	85.9	86.2	87.2	82.9	81.2	78.0	83.3	74.5	<b>75.2</b>	0.7% 2.3%
Greece	2.1	2.4	2.7	2.7	3.1	3.8	4.0	3.4	3.7	4.5	<b>4.2</b>	-7.9% 0.1%
Hungary	11.8	13.2	13.0	13.4	12.7	11.9	11.7	10.2	10.9	10.4	<b>9.7</b>	-6.5% 0.3%
Republic of Ireland	4.1	4.1	4.1	3.9	4.5	4.8	5.0	4.8	5.2	4.6	<b>4.5</b>	-3.2% 0.1%
Italy	64.6	71.2	73.9	79.1	77.4	77.8	77.8	71.5	76.1	71.3	<b>68.7</b>	-4.0% 2.1%
Kazakhstan	8.7	9.6	7.5	9.3	9.9	8.4	8.1	7.8	8.2	9.2	<b>9.5</b>	2.6% 0.3%
Lithuania	2.9	3.1	3.1	3.3	3.2	3.6	3.2	2.7	3.1	3.4	<b>3.3</b>	-2.6% 0.1%
Netherlands	39.8	40.0	40.9	39.3	38.1	37.0	38.6	38.9	43.6	38.1	<b>36.4</b>	-4.5% 1.1%
Norway	4.0	4.3	4.6	4.5	4.4	4.3	4.3	4.1	4.1	4.3	<b>4.3</b>	-1.0% 0.1%
Poland	11.2	12.5	13.2	13.6	13.7	13.8	14.9	14.4	15.5	15.7	<b>16.6</b>	5.1% 0.5%
Portugal	3.1	3.0	3.8	4.2	4.1	4.3	4.7	4.7	5.1	5.2	<b>4.7</b>	-9.8% 0.1%
Romania	17.2	18.3	17.5	17.6	18.1	16.1	15.9	13.3	13.6	13.9	<b>13.5</b>	-3.5% 0.4%
Russian Federation	370.7	379.5	389.3	394.0	415.0	422.0	416.0	389.6	414.1	424.6	<b>416.2</b>	-2.2% 12.5%
Slovakia	6.5	6.3	6.1	6.6	6.0	5.7	5.7	4.9	5.6	5.2	<b>6.0</b>	15.8% 0.2%
Spain	20.8	23.6	27.4	32.4	33.7	35.1	38.6	34.6	34.6	32.2	<b>31.4</b>	-2.8% 0.9%
Sweden	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	1.1	1.6	1.3	<b>1.1</b>	-12.8%
Switzerland	2.8	2.9	3.0	3.1	3.0	2.9	3.1	3.0	3.3	3.0	<b>3.2</b>	7.6% 0.1%
Turkey	17.4	20.9	22.1	26.9	30.5	36.1	37.5	35.7	39.0	45.7	<b>46.3</b>	0.9% 1.4%
Turkmenistan	12.9	14.2	15.0	16.1	18.4	21.3	20.5	19.9	22.6	25.0	<b>23.3</b>	-7.1% 0.7%
Ukraine	67.7	69.0	68.5	69.0	67.0	63.2	60.0	47.0	52.1	53.7	<b>49.6</b>	-7.8% 1.5%
United Kingdom	95.1	95.4	97.4	95.0	90.1	91.1	99.3	91.2	99.2	82.8	<b>78.3</b>	-5.7% 2.4%
Uzbekistan	50.9	45.8	43.4	42.7	41.9	45.9	48.7	43.5	45.5	49.1	<b>47.9</b>	-2.8% 1.4%
Other Europe & Eurasia	14.8	14.8	16.5	16.7	17.3	17.8	17.0	14.0	15.1	15.7	<b>16.1</b>	1.9% 0.5%
<b>Total Europe &amp; Eurasia</b>	<b>1020.6</b>	<b>1053.9</b>	<b>1078.0</b>	<b>1100.5</b>	<b>1120.2</b>	<b>1125.9</b>	<b>1136.3</b>	<b>1049.5</b>	<b>1129.6</b>	<b>1105.8</b>	<b>1083.3</b>	<b>-2.3%</b> <b>32.6%</b>
Iran	79.2	82.9	86.5	105.0	108.7	113.0	119.3	131.4	144.6	153.5	<b>156.1</b>	1.4% 4.7%
Israel	†	†	1.2	1.7	2.3	2.8	4.1	4.5	5.3	5.0	<b>2.6</b>	-48.1% 0.1%
Kuwait	9.5	11.0	11.9	12.2	12.5	12.1	12.8	12.4	14.5	17.0	<b>17.2</b>	0.9% 0.5%
Qatar	11.1	12.2	15.0	18.7	19.6	19.3	19.3	20.0	19.9	21.9	<b>26.2</b>	18.9% 0.8%
Saudi Arabia	56.7	60.1	65.7	71.2	73.5	74.4	80.4	78.5	87.7	92.3	<b>102.8</b>	11.1% 3.1%
United Arab Emirates	36.4	37.9	40.2	42.1	43.4	49.2	59.5	59.1	60.8	62.5	<b>62.9</b>	0.4% 1.9%
Other Middle East	24.6	25.0	26.5	28.4	31.5	32.4	36.5	38.9	44.0	42.6	<b>44.0</b>	3.1% 1.3%
<b>Total Middle East</b>	<b>217.6</b>	<b>229.0</b>	<b>247.1</b>	<b>279.2</b>	<b>291.5</b>	<b>303.2</b>	<b>331.9</b>	<b>344.6</b>	<b>376.8</b>	<b>394.7</b>	<b>411.8</b>	<b>4.0%</b> <b>12.4%</b>
Algeria	20.2	21.4	22.0	23.2	23.7	24.3	25.4	27.2	26.3	27.8	<b>30.9</b>	10.8% 0.9%
Egypt	26.5	29.7	31.7	31.6	36.5	38.4	40.8	42.5	45.1	49.6	<b>52.6</b>	5.7% 1.6%
South Africa	1.0	1.0	2.1	3.1	3.5	3.5	3.7	3.4	3.9	3.9	<b>3.8</b>	-4.6% 0.1%
Other Africa	21.8	22.7	25.4	27.6	25.7	29.3	30.9	26.9	32.4	32.6	<b>35.5</b>	8.8% 1.1%
<b>Total Africa</b>	<b>69.6</b>	<b>74.8</b>	<b>81.2</b>	<b>85.6</b>	<b>89.4</b>	<b>95.4</b>	<b>100.8</b>	<b>100.1</b>	<b>107.8</b>	<b>114.0</b>	<b>122.8</b>	<b>7.5%</b> <b>3.7%</b>
Australia	22.4	22.4	22.8	22.2	24.4	26.6	25.5	25.2	25.7	25.6	<b>25.4</b>	-0.9% 0.8%
Bangladesh	11.4	12.3	12.8	13.8	15.1	15.9	17.0	18.5	19.9	20.1	<b>21.8</b>	8.2% 0.7%
China	29.2	33.9	39.7	46.8	56.1	70.5	81.3	89.5	106.9	130.5	<b>143.8</b>	9.9% 4.3%
China Hong Kong SAR	2.9	1.8	2.7	2.7	2.9	2.7	3.2	3.1	3.8	3.1	<b>2.8</b>	-8.2% 0.1%
India	27.6	29.5	31.9	35.7	37.3	40.1	41.3	51.0	61.9	61.1	<b>54.6</b>	-11.0% 1.6%
Indonesia	32.9	35.0	32.2	33.2	33.2	31.3	33.3	37.4	40.3	37.3	<b>35.8</b>	-4.2% 1.1%
Japan	72.7	79.8	77.0	78.6	83.7	90.2	93.7	87.4	94.5	105.5	<b>116.7</b>	10.3% 3.5%
Malaysia	26.2	27.3	24.7	31.4	33.7	33.4	33.8	33.0	34.5	32.0	<b>33.3</b>	3.9% 1.0%
New Zealand	5.6	4.3	3.9	3.6	3.7	4.1	3.8	4.0	4.3	3.9	<b>4.2</b>	8.8% 0.1%
Pakistan	24.6	30.4	34.5	35.5	36.1	36.8	37.5	38.4	39.6	39.2	<b>41.5</b>	5.6% 1.2%
Philippines	1.8	2.7	2.5	3.3	2.7	3.3	3.4	3.5	3.3	3.6	<b>3.4</b>	-4.3% 0.1%
Singapore	3.6	4.0	5.0	6.8	7.1	8.6	8.2	8.1	8.4	8.8	<b>8.3</b>	-5.5% 0.3%
South Korea	23.1	24.2	28.4	30.4	32.0	34.7	35.7	33.9	43.0	46.3	<b>50.0</b>	7.8% 1.5%
Taiwan	7.4	7.7	9.3	9.4	10.1	10.7	11.6	11.3	14.1	15.5	<b>16.3</b>	4.7% 0.5%
Thailand	26.9	28.6	29.9	32.5	33.3	35.4	37.4	39.2	45.1	46.6	<b>51.2</b>	9.6% 1.5%
Vietnam	2.4	2.4	4.2	6.4	7.0	7.1	7.5	8.0	9.4	8.5	<b>9.4</b>	10.6% 0.3%
Other Asia Pacific	3.6	4.2	4.5	5.2	5.5	6.0	5.7	5.2	5.7	6.2	<b>6.3</b>	1.1% 0.2%
<b>Total Asia Pacific</b>	<b>324.3</b>	<b>350.5</b>	<b>365.8</b>	<b>397.4</b>	<b>424.0</b>	<b>457.3</b>	<b>480.0</b>	<b>496.7</b>	<b>560.4</b>	<b>593.6</b>	<b>625.0</b>	<b>5.0%</b> <b>18.8%</b>
<b>Total World</b>	<b>2522.1</b>	<b>2595.0</b>	<b>2674.9</b>	<b>2768.9</b>	<b>2839.0</b>	<b>2932.1</b>	<b>3011.5</b>	<b>2943.9</b>	<b>3176.3</b>	<b>3232.4</b>	<b>3314.4</b>	<b>2.2%</b> <b>100.0%</b>
of which: OECD	1371.4	1394.9	1417.1	1431.9	1433.3	1477.7	1505.4	1462.6	1556.2	1544.0	<b>1588.3</b>	2.5% 48.0%
Non-OECD	1150.7	1200.1	1257.8	1337.0	1405.7	1454.4						

# ANEXO E: RESERVAS DE CARVÃO MINERAL NO MUNDO



## Proved reserves at end 2012

Million tonnes	Anthracite and bituminous	Sub- bituminous and lignite	Total	Share of total	R/P ratio
US	108501	128794	<b>237295</b>	27.6%	257
Canada	3474	3108	<b>6582</b>	0.8%	98
Mexico	860	351	<b>1211</b>	0.1%	88
Total North America	112835	132253	<b>245088</b>	28.5%	244
Brazil	—	4559	<b>4559</b>	0.5%	*
Colombia	6366	380	<b>6746</b>	0.8%	76
Venezuela	479	—	<b>479</b>	0.1%	292
Other S. & Cent. America	45	679	<b>724</b>	0.1%	*
Total S. & Cent. America	6890	5618	<b>12508</b>	1.5%	129
Bulgaria	2	2364	<b>2366</b>	0.3%	72
Czech Republic	192	908	<b>1100</b>	0.1%	20
Germany	99	40600	<b>40699</b>	4.7%	207
Greece	—	3020	<b>3020</b>	0.4%	50
Hungary	13	1647	<b>1660</b>	0.2%	179
Kazakhstan	21500	12100	<b>33600</b>	3.9%	289
Poland	4338	1371	<b>5709</b>	0.7%	40
Romania	10	281	<b>291</b>	♦	9
Russian Federation	49088	107922	<b>157010</b>	18.2%	443
Spain	200	330	<b>530</b>	0.1%	85
Turkey	529	1814	<b>2343</b>	0.3%	33
Ukraine	15351	18522	<b>33873</b>	3.9%	384
United Kingdom	228	—	<b>228</b>	♦	14
Other Europe & Eurasia	1440	20735	<b>22175</b>	2.6%	234
Total Europe & Eurasia	92990	211614	<b>304604</b>	35.4%	238
South Africa	30156	—	<b>30156</b>	3.5%	116
Zimbabwe	502	—	<b>502</b>	0.1%	196
Other Africa	860	174	<b>1034</b>	0.1%	*
Middle East	1203	—	<b>1203</b>	0.1%	*
Total Middle East & Africa	32721	174	<b>32895</b>	3.8%	124
Australia	37100	39300	<b>76400</b>	8.9%	177
China	62200	52300	<b>114500</b>	13.3%	31
India	56100	4500	<b>60600</b>	7.0%	100
Indonesia	1520	4009	<b>5529</b>	0.6%	14
Japan	340	10	<b>350</b>	♦	265
New Zealand	33	538	<b>571</b>	0.1%	115
North Korea	300	300	<b>600</b>	0.1%	19
Pakistan	—	2070	<b>2070</b>	0.2%	*
South Korea	—	126	<b>126</b>	♦	60
Thailand	—	1239	<b>1239</b>	0.1%	68
Vietnam	150	—	<b>150</b>	♦	4
Other Asia Pacific	1583	2125	<b>3708</b>	0.4%	88
Total Asia Pacific	159326	106517	<b>265843</b>	30.9%	51
<b>Total World</b>	<b>404762</b>	<b>456176</b>	<b>860938</b>	<b>100.0%</b>	<b>109</b>
of which:					
OECD	155926	222603	<b>378529</b>	44.0%	186
Non-OECD	248836	233573	<b>482409</b>	56.0%	83
European Union	5101	51047	<b>56148</b>	6.5%	97
Former Soviet Union	86725	141309	<b>228034</b>	26.5%	390

\*More than 500 years.

♦Less than 0.05%.

**Notes:** Proved reserves of coal – Generally taken to be those quantities that geological and engineering information indicates with reasonable certainty can be recovered in the future from known deposits under existing economic and operating conditions.

Reserves-to-production (R/P) ratio – If the reserves remaining at the end of the year are divided by the production in that year, the result is the length of time that those remaining reserves would last if production were to continue at that rate.

Source of reserves data: Survey of Energy Resources 2010, World Energy Council.

## Prices

US dollars per tonne	Northwest Europe marker price†	US Central Appalachian coal spot price index‡	Japan coking coal import cif price	Japan steam coal import cif price	Asian marker price†
1992	38.53	28.53	57.82	48.45	—
1993	33.68	29.85	55.26	45.71	—
1994	37.18	31.72	51.77	43.66	—
1995	44.50	27.01	54.47	47.58	—
1996	41.25	29.86	56.68	49.54	—
1997	38.92	29.76	55.51	45.53	—
1998	32.00	31.00	50.76	40.51	29.48
1999	28.79	31.29	42.83	35.74	27.82
2000	35.99	29.90	39.69	34.58	31.76
2001	39.03	50.15	41.33	37.96	36.89
2002	31.65	33.20	42.01	36.90	30.41
2003	43.60	38.52	41.57	34.74	36.53
2004	72.08	64.90	60.96	51.34	72.42
2005	60.54	70.12	89.33	62.91	61.84
2006	64.11	62.96	93.46	63.04	56.47
2007	88.79	51.16	88.24	69.86	84.57
2008	147.67	118.79	179.03	122.81	148.06
2009	70.66	68.08	167.82	110.11	78.81
2010	92.50	71.63	158.95	105.19	105.43
2011	121.52	87.38	229.12	136.21	125.74
2012	92.50	72.06	191.46	133.61	105.50

†Source: IHS McCloskey Northwest Europe prices for 1992-2000 are the average of the monthly marker, 2001-2012 the average of weekly prices. The Asian prices are the average of the monthly marker.

‡Source: Platts. Prices are for Central Appalachian 12,500Btu, 1.2 SO<sub>2</sub> coal, fob. Prices for 1992-2000 are by coal price publication date, 2001-2012 by coal price assessment date.

**Note:** cif = cost+insurance+freight (average prices); fob = free on board.

## ANEXO F: CONSUMO DE CARVÃO MINERAL NO MUNDO

### Consumption\*

Million tonnes oil equivalent	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Change 2012 over 2011		2012 share of total
											2012	2011	
US	552.0	562.5	566.1	574.2	565.7	573.3	564.1	496.2	523.9	495.5	<b>437.8</b>	-11.9%	11.7%
Canada	31.8	31.7	29.8	30.9	29.9	31.3	29.6	24.4	25.0	22.3	<b>21.9</b>	-2.2%	0.6%
Mexico	6.8	7.9	6.6	8.2	8.2	6.7	7.7	8.5	8.9	8.9	<b>8.8</b>	-0.7%	0.2%
Total North America	590.5	602.1	602.6	613.3	603.7	612.7	600.4	528.4	557.5	526.7	<b>468.5</b>	-11.3%	12.6%
Argentina	0.5	0.7	0.8	0.9	0.3	0.4	1.1	1.2	1.0	0.9	<b>1.0</b>	4.4%	♦
Brazil	10.8	11.1	12.0	11.9	11.8	12.6	12.7	10.8	13.3	14.1	<b>13.5</b>	-4.4%	0.4%
Chile	2.4	2.3	2.6	2.6	3.2	3.8	4.1	3.7	4.2	5.3	<b>6.7</b>	25.1%	0.2%
Colombia	2.2	2.4	2.0	2.7	2.4	2.4	2.8	3.5	4.0	4.3	<b>4.0</b>	-7.3%	0.1%
Ecuador	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Peru	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	<b>0.8</b>	6.0%	♦
Trinidad & Tobago	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Venezuela	†	†	—	†	†	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	<b>0.2</b>	5.3%	♦
Other S. & Cent. America	0.9	2.0	1.8	1.6	1.8	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0	<b>2.0</b>	2.5%	0.1%
Total S. & Cent. America	17.5	19.2	20.0	20.5	20.2	22.0	23.5	22.0	25.4	27.6	<b>28.2</b>	2.0%	0.8%
Austria	3.0	3.3	3.3	3.1	3.1	3.0	2.8	2.3	2.5	2.6	<b>2.0</b>	-23.8%	0.1%
Azerbaijan	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	†	3.8%	♦
Belarus	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	†	†	†	†	†	†	1.2%	♦
Belgium	6.0	5.8	5.6	5.0	4.8	4.4	3.9	3.1	3.3	3.3	<b>3.0</b>	-9.5%	0.1%
Bulgaria	6.5	7.2	7.1	6.8	6.9	7.7	7.5	6.4	6.8	8.1	<b>7.0</b>	-13.4%	0.2%
Czech Republic	20.6	20.8	20.9	20.4	21.1	21.2	19.9	17.4	18.2	18.0	<b>16.6</b>	-7.8%	0.4%
Denmark	4.2	5.7	4.6	3.7	5.6	4.7	4.1	4.0	3.8	3.2	<b>2.5</b>	-23.4%	0.1%
Finland	4.1	5.5	5.0	2.9	4.7	4.4	3.0	3.3	4.3	3.4	<b>2.9</b>	-15.1%	0.1%
France	12.7	13.6	13.5	13.8	12.5	13.4	12.7	10.5	11.3	9.5	<b>11.4</b>	20.1%	0.3%
Germany	84.6	87.2	85.4	82.1	83.5	85.7	80.1	71.7	76.6	76.0	<b>79.2</b>	3.9%	2.1%
Greece	9.8	9.4	9.0	8.8	8.1	8.5	8.1	8.1	7.4	7.5	<b>7.5</b>	-0.5%	0.2%
Hungary	3.4	3.6	3.3	3.0	3.2	3.4	3.3	2.7	3.0	3.0	<b>3.0</b>	-1.9%	0.1%
Republic of Ireland	1.8	1.7	1.8	1.9	1.6	1.6	1.4	1.2	1.3	1.5	<b>1.6</b>	16.9%	♦
Italy	13.3	14.0	16.0	16.4	16.6	16.4	12.9	14.3	16.1	<b>16.2</b>	0.3%	0.4%	
Kazakhstan	22.8	25.2	26.5	27.2	29.8	31.7	33.4	32.6	31.6	34.0	<b>35.0</b>	2.6%	0.9%
Lithuania	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	<b>0.2</b>	-5.5%	♦
Netherlands	8.9	9.1	9.1	8.7	8.5	9.0	8.5	7.9	7.9	7.8	<b>8.5</b>	8.2%	0.2%
Norway	0.8	0.7	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7	<b>0.7</b>	-0.5%	♦
Poland	56.7	57.7	57.3	55.7	58.0	57.9	56.0	51.9	56.4	56.1	<b>54.0</b>	-4.0%	1.4%
Portugal	4.1	3.8	3.7	3.8	3.8	3.3	2.5	2.9	1.7	2.2	<b>2.9</b>	31.4%	0.1%
Romania	7.6	7.8	7.4	7.6	8.5	7.4	7.4	6.6	6.1	7.3	<b>6.7</b>	-9.5%	0.2%
Russian Federation	103.0	104.0	99.5	94.2	96.7	93.4	100.4	91.9	90.2	93.7	<b>93.9</b>	♦	2.5%
Slovakia	4.0	4.2	4.1	3.9	3.8	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	<b>3.2</b>	-3.5%	0.1%
Spain	22.7	21.0	22.0	22.5	19.8	21.9	15.5	11.8	9.8	15.5	<b>19.3</b>	24.2%	0.5%
Sweden	2.2	2.2	2.3	2.2	2.3	2.2	2.2	2.0	1.6	2.1	<b>1.5</b>	-25.7%	♦
Switzerland	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<b>0.1</b>	6.5%	♦
Turkey	19.3	20.7	21.8	21.8	25.9	28.9	29.2	30.4	30.9	33.1	<b>31.3</b>	-5.6%	0.8%
Turkmenistan	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ukraine	38.9	40.3	39.1	37.4	39.7	39.7	40.2	35.1	37.9	41.5	<b>44.6</b>	6.9%	1.2%
United Kingdom	35.7	38.1	36.6	37.4	40.9	38.4	35.6	29.9	31.0	31.5	<b>39.1</b>	24.0%	1.0%
Uzbekistan	1.0	0.7	1.2	1.2	1.7	1.4	1.4	1.1	1.1	1.2	<b>1.2</b>	-0.3%	♦
Other Europe & Eurasia	21.9	23.1	23.7	22.1	19.2	20.5	21.0	19.7	21.1	22.5	<b>22.2</b>	-1.7%	0.6%
Total Europe & Eurasia	520.1	536.9	531.2	514.5	531.3	535.1	521.0	471.4	484.8	504.6	<b>516.9</b>	2.2%	13.9%
Iran	1.1	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	0.9	1.0	0.9	0.9	<b>0.9</b>	-2.1%	♦
Israel	7.6	7.9	8.0	7.9	7.8	8.0	7.9	7.7	7.7	7.9	<b>8.8</b>	10.8%	0.2%
Kuwait	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Qatar	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Saudi Arabia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
United Arab Emirates	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Other Middle East	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	<b>0.2</b>	-2.6%	♦
Total Middle East	8.9	9.1	9.2	9.3	9.2	9.5	9.0	8.9	8.8	9.0	<b>9.9</b>	9.2%	0.3%
Algeria	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.2	—	—	—	—	—
Egypt	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	<b>1.1</b>	1.9%	♦
South Africa	76.2	81.4	85.2	84.4	85.4	90.1	96.9	92.9	90.0	89.1	<b>89.8</b>	0.5%	2.4%
Other Africa	7.1	6.3	7.1	7.3	6.8	6.2	6.4	5.4	6.4	6.5	<b>6.6</b>	1.1%	0.2%
Total Africa	85.1	89.5	94.2	93.5	94.0	98.0	105.0	99.7	97.4	96.7	<b>97.5</b>	0.6%	2.6%
Australia	51.1	49.4	50.8	53.5	56.0	54.1	54.6	54.5	51.6	51.7	<b>49.3</b>	-4.9%	1.3%
Bangladesh	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	<b>0.7</b>	5.8%	♦
China	728.4	868.2	1019.9	1128.3	1250.4	1320.3	1369.2	1470.7	1609.7	1760.8	<b>1873.3</b>	6.1%	50.2%
China Hong Kong SAR	5.4	6.6	6.6	6.7	7.0	7.5	7.0	7.6	6.3	7.7	<b>7.6</b>	-1.7%	0.2%
India	151.8	156.8	172.3	184.4	195.4	210.3	230.4	251.5	262.7	270.6	<b>298.3</b>	9.9%	8.0%
Indonesia	18.0	24.2	22.2	25.4	30.1	37.8	30.1	34.6	41.2	48.9	<b>50.4</b>	2.8%	1.4%
Japan	106.6	112.2	120.8	121.3	119.1	125.3	128.7	108.8	123.7	117.7	<b>124.4</b>	5.4%	3.3%
Malaysia	3.6	5.3	6.6	6.9	7.3	8.8	9.8	10.6	14.8	14.8	<b>14.3</b>	-3.2%	0.4%
New Zealand	1.4	2.0	2.1	2.3	2.2	1.7	2.1	1.6	1.4	1.4	<b>1.7</b>	21.3%	♦
Pakistan	2.4	2.9	3.8	4.1	4.2	5.1	5.3	4.7	4.5	4.3	<b>4.3</b>	-1.8%	0.1%
Philippines	4.7	4.7	5.0	5.7	5.5	5.9	7.0	6.7	7.7	8.3	<b>9.4</b>	13.2%	0.3%
Singapore	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
South Korea	49.1	51.1	53.1	54.8	54.8	59.7	66.1	68.6	75.9	83.6	<b>81.8</b>	-2.4%	2.2%
Taiwan	32.7	35.1	36.6	38.1	39.6	41.8	40.2	38.7	40.3	41.5	<b>41.1</b>	-1.2%	1.1%
Thailand	9.2	9.4	10.4	11.2	12.4	14.1	15.3	14.5	15.3	16.0	<b>16.0</b>	-0.3%	0.4%
Vietnam	5.3	5.5	8.2	8.0	9.5	10.1	10.0	14.0	13.9	15.0	<b>14.9</b>	-0.8%	0.4%
Other Asia Pacific	19.0	19.5	19.6	21.0	22.6	19.3	21.2	20.7	20.6	21.2	<b>21.6</b>	1.6%	0.6%
Total Asia Pacific	1188.9	1353.2	1538.1	1672.1	1816.8	1922.4	1997.4	2108.4	2290.2	2464.2	<b>2609.1</b>	5.6%	69.9%
<b>Total World</b>	<b>2411.0</b>	<b>2610.0</b>	<b>2795.2</b>	<b>2923.2</b>	<b>3075.1</b>	<b>3199.8</b>	<b>3256.3</b>	<b>3238.7</b>	<b>3464.0</b>	<b>3628.8</b>	<b>3730.1</b>	<b>2.5%</b>	<b>100.0%</b>
of which: OECD	1131.1	1160.2	1171.1	1178.1	1180.2	1204.0	1178.4	1055.7	1117.2	1096.1	<b>1053.1</b>	-4.2%	28.2%
Non-OECD	1279.9	1449.8	1624.1	1745.1	1894.9	1995.8	2077.9	2183.0	2346.8	2532.7	<b>2677.0</b>	5.4%	71.8%
European Union	316.6	326.9	323.1	314.4	322.2	324.1	299.7	264.4	276.7	283.4	<b>293.7</b>	3.4%	7.9%
Former Soviet Union	169.5	174.5	170.9	164.2	171.9	170.9	180.0	164.8	166.1	175.9	<b>180.2</b>	2.2%	4.8%

\*Commercial solid fuels only, i.e. bituminous coal and anthracite (hard coal), and lignite and brown (sub-bituminous) coal.

# ANEXO G: CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NUCLEARES NO MUNDO

## Nuclear energy

### Consumption\*

Million tonnes oil equivalent	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Change 2012 over 2011	2012 share of total
US	185.8	181.9	187.8	186.3	187.5	192.1	192.0	190.3	192.2	188.2	<b>183.2</b>	-2.9%	32.7%
Canada	17.0	16.8	20.3	20.7	22.0	21.0	21.1	20.3	20.3	21.4	<b>21.7</b>	0.8%	3.9%
Mexico	2.2	2.4	2.1	2.4	2.5	2.4	2.2	2.4	1.3	2.3	<b>2.0</b>	-13.3%	0.4%
<b>Total North America</b>	<b>205.0</b>	<b>201.1</b>	<b>210.2</b>	<b>209.4</b>	<b>212.0</b>	<b>215.4</b>	<b>215.4</b>	<b>213.0</b>	<b>213.8</b>	<b>211.9</b>	<b>206.9</b>	<b>-2.6%</b>	<b>36.9%</b>
Argentina	1.3	1.7	1.8	1.6	1.7	1.6	1.6	1.8	1.6	1.3	<b>1.4</b>	5.2%	0.3%
Brazil	3.1	3.0	2.6	2.2	3.1	2.8	3.2	2.9	3.3	3.5	<b>3.6</b>	2.2%	0.6%
Chile	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Colombia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ecuador	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Peru	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Trinidad & Tobago	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Venezuela	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Other S. & Cent. America	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Total S. &amp; Cent. America</b>	<b>4.4</b>	<b>4.7</b>	<b>4.4</b>	<b>3.8</b>	<b>4.8</b>	<b>4.4</b>	<b>4.8</b>	<b>4.7</b>	<b>4.9</b>	<b>4.9</b>	<b>5.0</b>	<b>3.0%</b>	<b>0.9%</b>
Austria	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Azerbaijan	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Belarus	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Belgium	10.7	10.7	10.7	10.8	10.6	10.9	10.3	10.7	10.8	10.9	<b>9.1</b>	-16.7%	1.6%
Bulgaria	4.6	4.5	4.4	4.2	4.4	3.3	3.6	3.5	3.5	3.7	<b>3.6</b>	-3.6%	0.6%
Czech Republic	4.2	5.9	6.0	5.6	5.9	5.9	6.0	6.2	6.3	6.4	<b>6.9</b>	6.9%	1.2%
Denmark	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Finland	5.1	5.2	5.2	5.3	5.2	5.4	5.3	5.4	5.2	5.3	<b>5.3</b>	-1.2%	0.9%
France	98.8	99.8	101.7	102.4	102.1	99.7	99.6	92.8	96.9	100.0	<b>96.3</b>	-4.0%	17.2%
Germany	37.3	37.4	37.8	36.9	37.9	31.8	33.7	30.5	31.8	24.4	<b>22.5</b>	-8.1%	4.0%
Greece	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Hungary	3.2	2.5	2.7	3.1	3.0	3.3	3.4	3.5	3.6	3.5	<b>3.6</b>	0.4%	0.6%
Republic of Ireland	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Italy	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kazakhstan	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lithuania	3.2	3.5	3.4	2.3	2.0	2.2	2.2	2.5	—	—	—	—	—
Netherlands	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	<b>0.9</b>	-4.8%	0.2%
Norway	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Poland	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Portugal	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Romania	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3	1.7	2.5	2.7	2.6	2.7	<b>2.6</b>	-2.7%	0.5%
Russian Federation	32.1	33.6	32.7	33.4	35.4	36.2	36.9	37.0	38.6	39.1	<b>40.3</b>	2.7%	7.2%
Slovakia	4.1	4.0	3.9	4.0	4.1	3.5	3.8	3.2	3.3	3.5	<b>3.5</b>	0.3%	0.6%
Spain	14.3	14.0	14.4	13.0	13.6	12.5	13.3	11.9	14.0	13.1	<b>13.9</b>	6.0%	2.5%
Sweden	15.4	15.3	17.3	16.4	15.2	15.2	14.5	11.9	13.2	13.8	<b>14.6</b>	5.5%	2.6%
Switzerland	6.1	6.2	6.1	5.2	6.3	6.3	6.2	6.2	6.0	6.1	<b>5.8</b>	-5.0%	1.0%
Turkey	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Turkmenistan	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ukraine	17.7	18.4	19.7	20.1	20.4	20.9	20.3	18.8	20.2	20.4	<b>20.4</b>	-0.4%	3.6%
United Kingdom	19.9	20.1	18.1	18.5	17.1	14.3	11.9	15.6	14.1	15.6	<b>15.9</b>	1.8%	2.8%
Uzbekistan	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Other Europe & Eurasia	1.8	1.6	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	1.8	2.0	<b>1.8</b>	-10.8%	0.3%
<b>Total Europe &amp; Eurasia</b>	<b>280.5</b>	<b>284.8</b>	<b>287.9</b>	<b>285.4</b>	<b>287.0</b>	<b>275.9</b>	<b>276.5</b>	<b>265.1</b>	<b>272.9</b>	<b>271.5</b>	<b>266.9</b>	<b>-2.0%</b>	<b>47.6%</b>
Iran	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	† <b>0.3</b>	1252.0%	0.1%
Israel	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kuwait	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Qatar	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Saudi Arabia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
United Arab Emirates	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Other Middle East	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Total Middle East</b>	<b>—</b>	<b>† <b>0.3</b></b>	<b>1252.0%</b>	<b>0.1%</b>									
Algeria	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Egypt	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
South Africa	2.9	3.0	3.4	2.9	2.7	2.8	2.7	3.1	3.1	2.9	<b>3.2</b>	11.3%	0.6%
Other Africa	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Total Africa</b>	<b>2.9</b>	<b>3.0</b>	<b>3.4</b>	<b>2.9</b>	<b>2.7</b>	<b>2.8</b>	<b>2.7</b>	<b>3.1</b>	<b>3.1</b>	<b>2.9</b>	<b>3.2</b>	<b>11.3%</b>	<b>0.6%</b>
Australia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bangladesh	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
China	5.7	9.8	11.4	12.0	12.4	14.1	15.5	15.9	16.7	19.5	<b>22.0</b>	12.5%	3.9%
China Hong Kong SAR	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
India	4.4	4.1	3.8	4.0	4.0	4.0	3.4	3.8	5.2	7.3	<b>7.5</b>	2.6%	1.3%
Indonesia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Japan	71.3	52.1	64.7	66.3	69.0	63.1	57.0	65.0	66.2	36.9	<b>4.1</b>	-89.0%	0.7%
Malaysia	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
New Zealand	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6	0.9	<b>1.3</b>	46.5%	0.2%
Pakistan	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Philippines	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Singapore	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
South Korea	27.0	29.3	29.6	33.2	33.7	32.3	34.2	33.4	33.6	35.0	<b>34.0</b>	-3.1%	6.1%
Taiwan	8.9	8.8	8.9	9.0	9.0	9.2	9.2	9.4	9.4	9.5	<b>9.1</b>	-4.3%	1.6%
Thailand	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Vietnam	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Other Asia Pacific	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Total Asia Pacific</b>	<b>117.7</b>	<b>104.6</b>	<b>119.0</b>	<b>125.2</b>	<b>128.7</b>	<b>123.3</b>	<b>119.7</b>	<b>128.2</b>	<b>131.7</b>	<b>109.1</b>	<b>78.1</b>	<b>-28.7%</b>	<b>13.9%</b>
<b>Total World</b>	<b>610.5</b>	<b>598.3</b>	<b>624.9</b>	<b>626.7</b>	<b>635.2</b>	<b>621.8</b>	<b>619.0</b>	<b>614.1</b>	<b>626.4</b>	<b>600.4</b>	<b>560.4</b>	<b>-6.9%</b>	<b>100.0%</b>
of which: OECD	524.5	505.7	530.4	532.4	537.6	521.8	516.8	511.6	521.1	488.9	<b>444.5</b>	-9.3%	79.3%
Non-OECD	86.0	92.6	94.6	94.3	97.6	100.1	102.2	102.5	105.2	111.5	<b>115.9</b>	3.7%	20.7%
European Union	224.2	226.0	228.9	226.0	224.3	211.9	212.5	202.5	207.6	205.3	<b>199.8</b>	-2.9%	35.7%
Former Soviet Union	53.4	56.0	56.4	56.4	58.4	60.0	60.0	58.8	59.3	60.1	<b>61.2</b>	1.6%	10.9%

\*Based on gross generation and not accounting for cross-border electricity supply. Converted on the basis of thermal equivalence assuming 38% conversion efficiency in a modern thermal power station.

†Less than 0.05.

Notes: Nuclear energy data expressed in terawatt-hours is available at [bp.com/statisticalreview](http://bp.com/statisticalreview).

Growth rates are adjusted for leap years.