



Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás - 2007

## **Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010-2030 e fontes estratégicas na composição do quadro de matrizes energéticas do Brasil para o futuro.**

Fabricio Luiz Bronzatti

Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás (PROMINP)

E-mail: fabriciolb@yahoo.com.br

Orientador: Dr. Alfredo Iarozinski Neto

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR

alfredo.neto@pucpr.br

**Resumo:** Definiu-se um cenário de crescimento econômico para o Brasil entre os anos de 2010 e 2030. Através desse cenário, foi projetada a capacidade de produção e a demanda para cada matriz energética. Com os dados, formulou-se um balanço energético simplificado a fim de identificar em quais fontes energéticas o Brasil terá um déficit suprimimento, e que deverá, no futuro, supri-lo com participação de fontes alternativas. A energia proveniente do petróleo e de usinas hidroelétricas apresenta um potencial de desenvolvimento a curto-prazo e necessidade de investimentos. Em um segundo momento, o gás natural tende a aumentar sua participação no fornecimento de energia. Já em um terceiro momento, a energia eólica e solar devem incrementar sua participação no quadro de matriz energética brasileira.

**Palavras-chave:** Matriz Energética, Energia, Energias alternativas, Fontes energéticas.

### **1. Introdução**

O Brasil encontra-se em um período de desenvolvimento econômico robusto em processo de mudanças na sua estrutura econômica e de produção de energia. Em 2006, o país inverteu a balança de importação de petróleo e hoje tem a possibilidade de se tornar um grande produtor de petróleo e gás natural com atuação internacional. Segundo dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2006), de uma reserva nacional total aproximada de 16 bilhões de barris em 2005, onde 91,6% se localiza no mar (campos “off-shore”), e o restante localizado em campos terrestres. Considera-se como reserva total o somatório de reservas provadas, prováveis e possíveis. Já em relação ao gás-natural, segundo dados da ANP(2006), cerca de 75% das reservas brasileiras de gás natural se localiza em campos “off-shore” e 25% em campos terrestres (campos “on-shore”).

Além de um enorme potencial na produção de combustíveis fósseis, o Brasil faz parte do grupo de países em que a produção de eletricidade é proveniente, na sua maior parte, de usinas hidroelétricas. Essas usinas correspondem a 75% da potência instalada no país e geraram, em 2005, 93% da energia elétrica requerida no Sistema Interligado Nacional –SNI, sendo que ainda há uma parcela significativa de potencial a ser aproveitado.

Além disso, o Brasil também possui um grande potencial de exploração de Urânio para utilização em novas usinas nucleares. No entanto, o processo é mais complexo devido à questões ambientais, altos custos de investimento e a importação de tecnologia, atrasando, dessa forma, a construção de novas usinas nucleares.

Para compor esse novo quadro de matriz energética, existe um enorme potencial nas fontes renováveis, como a Energia Eólica e Solar. Em relação à energia eólica, segundo estudo do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL, o Brasil

possui um potencial de 143 GW. Parte desse potencial pode ser aproveitado comercialmente nos litorais do Nordeste, Sudeste e Sul do país. Já em relação à energia solar, existe potencial a ser aproveitado, no entanto, é necessário investimentos em tecnologia para redução dos custos de implantação e geração.

Neste artigo, será definido um cenário de crescimento para o Brasil entre 2010 e 2030 e realizar, com base nos estudos Matriz Energética Nacional 2030 e o Plano Nacional de Energia 2030 (Ministério de Minas e Energia em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética), a projeção da produção e da necessidade energética no país para esse período.

Após a análise individual por matriz energética será compilado um balanço energético consolidado simplificado a fim de definir quais fontes energéticas serão estratégicas no fornecimento de energia para o país no futuro.

## 2. Definição do cenário

A demanda energética de um país está fortemente correlacionada com sua atividade econômica, ou seja, o Produto Interno Bruto. A medida desta correlação é dada através da intensidade energética do país. Nas nações em desenvolvimento (em sua maior parte as nações não integrantes da OECD) o índice é alto conforme estudo da *Energy Information Administration* – EIA, mostrado graficamente na Figura 1 abaixo:

Crescimento no uso da energia e PIB para as economias não integrantes do OECD.- (1980-2030).

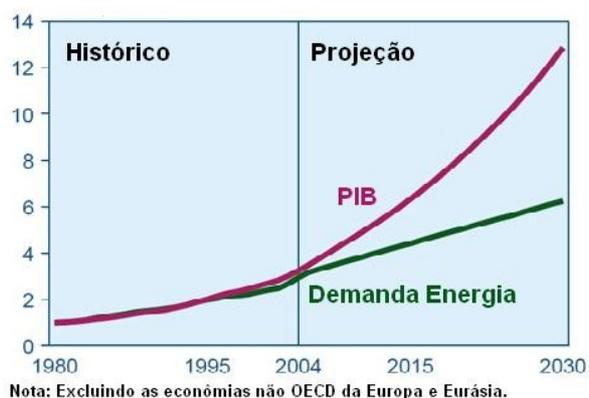
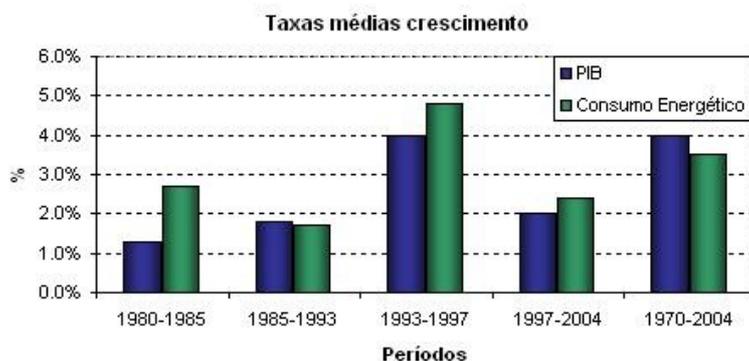


Figura 1 - Crescimento Energia x Crescimento PIB – Nações não integrantes a OECD

Referência: 1980=1

Fonte: **Histórico:** Energy Information Administration (EIA), International Energy Annual 2004 (May-July 2006), web site [www.eia.doe.gov/iea](http://www.eia.doe.gov/iea). **Projeções:** EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2007).

No caso específico do Brasil, a correlação entre consumo energético e crescimento econômico é de 0,82 de acordo com os dados entre 1970 e 2004 da análise energética do Ministério de Minas e Energia (Figura 2).



**Figura 2 - Taxas médias de crescimento anual do PIB brasileiro e do consumo de energia.**

Fonte: Análise Energética brasileira – (1970 a 2004) – Ministério de Minas e Energia.

Sendo assim, para a presente análise será definido um cenário macroeconômico no intuito de projetar a demanda energética do Brasil até o ano de 2030.

### **Dados do Cenário adotado (projeção para 2010 a 2030):**

#### **Mundo:**

- **Crescimento econômico mundial:** 3% ao ano.

#### **Brasil:**

- **Crescimento econômico:** 4,1 % ao ano.
- **Infra-estrutura:** Gargalos parcialmente reduzidos.
- **Desigualdade de renda:** Redução relevante.
- **Competitividade dos fatores de produção:** Ganhos importantes, porém seletivos.
- **Produtividade total da economia:** Média para elevada.
- **Crescimento da população:**
  - 2010-2019:** 1,3%
  - 2020-2029:** 1,1%
  - 2030:** 0,8%
- **Crescimento Setorial anual:**
  - **Agricultura:** 4,2 %
  - **Indústria:** 3,7 %
  - **Serviços:** 4,2 %

### **3. Projeções do Consumo final de Energia**

No período compreendido entre as últimas quatro décadas, o consumo final de energia no Brasil cresceu a razão de 3,0% ao ano e apresentou importantes alterações estruturais (Ministério de Minas e Energia, PNE 2030).

No ano de 1970, a principal matriz energética era a lenha, representando 48% das necessidades brasileiras no uso final de energia. O petróleo, no mesmo ano, já representava 36% da demanda. Entre 1970 e 1990, o consumo de lenha reduziu para uma taxa de 2,9% ao ano.

Com a crise energética dos anos 70, o Brasil investiu nas fontes energéticas hidráulicas e de cana-de-açúcar, que tiveram um ritmo de crescimento de 6,6% ao ano, entre os anos de 1970 e 2005.

Hoje, o petróleo predomina na matriz energética com 41% de participação e a eletricidade é a segunda forma mais utilizada, com 19%. Com a inserção do etanol na matriz, através da adição à gasolina e mais recentemente com a popularização dos veículos *flex-fuel*, a cana-de-açúcar representa 12% de participação na matriz energética nacional. Abaixo, na Tabela 1, detalha-se a evolução do consumo final de Energia do Brasil em milhares de tep (toneladas equivalente de petróleo).

**Tabela 1 - Evolução do Consumo Final de Energia no Brasil (milhares de tep)**

	1970	1980	1990	2005	Δ% ao ano 1970-2005
Derivados do petróleo	21.040	44.770	44.944	66.875	3,4
Eletricidade	3.231	10.189	18.123	31.103	6,7
Produtos da cana <sup>2</sup>	3.158	6.221	10.414	20.046	5,4
Lenha	28.345	21.862	15.636	16.119	- 2,9 <sup>3</sup>
Gás natural	3	320	1.385	9.411	14,5 <sup>4</sup>
Outros <sup>5</sup>	3.306	9.506	15.038	21.490	5,5
<b>TOTAL</b>	<b>59.083</b>	<b>92.868</b>	<b>105.540</b>	<b>165.044</b>	<b>3,0</b>

1/ Elaborado com base no Balanço Energético Nacional (MME/EPE, 2006).

2/ Inclui etanol.

3/ Taxa no período 1970-1990.

4/ Taxa no período 1980-2005.

5/ Outros: inclui carvão mineral (6,0% do consumo final em 2005).

Fonte: Brasil, Ministério de Minas e Energia: Matriz Energética Nacional 2030

### 3.1 Projeções

Apresentado um histórico da evolução da utilização das matrizes energéticas, adiante serão apresentadas as projeções de demanda por fonte energética, assim como a disponibilidade e capacidade de produção.

#### 3.1.4 Petróleo

Em 2006, as importações líquidas de petróleo se tornaram negativas, significando que o Brasil mais exportou que importou, ou seja, tornou-se auto-suficiente em petróleo e no final de 2007, as reservas provadas de petróleo no Brasil estavam estimadas em 11,41 bilhões de barris (ANP).

Sabendo que a taxa de crescimento das reservas brasileiras desde 1980 girou em torno de 9% ano (Ministério de Minas e Energia, MEN 2030), estima-se que a taxa de crescimento de reservas se manterá em 9% a partir de 2009 e à medida que as descobertas são realizadas, essa taxa decrescerá em 0.5% ao ano. Além da taxa de crescimento das reservas, também são contabilizadas as reservas especulativas F95, baseadas em um critério de probabilidade definido pela U.S Geological Survey (USGS, 2006) a qual segue a seguinte classificação:

Reservas F95: Probabilidade de 95% de exploração. No caso brasileiro, são as reservas decorrentes de compromissos assumidos entre a ANP e o concessionário e de minuciosos projetos de produção.

Reservas F50: Probabilidade de 50% de confirmação da reservas, estimativas baseadas em estudos geológicos.

Reservas F5: Probabilidade de 5% de confirmação das reservas, com base em estudos geológicos e especulação.

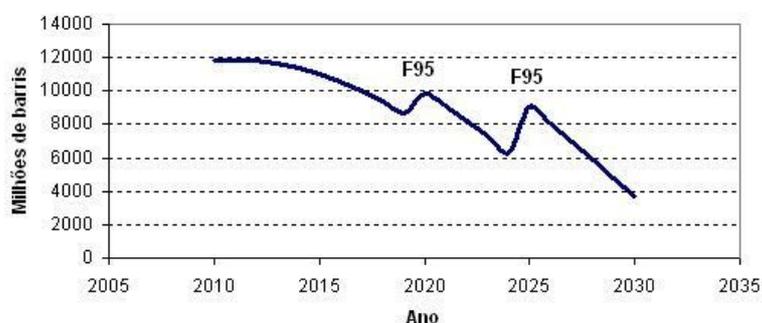
Na projeção deste estudo, serão consideradas somente as reservas F95 como passíveis de exploração que somam 8.060 milhões de barris.

**Tabela 2 - Reservas de petróleo - 95% de probabilidade**

<b>Bacia sedimentar</b>	<b>F95 (milhoes barris)</b>
Campos	3441
Santos	4117
Pelotas	0
Foz do Amazonas	0
Sergipe-Alagoas	197
Espírito Santo	305
<b>Total Terrestre</b>	<b>18</b>
<b>Total Marítimo</b>	<b>8042</b>
<b>TOTAL</b>	<b>8060</b>

Fonte: Brasil, Ministério de Minas e Energia: Plano Nacional de Energia 2030.

Dada a complexidade de exploração e produção e os custos envolvidos, estima-se que tais reservas possam ser definidas como reservas provadas com início de utilização a partir de 2020, sendo 24% em 2020, 46% em 2025 e os 30% restantes em 2030.



**Figura 3 - Projeção reservas - 95% probabilidade**

Observa-se pela projeção que as reservas crescem de 11.42 bilhões de barris para 12 bilhões de barris e partir de 2010 as reservas ficarão estáveis por aproximadamente dois anos. Novos aportes de reservas F95 poderão ser considerados a partir do ano de 2020.

Já em relação à oferta de petróleo, devido aos altos investimentos em exploração e refino, estima-se que somente em 2015 a produção possa chegar a 2,96 milhões de barris por dia (Ministério de Minas e Energia, MEN 2030) e estabilizar-se a partir de então. No que tange à demanda de petróleo, levando em conta o cenário apresentado anteriormente, em 2030 o consumo pode chegar a 3 milhões de barris dia, o que ultrapassa a capacidade projetada.

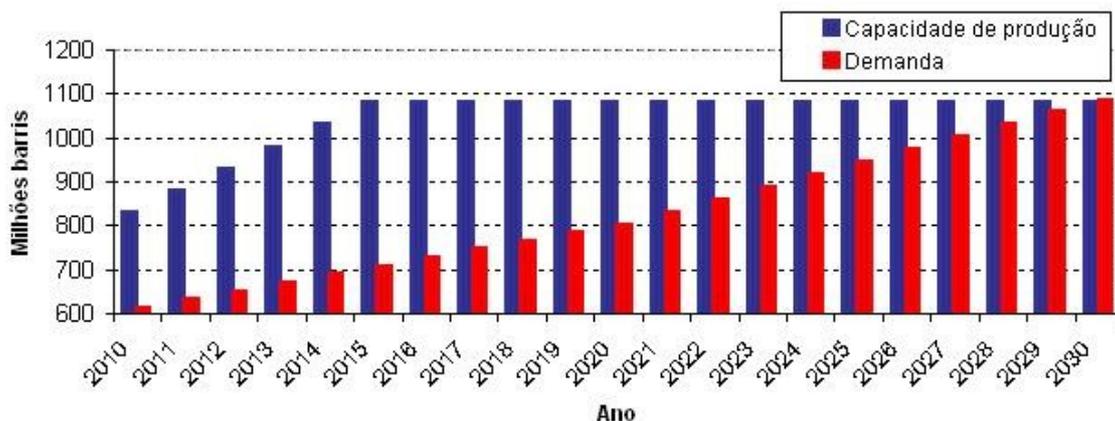


Figura 4 - Petróleo - Capacidade de produção x Demanda

Analisando o cenário em 2030, a razão de reservas sobre a produção (R/P) estará no nível de 3,4 anos, sendo que no final de 2007, girava em torno de 18, e um nível razoavelmente confortável seria acima de 15 anos.

### 3.1.4 Gás Natural

O gás natural não teve maior importância como matriz energética nacional até o ano de 1990. Não se acreditava que o Brasil possuía recursos significantes de gás natural. Outro ponto que não incentivava a exploração de gás natural era a abundante oferta de energia através de usinas hidroelétricas a baixo custo. Esse cenário começou a mudar a partir de 1990, quando o processo de privatização parcial, as descobertas de gás na bacia de Campos e o racionamento de energia elétrica impulsionaram a importância do gás natural como matriz energética.

As reservas de gás natural brasileiras saltaram de 220 bilhões de m<sup>3</sup> em 1996 para 312,2 bilhões de m<sup>3</sup> em 2005 representando um aumento de 41%, segundo dados da ANP (2006).

A oferta de gás natural passou por momentos de incertezas, escassez e falta de definições políticas e ainda hoje sua expansão é dificultada pela falta de infra-estrutura necessária para distribuição. Um dos pontos que vem colocando o gás natural como estratégico na política energética brasileira, é o de que o Brasil não se encontra mais na zona de conforto na oferta de energia elétrica através das usinas hidroelétricas. Logo, as termoelétricas que utilizam gás natural formam uma espécie de capacidade disponível para uso na geração de energia em caso de escassez de chuvas. Segundo a ANEEL, encontra-se em operação no Brasil 11.000 MW de plantas de geração de energia elétrica a gás natural.

As perspectivas de oferta de gás natural no Brasil se concentram com grande potencial na bacia de Campos e na Bacia de Santos. A Petrobrás e seus parceiros, de acordo com seu plano diretor, prometem investir cerca de R\$ 18 bilhões nos próximos 10 anos na exploração e produção na Bacia de Santos, que em curto prazo prevê um acréscimo de 12 milhões de m<sup>3</sup>/dia no fornecimento de gás natural até o final de 2008. Até o final de 2010, a projeção é de aumentar a produção acrescentando 30 milhões de m<sup>3</sup>/dia o que diminuirá a dependência do Brasil em gás importado.

Considerando dados da U.S *Geological Survey* – USGS para reservas F95, o Plano de negócios Petrobrás 2007-2011 projeta as reservas de gás natural conforme a Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Reservas de Gás Natural atual e projeção

Ano	Reservas bilhões de m <sup>3</sup>
2005	306
2010	631
2020	1110
2030	1650

Fonte: U.S *Geological Survey* – USGS.

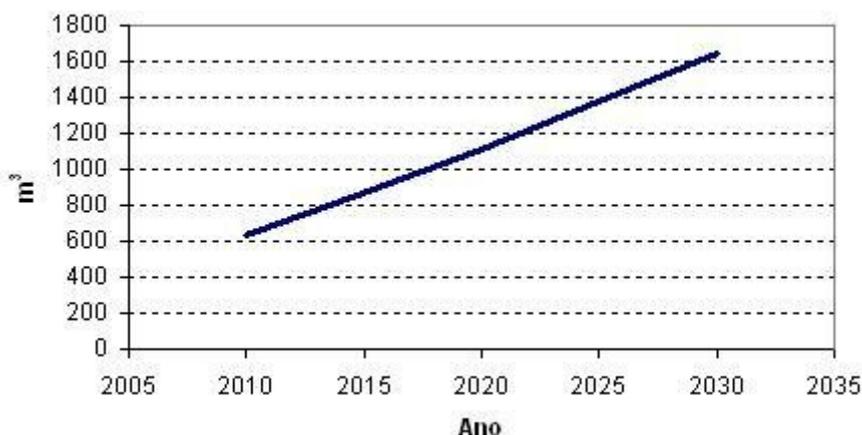
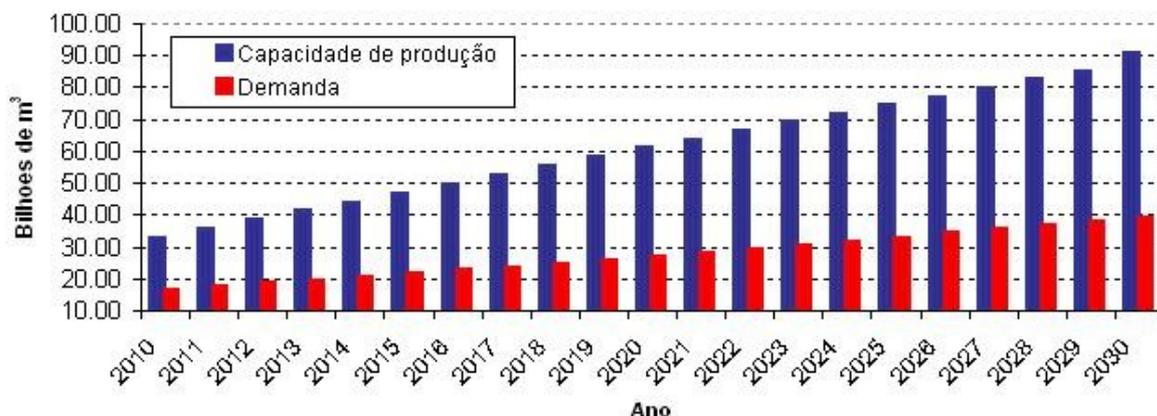


Figura 5 - Projeção de reservas de gás natural

Levando em conta esse grande potencial de exploração de gás natural no Brasil, a Petrobrás anunciou que prevê a entrega de 71 milhões de m<sup>3</sup> / dia até o final do ano de 2011. Além disso, acordos de compra de Gás Natural Liquefeito (GNL) foram feitos a fim de complementar a oferta de gás natural no país. Na projeção além de 2011, a produção continua crescendo, pois várias áreas de exploração foram leiloadas e podem entrar em produção, sendo que a participação esperada das novas descobertas pode chegar a 35%.

Em relação ao consumo de gás natural no Brasil, esse tem crescido a uma taxa de 10,3% ao ano. A indústria e o setor energético foram os maiores responsáveis por este crescimento. O setor de transportes também influenciou no aumento da demanda de gás natural: No ano de 2000, os transportes representavam 4% do consumo final de gás natural, já em 2005 esse valor era de 18%.

Levando em conta o cenário de crescimento do país, projeção de reservas e intenções de investimentos da produção de gás natural, estima-se que em 2030 a produção pode chegar a 251,7 milhões de m<sup>3</sup>/dia com crescimento de 5% ano, enquanto que o consumo pode chegar a 4% ao ano.



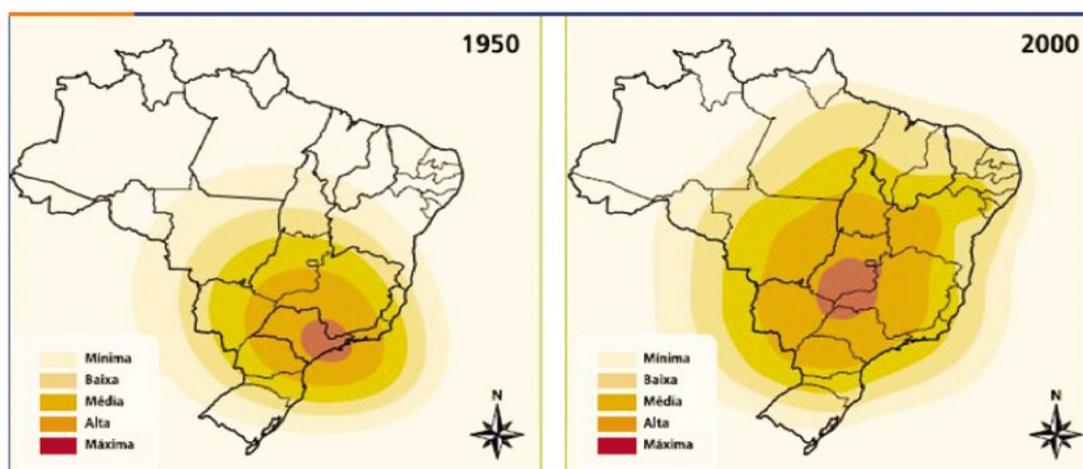
**Figura 6 - Gás Natural - Capacidade de Produção x Demanda**

Fonte: Brasil, Ministério de Minas e Energia: Matriz Energética Nacional 2030.

### 3.1.4 Hidráulica

A energia elétrica produzida no Brasil pelas grandes hidrelétricas tem um papel importante no desenvolvimento do país, proporcionando auto-suficiência na geração de energia elétrica a baixos custos. Entre 1975 e 2005, a potência instalada evoluiu de 13.724 MW para quase 69.000 MW.

Abaixo segue um mapa do aproveitamento do potencial hidrelétrico brasileiro:



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil ANEEL (2002).

**Figura 7 - Mapa do aproveitamento do potencial hidrelétrico brasileiro.**

Percebe-se que, nas regiões mais desenvolvidas, boa parte do potencial hidráulico já foi aproveitada. No entanto, segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-2015, com o aproveitamento da bacia do Amazonas - nos locais onde acredita-se não possuir um impacto ambiental relevante - e das demais bacias, até um índice de 70%, será possível suprir a crescente demanda até 2015.

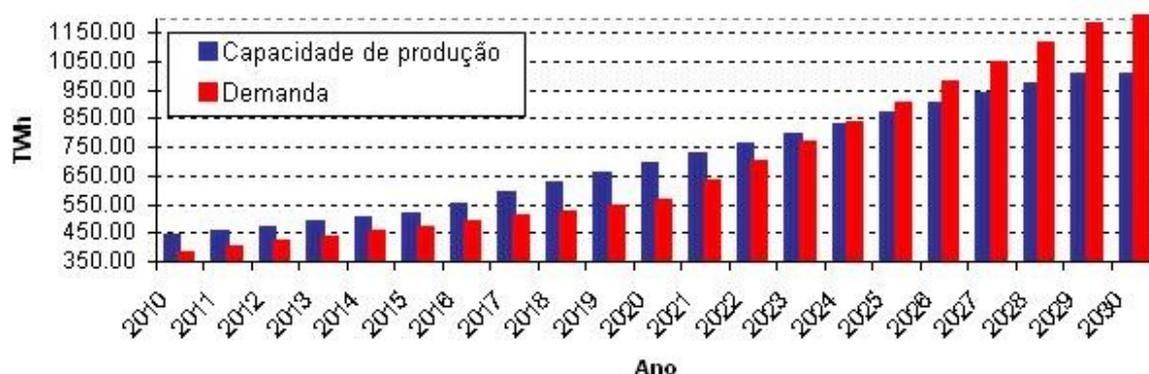
A tabela 4 abaixo detalha o potencial total mapeado de aproveitamento hidráulico:

**Tabela 4 - Potencial de geração dos recursos hídricos (GW)**

Bacia	Amazonas	Tocantis	Araguaia	Demais	TOTAL
Potencial aproveitado, em construção e com concessão outorgada	1	12	65	78	
Expansão Potencial entre 2009 e 2015	12	2	6	20	
Expansão potencial após 2015	61	5	10	76	
<b>TOTAL</b>	<b>74</b>	<b>19</b>	<b>81</b>	<b>174</b>	

Em 2030, estima-se um consumo de energia elétrica entre 950 e 1.250 TWh/ano, sendo que o consumo atual situa-se em torno de 405 TWh (ANEEL, Atlas de Energia Elétrica no Brasil 2006). Essa diferença exigirá investimentos pesados na expansão da oferta de energia elétrica. No caso deste fornecimento ser realizado por usinas hidrelétricas, mesmo com uma instalação adicional de 120 mil MW, o que eleva para 80% o uso do potencial, ainda assim poderia não ser suficiente para atender a demanda em 2030.

Abaixo pode visualizar-se a projeção de produção de demanda de energia elétrica para a fonte hidráulica.



**Figura 8 - Energia Hidráulica - Capacidade de Produção x Demanda**

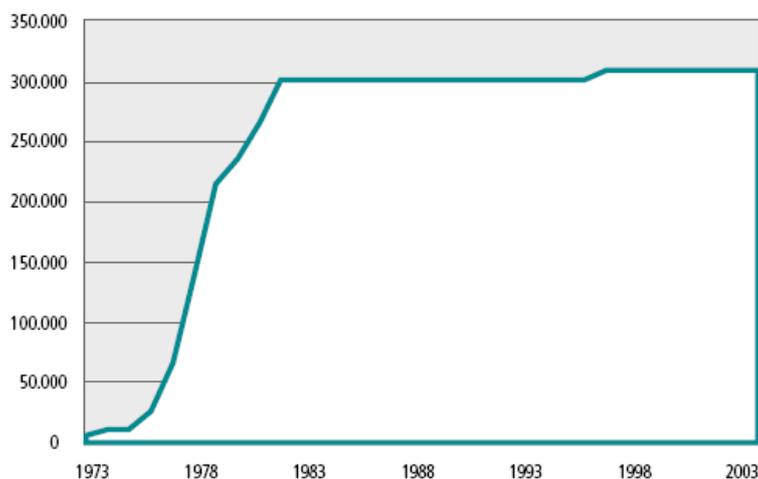
### 3.1.4 Nuclear

O uso de energia nuclear no Brasil foi sempre muito discutido pelo viés ideológico. A primeira usina a entrar em operação foi Angra 1, com potência instalada de 657MW e fator de disponibilidade por volta de 80%. A usina Angra 2, com 1350MW, apesar de ter o acordo Brasil-Alemanha fechado em 1975, iniciou plenamente as atividades no ano de 2000 com um fator de disponibilidade de 60%.

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2005, (Ministério de Minas e Energia) a energia nuclear representa 2,7% da oferta de eletricidade no ano de 2005.

O Brasil possui uma das maiores reservas globais de urânio e domina todo ciclo de fabricação do combustível nuclear. No entanto, a exploração está em fase incipiente e há a necessidade de maiores investimentos em tecnologia de enriquecimento do urânio.

De acordo com as Indústrias Nucleares do Brasil – INB, os estudos de prospecção de urânio foram realizados somente em 25% do território nacional.



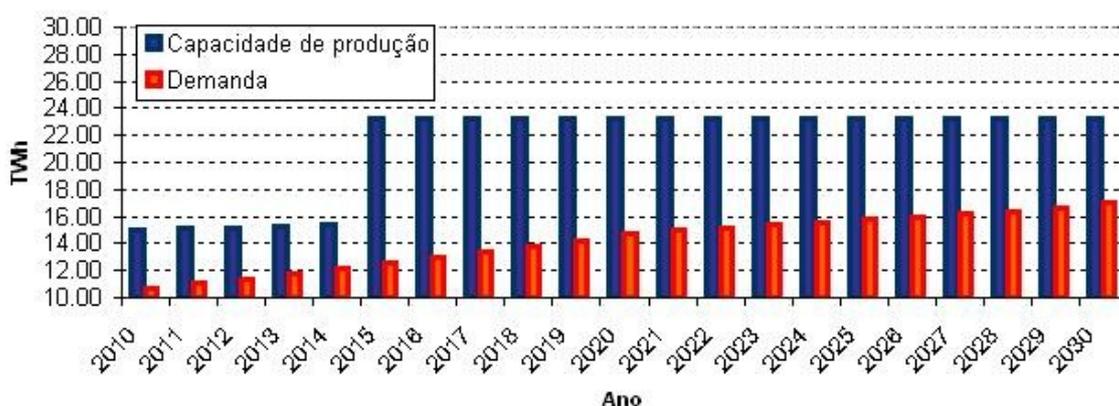
**Figura 9 - Evolução das Reservas Brasileiras de Urânio (toneladas de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)**

Analisando o gráfico da Figura 10, evidencia-se o crescimento na década de 70 das reservas de urânio, o que ocorreu devido a investimentos em prospecção na época. Isso sugere que se realizado novos investimentos em prospecção, as reservas brasileiras podem ser ampliadas.

Uma das restrições na produção nacional de urânio é a capacidade de processamento que será em 2010 de 60% da demanda total das Usinas Angra 1 e Angra 2. Com a entrada de Angra 3, prevista no plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-2015, a demanda de urânio aumentará em torno de 110%. Entretanto, mesmo com a expansão projetada das linhas de enriquecimento, a capacidade total continuará atendendo somente a 60% da necessidade de Urânio.

Se for levado em conta um cenário para custo de exploração de Urânio entre U\$ 40 e U\$ 80/kg tem-se um potencial de 17500 MW em usinas para geração nuclear e a instalação de até 17 unidades.

No entanto, se até 2030 o Brasil continuar com a potência instalada atual e implantar Angra 3, a produção e demanda projetada seria:



**Figura 10 - Energia Nuclear - Capacidade de Produção x Demanda**

Verifica-se que, conforme a projeção da Figura 11, a partir de 2015 ocorre um salto na capacidade de produção com a instalação da usina Angra 3.

#### 4. Balanço Energético consolidado

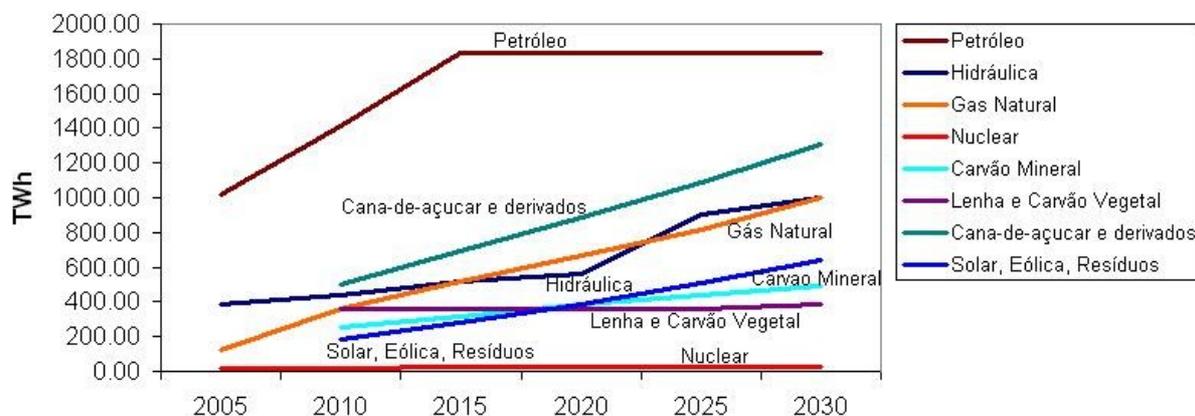
Como visto anteriormente, a matriz energética brasileira possui um potencial imenso no que tange a variedades de matrizes energéticas e potencial de crescimento para algumas fontes. Utilizando todas as projeções apresentadas e projeções adicionais para as matrizes de carvão mineral, lenha, carvão vegetal, cana-de-açúcar e energias alternativas, é possível realizar a conversão energética (alguns valores de conversão no anexo I) de cada matriz para TWh (Tera Watts hora) a fim de facilitar a análise comparativa e a montagem de um balanço energético consolidado.

Para o balanço em questão, esta análise levará em conta a projeção da capacidade de produção de acordo com os dados já expostos e a projeção do consumo dado o crescimento brasileiro com o cenário já definido e crescimento da economia em torno de 4,1% ao ano.

Segue abaixo a capacidade de produção para cada matriz energética:

**Tabela 5 - Projeção das capacidades de projeção por Matriz Energética (TWh)**

Matriz Energética							Participação %		Δ	Crescimento
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2010	2030		
Petróleo	1013.63	1409	1837	1837	1837	1837	63%	48%	-16%	30%
Hidráulica	384.81	436	515	558	904	1004	20%	26%	6%	130%
Gas Natural	124.19	360	514	669	818	997	16%	26%	10%	177%
Nuclear	13.83	15	23	23	23	23	1%	1%	0%	55%
Carvão Mineral		254	318	384	434	488	11%	13%	1%	92%
Lenha e Carvão Vegetal		358	357	356	363	390	16%	10%	-6%	9%
Cana-de-açúcar e derivados		499	690	882	1086	1308	23%	34%	11%	162%
Solar, Eólica, Resíduos		187	282	385	512	642	8%	17%	8%	244%
<b>Total</b>	<b>1536.46</b>	<b>2219</b>	<b>2889</b>	<b>3088</b>	<b>3582</b>	<b>3861</b>				



**Figura 11 - Projeção da capacidade de produção de Energia (TWh)**

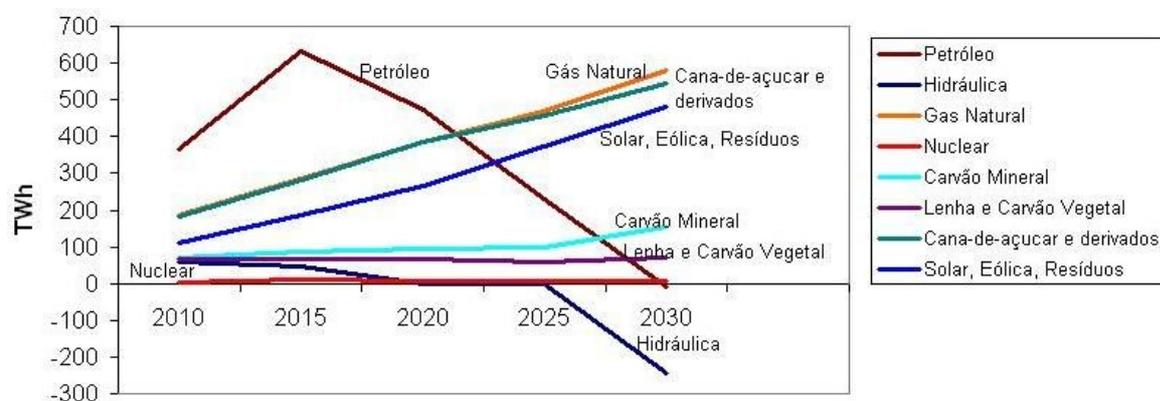
A partir da Figura 12, verifica-se um alto crescimento do petróleo até meados de 2015 e um crescimento a longo prazo das matrizes energéticas baseadas na cana-de-açúcar, gás natural, eólica, solar e resíduos. Quanto à energia nuclear, a projeção contabiliza somente a implantação da Usina Angra III e aumento de produção. No entanto, existe espaço para construções de novas usinas e o cenário da capacidade de produção nuclear indica possibilidade de crescimento.

Já quanto à demanda, toda projeção foi baseada no cenário de crescimento do Brasil definido anteriormente, como pode ser visualizada na Tabela 6:

**Tabela 6- Projeção das necessidades de energia por matriz energética**

Matriz Energética							Participação %		Δ	Crescimento
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2010	2030		
Petróleo	852.66	1043	1204	1365	1606	1848	0.47	0.48	1%	77%
Hidráulica	384.81	379	469	558	904	1250	0.17	0.32	15%	230%
Gas Natural	119.52	175	228	283	348	415	0.08	0.11	3%	137%
Nuclear	8.62	11	13	15	16	17	0.00	0.00	0%	60%
Carvão Mineral		182	232	290	334	335	0.08	0.09	0%	84%
Lenha e Carvão Vegetal		289	290	290	305	320	0.13	0.08	-5%	10%
Cana-de-açúcar e derivados		319	409	498	628	766	0.14	0.20	5%	140%
Solar, Eólica, Resíduos		75	95	118	138	161	0.03	0.04	1%	114%
<b>Total</b>	<b>1365.60</b>	<b>1607</b>	<b>1913</b>	<b>2221</b>	<b>2874</b>	<b>3529</b>				

Com a projeção da capacidade de produção energética e a demanda por matriz energética, é possível realizar o balanço energético simplificado, retirando da capacidade de produção a demanda, o que gera o saldo apresentado na Figura 13:



**Figura 12 - Balanço Energético simplificado (Produção - Demanda)**

Segundo a análise, o pico do saldo energético, que representa a produção descontada do consumo, no que tange ao Petróleo, ocorre em 2015 e decresce nos anos posteriores. Já em relação à energia hidráulica, o saldo já começa a declinar a partir de 2010 e apresenta problemas a partir de 2015, onde a capacidade de produção não atende a demanda projetada.

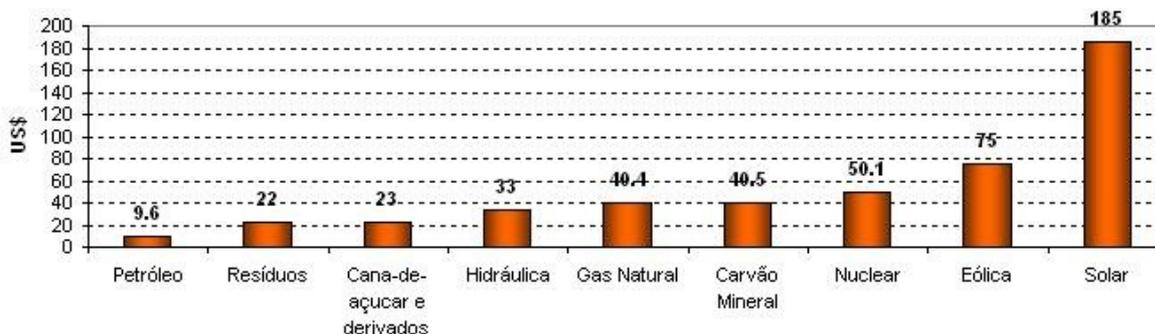
Apresentam saldo de balanço energético positivo crescente no período entre 2010 e 2030, a energia proveniente das fontes: gás natural, cana-de-açúcar, solar, eólica e resíduos o que gera disponibilidade para suprir as outras fontes energéticas deficitárias no balanço.

Vale ressaltar que o quadro apresentado pode apresentar mudanças caso novas reservas de exploração viável de petróleo sejam encontradas, assim como no caso de serem feitos investimentos adicionais em energia nuclear. No entanto, a mudança provocada basicamente deslocaria o cenário para um futuro mais longo, ou seja, o pico do balanço energético do petróleo, por exemplo, poderia deslocar-se para o ano de 2030 caso grandes reservas de exploração sejam encontradas e exploradas em um médio prazo.

## 5. Custos por matriz energética

Além do potencial de produção e a probabilidade de crescimento das reservas, o aspecto de custo também tem grande influência na composição da matriz energética de um país, e, portanto, no balanço energético.

Para efeito comparativo, pode-se verificar o custo por MWh para cada fonte de energia:



**Figura 13 - Custo de Geração (US\$ / MWh)**

Fonte: W.C Turkenburg Utrecht university (March 2003) com contribuições de André Faaij (Holanda), Peter Fraenkel (Inglaterra), Ingvar Fridleifsson (Irlanda), Carlo Hamelink (Holanda), Geyer (Alemanha), David Milss (Austrália), Jose Roberto Moreira (Brasil), Wim Sinke (Holanda), Bart van der Ree (Holanda).

Indiscutivelmente o Petróleo é uma das fontes mais versáteis e de menor custo. A energia hidráulica e a proveniente do gás natural também possuem um custo por MWh competitivo.

Para a energia eólica e solar, a maior parte do custo ainda advém do investimento na infra-estrutura de geração, eficiência de geração, fator de disponibilidade e manutenção, o que indica que as respectivas tecnologias de produção não estão no seu período de maturidade e têm pouca difusão no mercado.

## 6. Conclusão

De acordo com os dados e análises apresentados, o petróleo continuará como grande fornecedor de energia para o desenvolvimento do país, pelo menos até 2020. No entanto, essa situação pode estender-se caso seja comprovada a viabilidade de produção na reserva de Tupi, o que pode aumentar em até 50% as reservas nacionais e deslocará o pico de produção para 2030. Além disso, a grande quantidade de gás natural associado também trará novo vigor ao gás natural como recurso energético.

Independente do potencial da reserva de Tupi, com base nos dados apresentados e nas análises, há forte indicação que algumas fontes energéticas destacam-se como estratégias em um planejamento de longo-prazo e a diversificação das matrizes energéticas é salutar ao desenvolvimento do país. Isso não diminui a importância do petróleo, que é altamente estratégico e pode ser utilizado em momentos propícios como manobra de desenvolvimento dentro do âmbito mundial. Logo, maciços investimentos em petróleo devem continuar, e assim, novas descobertas e inovações tecnológicas na exploração em alto mar poderão incrementar a capacidade produtiva de petróleo e gás natural, trazendo ao Brasil um conforto energético e um maior prazo para desenvolvimento de tecnologias alternativas.

Analisando o balanço energético gerado, observa-se um balanço negativo na energia hidroelétrica no ano de 2020, sendo que nesse estágio, 80% do potencial de geração provavelmente já estará sendo utilizada e restrições ambientais não permitirão o uso pleno dos 20% restantes. Para suprir essa deficiência, a partir de 2020 outras matrizes energéticas poderão aumentar a participação no quadro de geração de eletricidade.

Esse suprimento deve ocorrer em dois momentos distintos devido ao grau de maturidade das tecnologias existentes. Em um primeiro momento, a partir de 2010 em diante, o gás natural apresenta capacidade complementar em média de 480 TWh ao ano, o que possibilita suprir a necessidade de energia elétrica e mantém o nível de produção em 92% da capacidade sem incluir parte da geração por outras fontes energéticas.

Logo, dado o horizonte de tempo definido, as vantagens utilizando o gás natural como recursos de geração em termoeletricas são:

- Custo do MWh 20% superior ao da geração elétrica, utilizando recursos hidráulicos, onde o custo nuclear seria 50% superior. Já a energia eólica e solar possuem um custo de até 4 vezes maior, dado a tecnologia atual.
- O gás natural não compete com a produção de alimentos e possui eficiência de até 8 vezes superior a cana-de-açúcar.
- A escassez de oferta de gás natural é muito mais fácil de administrar que a escassez de chuvas, uma vez que há a possibilidade de importar gás natural da Bolívia e Venezuela, assim como o gás natural liquefeito de outros países.

Nesse sentido, várias ações já estão sendo tomadas para aumentar a participação do gás natural como alternativa na geração de eletricidade como:

- A Petrobrás planeja investimentos em projetos de produção de gás natural. O maior é o projeto de Mexilhão, o qual estima produção pico de até 5 bilhões de m<sup>3</sup> de gás natural por ano.
- Contratos entre Petrobrás e Governo Federal a fim de garantir entrega de gás natural às termoeletricas em caso de geração insuficiente pelas usinas hidroelétricas.

As ações ainda necessárias para o desenvolvimento do mercado de gás natural são:

- Investimentos em infra-estrutura de transporte, como gasodutos e centrais de liquefação.
- Investimentos em construção de unidades de processamento de gás natural (UPGN).

Já em um segundo momento, a partir do ano de 2020, assim que a tecnologia de geração via fonte eólica e solar apresentarem maior maturidade e menor custo, a entrada em maior participação dessas matrizes energéticas é imprescindível.

Projeta-se que, com inovação e com evolução na curva de aprendizado, o custo de geração elétrica via energia eólica pode aproximar-se de 33 U\$/kWh igualando-se ao custo de geração de uma usina hidroelétrica. Além disso, o custo da energia solar pode atingir o custo 38 U\$/kWh viabilizando sua utilização nas regiões com alto índice de incidência solar, que é o caso de grande parte do Nordeste e dos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, com um índice de incidência de 5900 a 6100 Wh/m<sup>2</sup>/ dia (ANEEL, Atlas de Irradiação Solar no Brasil, 1998).

As vantagens na utilização da energia eólica e solar são:

- Energia renovável.
- Energia limpa, não causa emissões de gás carbônico, não contribuindo para o aquecimento global.
- Não traz impactos ambientais relevantes.

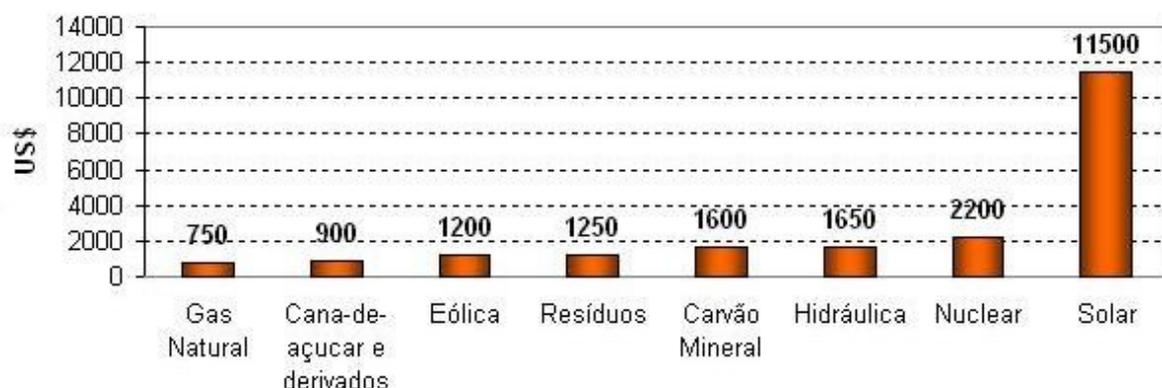
Já as ações que devem ser tomadas para o desenvolvimento dessas fontes energéticas são:

- Investimento em tecnologia local e inovação para produção de células solares e geradores eólicos de eletricidade.
- Investimento pesado em engenharia de materiais.

- Regulamentação e incentivos a empresas privadas para produção de energia utilizando fontes renováveis.

Ou seja, a grande dificuldade em aumentar a utilização de energias renováveis na matriz energética brasileira se deve ao alto custo de investimento e de produção energética, sendo que, a energia solar ainda necessita de uma redução de custo na ordem de 5 vezes. Já a energia Eólica, possui um custo de produção menor, tecnologia mais difundida e um custo de investimento competitivo.

Abaixo pode-se visualizar o custo de investimento por KW de potência instalada.



**Figura 14 - Custo de Investimento (potência instalada US\$/kW)**

Fonte: W.C Turkenburg Utrecht university (March 2003) com contribuições de André Faaij (Holanda), Peter Fraenkel (Inglaterra), Ingvar Fridleifsson (Irlanda), Carlo Hamelink (Holanda), Geyer (Alemanha), David Milss (Austrália), Jose Roberto Moreira (Brasil), Wim Sinke (Holanda), Bart van der Ree (Holanda).

Levando em conta que o potencial brasileiro na geração de energia eólica situa-se em 60.000 MW (ANEEL, Atlas de Energia Elétrica, 2005), se for considerada uma taxa de 80% de aproveitamento tem-se 48.000 MW de potência instalada o que equivale a 62% da potência instalada atualmente utilizando usinas hidroelétricas.

Já no que tange as alternativas de matrizes energéticas que possam compor o fornecimento de energia nos setores que atualmente demandam petróleo, a cana-de-açúcar e o biodiesel já vêm sendo utilizados atualmente e possuem espaço e potencial de crescimento.

Em relação à cana-de-açúcar, o maior desafio é tornar o processo mais eficiente e melhorar o balanço energético de toda cadeia produtiva.

Logo, se observa que o Brasil possui uma variedade de fontes energéticas disponíveis e capacidade de crescimento em todas elas. No entanto, há necessidade de se planejar e executar investimentos de curto e médio prazo na exploração, produção e distribuição de gás natural. Já em longo prazo, necessita-se de investimentos em tecnologia e engenharia de materiais para a produção de equipamentos de geração de energia eólica e solar a custos competitivos, assim como, a execução de projetos eficientes que possam fornecer energia a um baixo custo e eficientemente.

## ANEXO I

Qde	Unidade		Qde	Unidade
1	Bilhões de m <sup>3</sup> de gás natural		11	TWh
1	Milhões de barris de petróleo		1.7	TWh

## Referências

**Brasil. Ministério de Minas e Energia.**

Matriz Energética Nacional 2030 / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . \_ Brasília : MME : EPE, 2007.

**Brasil. Ministério de Minas e Energia.**

Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . \_ Brasília : MME : EPE, 2007.

**Balanco Energético Nacional 2005 – Ano Base 2004.** Rio de Janeiro: EPE, 2005.

**Plano Decenal de Energia Elétrica 2006-2015.** Rio de Janeiro: MME, 2006.

**Mercado de Energia Elétrica, 2006-2015.** Rio de Janeiro: EPE, 2005

**RIFKIN, Jeremy.** A Economia do Hidrogênio. 2003 – São Paulo – M Books do Brasil Editora Ltda.

**AMARANTE, Odilon A. C., et al.** Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília: MME, 2001.

**ANA [Agência Nacional de Águas].** Aproveitamento do Potencial Hidráulico para Geração de Energia. In: *Caderno de Recursos Hídricos*. Brasília: ANA, 2005.

**ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica].** Atlas da Energia Elétrica do Brasil, 2ª ed. Brasília: ANEEL, 2005.

**Comissão Européia .** World Energy, Technology and Climate Policy Outlook 2030. [s.l.]: European Union, 2006.

**Cornot -Gandolphet, S.** et al. The Challenges of Further Costs Reductions for New Supply Options. In: *22nd World Gas Conference*. Toquio: Anais, 2003.

**Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro – SIPOT.** Informações (tabelas e mapas) referentes à atualização de julho de 2005. Disponíveis em <<http://www.eletronbras.com.br>>. Acesso em julho de 2006.

**FERREIRA, D.** Curva de Hubber: Uma Análise das Reservas Brasileiras de Petróleo. Tese de Mestrado. São Paulo: Instituto de Eletrotecnica e Energia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

**FRAIDENRAICH, N.** Tecnologia Solar no Brasil. Os próximos 20 anos. 2002. Disponível em <[http://www.agr.unicamp.br/energia/Ener20/pdf/papers/paper\\_Fraidenraich.pdf](http://www.agr.unicamp.br/energia/Ener20/pdf/papers/paper_Fraidenraich.pdf)>. Acesso em outubro de 2006.

**FULTON, L., HOWES, T. e HARDY, J.** Biofuels for Transport - An International Perspective, Office of Energy Efficiency, Technology and R&D. França: IEA., 2004. Disponível em <<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>>. Acesso em outubro de 2006.

**KNOBEL, M.** Fusão Nuclear: Alternativa para o Futuro?. In: *Com Ciência – Revista eletrônica de jornalismo científico* (<<http://www.comciencia.br>>). São Paulo: SBPC, 2000.