

UNESP  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA

LUCIANO CARDOSO DE MORAIS

ESTUDO SOBRE O PANORAMA DA ENERGIA ELÉTRICA  
NO BRASIL E TENDÊNCIAS FUTURAS

BAURU/SP  
2015



LUCIANO CARDOSO DE MORAIS

ESTUDO SOBRE O PANORAMA DA ENERGIA ELÉTRICA NO  
BRASIL E TENDÊNCIAS FUTURAS

Dissertação submetida à Faculdade de  
Engenharia de Bauru/Unesp como parte dos  
requisitos exigidos para a obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Miguel Rebelo Resende

BAURU/SP  
2015



Morais, Luciano Cardoso de.

Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e  
Tendências futuras / Luciano Cardoso de Moraes, 2015  
128 f.

Orientador: Fernando Pinhabel Marafão  
Coorientador: Pedro Miguel Rebelo Resende

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista.  
Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015


1. Energias Renováveis. 2. Desenvolvimento Sustentável.  
I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia.  
II. Título.



**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE LUCIANO CARDOSO DE MORAIS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 03 dias do mês de junho do ano de 2015, às 14:00 horas, no(a) Câmpus Experimental de Sorocaba, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. FERNANDO PINHABEL MARAFÃO do(a) Engenharia de Controle e Automação/ Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENÇO do(a) Engenharia Ambiental/ Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. DIEGO COLON do(a) Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle/USP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de LUCIANO CARDOSO DE MORAIS, intitulado "ESTUDO SOBRE A OFERTA E A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. FERNANDO PINHABEL MARAFÃO

  
Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENÇO

  
Prof. Dr. DIEGO COLON







UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Bauru

### PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

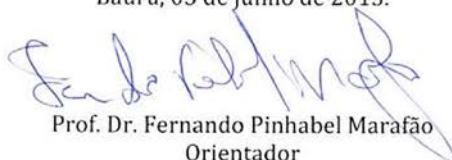
A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO:  
**LUCIANO CARDOSO DE MORAIS**

DE: "ESTUDO SOBRE A OFERTA E A DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL"

PARA:

Estudo sobre o panorama da energia elétrica no  
Brasil e tendências futuras

Bauru, 03 de junho de 2015.



Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão  
Orientador



Faculdade de Engenharia de Bauru – Pós-graduação  
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrizo Coube, 14-01 17033-360 Bauru - SP  
tel. (14) 3103-6108 spg@feb.unesp.br www.feb.unesp.br



Dedico esse trabalho a todos os meus familiares, em especial  
a minha esposa Valdirene Souza Vieira Cardoso  
e ao meu filho João Pedro Vieira Cardoso.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois me deu sabedoria e força para vencer mais esse desafio, aos meus pais Benedito Cardoso de Moraes e Maria Matilde Cano de Moraes, pelo dom da vida e pelo esforço proporcionando-me os estudos, ao meu irmão Leandro Cardoso de Moraes, pelo exemplo de perseverança nos estudos. Enfim agradeço ao professor Dr. Pedro Miguel Rebelo Resende pela colaboração nesse trabalho e em especial ao meu orientador professor Dr. Fernando Pinhabel Marafão, por sua total dedicação.



Procure ser um homem de valor, em vez de  
ser um homem de sucesso.

Albert Einstein





## RESUMO

**Orientador:** Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão.

**Co-orientador:** Prof. Dr. Pedro Miguel Rebelo Resende.

**Área de Concentração:** Automação.

**Número de páginas:** 128

Esse trabalho apresenta um estudo sobre o cenário da utilização da energia elétrica no Brasil, considerando dados sobre a oferta e a demanda, bem como sobre as principais fontes envolvidas na matriz elétrica do país. Sabe-se que quase 70% da eletricidade consumida no país é proveniente de usinas hidrelétricas, porém com a falta de chuvas dentro da normalidade, que ocorre desde 2013, tem sido necessário complementar a oferta com a produção termelétrica, fazendo aumentar o custo de geração que é repassado para o consumidor. Também são apresentados nesse trabalho, o potencial de geração das principais fontes de energia renováveis no país, com análise de custos de instalação, incentivos existentes para o crescimento dessas fontes e discussões sobre a necessidade da inserção efetiva das mesmas na matriz elétrica brasileira, visando atender a crescente demanda. De posse do potencial energético através de fontes renováveis e baseando-se em experiências internacionais, particularmente através do estudo de casos da China e da Alemanha, o trabalho sugere ainda possíveis medidas para o crescimento da utilização de energia solar, eólica e outras, na geração de energia elétrica, fator considerado essencial para o crescimento econômico e sustentável do país.

**Palavras-chaves:** Conservação de Energia, Eficiência Energética, Energias Renováveis, Oferta e Demanda de Energia, Sustentabilidade Energética.



## ABSTRACT

**Advisor:** Prof. Dr. Fernando Pinhabel Marafão

**Co-advisor:** Prof. Dr. Pedro Miguel Rebelo Resende

**Concentration Area:** Automation

**Number of Pages:** 128

The main goal of this work is to study and to map the electrical energy scenario in Brazil, considering the supply, demand and the different primary energy sources in the country. It is well known that almost 70% of the electrical energy consumed in Brazil comes from hydroelectric plants, however, since 2013 and due to the lack of abundant rain for keeping the hydroelectric normal parameters, it has become necessary to apply thermoelectric plants, consequently increasing the energy costs. For this reason, different energy sources are studied in this work as alternatives for the current generation system in Brazil, considering the different aspects such as: installation costs, normative and financial incentives and future demand. Furthermore, to better understand the potential of renewable energy in Brazil, some comparisons using the German and Chinese scenarios have been done, allowing to suggest short and long term actions for increasing the sustainable energy market, pointing out solar and wind power sources as essential for the economic and environmental development.

**Keywords:** Energy Conservation, Energy Efficiency, Renewable Energy, Supply and Demand of Energy, Sustainable Energy.



## LISTA DE FIGURAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 1.1  | ó Centrais Termelétricas a derivados de petróleo em operação no Brasil.....       | 34 |
| Figura 1.2  | ó Potência Instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN) ó 2015 (GW).....       | 37 |
| Figura 2.1  | ó Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica .....              | 42 |
| Figura 2.2  | ó Participação das Fontes de Produção ao Final de 2014 e previsão para 2020 ..... | 59 |
| Figura 2.3  | ó Potencial Hidrelétrico por Bacia Hidrográfica ó 2008 .....                      | 60 |
| Figura 2.4  | ó Radiação Global Diária ó Média Anual ó Brasil (MJ/m <sup>2</sup> .dia) .....    | 62 |
| Figura 2.5  | ó Capacidade hidrelétrica instalada e previsão para 2030 (GW) .....               | 64 |
| Figura 2.6  | ó Capacidade hidrelétrica instalada e previsão para 2030 ó comparação (GW).....   | 64 |
| Figura 2.7  | ó Capacidade termelétrica instalada e previsão para 2030 (GW) .....               | 65 |
| Figura 2.8  | ó Capacidade termelétrica instalada e previsão para 2030 ó comparação (GW).....   | 66 |
| Figura 2.9  | ó Capacidade nuclear instalada e previsão para 2030 (GW).....                     | 66 |
| Figura 2.10 | ó Capacidade nuclear instalada e previsão para 2030 ó comparação (GW) .....       | 67 |
| Figura 3.11 | ó Capacidade renovável instalada e previsão para 2030 (GW).....                   | 68 |
| Figura 2.12 | ó Capacidade renovável instalada e previsão para 2030 ó comparação (GW) .....     | 68 |
| Figura 2.13 | ó Soma da capacidade instalada e previsão para 2030 (GW) .....                    | 69 |
| Figura 3.1  | ó Cenário de Referência para a Matriz Elétrica Brasileira ó 2050.....             | 79 |
| Figura 3.2  | ó Grandes Consumidores Industriais ó Consumo de Eletricidade (TWh) .....          | 81 |
| Figura 3.3  | ó Percentual do Consumo de Eletricidade no Setor Residencial .....                | 83 |
| Figura 3.4  | ó Geração hidrelétrica e previsão para 2030(TWh).....                             | 84 |
| Figura 3.5  | ó Geração hidrelétrica e previsão para 2030 ó China e Brasil (TWh).....           | 85 |
| Figura 3.6  | ó Geração termelétrica e previsão para 2030 (TWh).....                            | 85 |
| Figura 3.7  | ó Geração termelétrica e previsão para 2030 ó comparação (TWh).....               | 86 |
| Figura 3.8  | ó Geração nuclear e previsão para 2030 (TWh).....                                 | 86 |
| Figura 3.9  | ó Geração nuclear e previsão para 2030 ó comparação (TWh) .....                   | 87 |
| Figura 3.10 | ó Geração renovável e previsão para 2030 (TWh) .....                              | 88 |
| Figura 3.11 | ó Geração renovável e previsão para 2030 ó comparação (TWh).....                  | 88 |
| Figura 3.12 | ó Consumo de energia elétrica e previsão para 2030 (TWh).....                     | 89 |
| Figura 3.13 | ó Consumo de energia elétrica e previsão para 2030 ó comparação (TWh).....        | 90 |
| Figura 3.14 | ó Comparação entre a projeção do consumo e a geração hidrelétrica (TWh).....      | 91 |
| Figura 3.15 | ó Comparação entre a projeção do consumo e a geração renovável (TWh).....         | 92 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 5.1 ó Crescimento da capacidade instalada de energia eólica e solar na China ..... | 114 |
| Figura 5.2 ó Composição da matriz elétrica da China (2010).....                           | 119 |
| Figura 5.3 ó Projeção para a composição da matriz elétrica da China (2030).....           | 119 |
| Figura 5.4 ó Composição da matriz elétrica da Alemanha (2010).....                        | 120 |
| Figura 5.5 ó Projeção para a composição da matriz elétrica da Alemanha (2030).....        | 120 |
| Figura 5.6 ó Composição da matriz elétrica do Brasil (2010).....                          | 121 |
| Figura 5.7 ó Projeção para a composição da matriz elétrica do Brasil (2030).....          | 121 |





## LISTA DE TABELAS

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabela 1.1 | ó Principais Exportadores e Importadores de Petróleo no Mundo (Mt) .....      | 28  |
| Tabela 1.2 | ó Maiores Produtores Mundiais de Carvão (Mt) .....                            | 29  |
| Tabela 1.3 | ó Potencial Hidrelétrico Brasileiro por Bacia Hidrográfica.....               | 31  |
| Tabela 2.1 | ó Capacidade instalada de geração hidrelétrica por região no mundo (GW) ..... | 40  |
| Tabela 2.2 | ó Capacidade instalada de geração hidrelétrica ó 10 maiores países (GW) ..... | 41  |
| Tabela 2.3 | ó Capacidade instalada de geração termelétrica por região no mundo (GW) ..... | 45  |
| Tabela 2.4 | ó Capacidade instalada de geração termelétrica ó 10 maiores países (GW).....  | 45  |
| Tabela 2.5 | ó Capacidade instalada de geração eólica ó 10 maiores países (GW) .....       | 51  |
| Tabela 2.6 | ó Capacidade instalada de geração nuclear por região no mundo (GW) .....      | 54  |
| Tabela 2.7 | ó Capacidade instalada de geração nuclear ó 10 maiores países (GW) .....      | 54  |
| Tabela 2.8 | ó Capacidade instalada de geração renovável por região no mundo (GW) .....    | 56  |
| Tabela 2.9 | ó Capacidade instalada de geração renovável ó 10 maiores países (GW) .....    | 57  |
| Tabela 3.1 | ó Geração hidrelétrica ó 10 maiores países (TWh) .....                        | 72  |
| Tabela 3.2 | ó Geração termelétrica ó 10 maiores países (TWh) .....                        | 73  |
| Tabela 3.3 | ó Geração nuclear ó 10 maiores países (TWh).....                              | 74  |
| Tabela 3.4 | ó Geração renovável ó 10 maiores países (TWh).....                            | 75  |
| Tabela 3.5 | ó Consumo de energia elétrica no mundo ó 10 maiores países (TWh).....         | 76  |
| Tabela 3.6 | ó Matriz Elétrica Brasileira (2014).....                                      | 78  |
| Tabela 3.7 | ó Grandes Consumidores Industriais ó Consumo de Eletricidade (GWh).....       | 80  |
| Tabela 4.1 | ó Decomposição dos Custos ó Usina Hidrelétrica .....                          | 98  |
| Tabela 4.2 | ó Decomposição dos Custos ó Usina Termelétrica .....                          | 102 |
| Tabela 4.3 | ó Decomposição dos Custos ó Usina Eólica.....                                 | 105 |
| Tabela 4.4 | ó Estudo comparativo.....   | 110 |



## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ANEEL ó Agncia Nacional de Energia Elétrica  
BIG ó Banco de Informaces de Gerao  
BNDES ó Banco Nacional de Desenvolvimento Econmico e Social  
CCC ó Conta de Consumo de Combustíveis  
CDE ó Conta de desenvolvimento Energético  
CGH ó Centrais Geradoras Hidrelétricas  
CRESESB/CEPEL ó Centro de Referncia para Energia Solar e Eólica  
EIA ó Energy International Administration  
EPE ó Empresa de Pesquisa Energética  
EREC ó Conselho Europeu de Energia Renovável  
GW ó Gigawatt  
GWh/hab ó Gigawatt hora por habitante  
IEO ó International Energy Outlook  
KW ó Quilowatt  
KWh ó Quilowatt hora  
KWh/hab.ano ó Quilowatt hora por habitante ano  
KWh/tonelada ó Quilowatt hora por tonelada  
MJ/m<sup>2</sup>.dia ó Mega Joule por metro quadrado dia  
MME ó Ministério de Minas e Energia  
Mt ó Milhes de toneladas  
MW ó Megawatt  
MWh ó Megawatt hora  
OCDE ó Organizao para a Cooperao e Desenvolvimento Econmico  
PAC ó Programa de Acelerao do Crescimento  
PDE ó Plano Decenal de Expansão de Energia  
PIB ó Produto Interno Bruto  
PCH ó Pequenas Centrais Hidrelétricas  
PROINFA ó Programa de Incentivo ao Uso de Fontes Alternativas de Energia Elétrica  
R\$/KW ó Reais por Quilowatt



TWh ó Terawatt hora

média (%) ó Variação Média Anual

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>25</b> |
| <b>1.1 O Panorama Energético Mundial: Geração e Demanda</b> .....                  | <b>27</b> |
| <b>1.2 O Panorama Energético Nacional: Geração e Demanda</b> .....                 | <b>31</b> |
| <b>1.3 Metas para o Crescimento da Oferta no Brasil</b> .....                      | <b>35</b> |
| <b>1.4 Conclusões Preliminares</b> .....   | <b>38</b> |
| <b>2 DADOS SOBRE A CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA NO BRASIL E NO MUNDO</b> .....  | <b>39</b> |
| <b>2.1 Hidrelétrica</b> .....  | <b>39</b> |
| <b>2.2 Termelétrica</b> .....  | <b>44</b> |
| <b>2.3 Solar</b> .....   | <b>48</b> |
| <b>2.4 Eólica</b> .....  | <b>50</b> |
| <b>2.5 Nuclear</b> .....   | <b>53</b> |
| <b>2.6 Outras Fontes Renováveis</b> .....  | <b>56</b> |
| <b>2.7 Energias Renováveis no Brasil</b> .....                                     | <b>58</b> |
| <b>2.8 Análises Comparativas</b> .....   | <b>63</b> |
| <b>2.9 Conclusões Preliminares</b> .....   | <b>69</b> |
| <b>3 DADOS SOBRE A GERAÇÃO E A DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL E NO MUNDO</b> .....   | <b>71</b> |
| <b>3.1 Cenário Internacional</b> .....   | <b>71</b> |
| <b>3.2 Cenário Nacional</b> .....  | <b>76</b> |
| 3.2.1 Setor Industrial.....  | 80        |
| 3.2.2 Setor Comercial .....  | 81        |
| 3.2.3 Setor Residencial .....  | 82        |
| <b>3.3 Estudo da Demanda</b> .....   | <b>83</b> |
| <b>3.4 Análises Comparativas</b> .....   | <b>84</b> |
| <b>3.5 Conclusões Preliminares</b> .....   | <b>92</b> |
| <b>4 ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS</b> .....                                    | <b>95</b> |
| <b>4.1 Investimentos em Energias Renováveis para Geração de Eletricidade</b> ..... | <b>95</b> |
| <b>4.2 Custos na Implantação de Usinas Hidrelétricas</b> .....                     | <b>96</b> |
| 4.2.1 Impactos Ambientais Relacionados à Geração Hidrelétrica.....                 | 98        |



|  |            |
|--|------------|
| <b>4.3 Custos na Implantação de Usinas Termelétricas .....</b>         | <b>100</b> |
| 4.3.1 Impactos Ambientais Relacionados à Geração Termelétrica .....    | 102        |
| <b>4.4 Custos na Implantação de Usinas Eólicas .....</b>               | <b>104</b> |
| 4.4.1 Impactos Ambientais Relacionados à Geração Eólica.....           | 105        |
| <b>4.5 Custos na Implantação de Usinas Fotovoltaicas .....</b>         | <b>107</b> |
| 4.5.1 Impactos Ambientais Relacionados à Geração Fotovoltaica .....    | 108        |
| <b>4.6 Análises Comparativas.....</b>                                  | <b>109</b> |
| <b>4.7 Conclusões Preliminares.....</b>                                | <b>110</b> |
| <b>5 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS COMO EXEMPLOS PARA O BRASIL .....</b> | <b>113</b> |
| <b>5.1 China.....</b>  | <b>113</b> |
| <b>5.2 Alemanha .....</b>  | <b>115</b> |
| <b>5.3 Brasil.....</b>   | <b>116</b> |
| <b>5.4 Análises Comparativas.....</b>                                  | <b>118</b> |
| <b>5.5 Conclusões Preliminares.....</b>                                | <b>122</b> |
| <b>6 CONCLUSÕES FINAIS .....</b>                                       | <b>123</b> |
| <b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                              | <b>125</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

A cada dia cresce o interesse por estudos sobre a geração de energia, com o objetivo de melhor aproveitar os recursos disponíveis. As energias solar, hidrelétrica, nuclear, eólica entre outras, transformadas em energia elétrica são hoje um recurso indispensável para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões. Com progressos tecnológicos de geração e transmissão de eletricidade, podemos observar regiões, anteriormente pobres e desocupadas, transformando-se em grandes centros urbanos e polos industriais. Porém, apesar dos avanços e investimentos na geração e transmissão de energia elétrica, cerca de um terço da população mundial ainda não tem acesso a esse recurso, e outra grande parte é atendida de forma insuficiente.

Além disto, nas últimas décadas a sociedade despertou para uma nova abordagem sobre os recursos energéticos que utiliza. Começou-se a pensar em fatores como: sustentabilidade, poluição ambiental, custo social e segurança energética, ou seja, uma oferta de energia elétrica capaz de atender a crescente demanda, principalmente nos países emergentes. Os aspectos econômicos ainda continuam a exercer forte influência na definição da matriz energética de um determinado país, porém considerando os diversos fatores, surgem grandes investimentos nas fontes renováveis de energia: tais como energia eólica, solar, biomassa, entre outras [1,2].

Atualmente a União Europeia tem a meta de que as energias renováveis representem até 2020, 20% da quantidade total de energia consumida, como a maioria dos países já atingiu essa meta, fala-se em 30% até 2030. Assim, diminuirão a dependência da utilização de combustíveis fósseis como o petróleo, o gás natural e o carvão na produção de energia elétrica, o que conseqüentemente irá contribuir para a redução da emissão de gases que provocam o aquecimento global [3].

Assim, diversos países preocupados em reduzir os índices de emissão de gases que levam ao efeito estufa estão investindo na instalação de parques eólicos e sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica, como por exemplo, a China, dona de um quarto da capacidade eólica mundial e país líder em investimentos no setor, com aproximadamente 92 gigawatts (GW) instalados, o que corresponde a 45% na participação global.

Com relação ao cenário nacional, o Brasil encontra-se em um período de desenvolvimento econômico incerto, porém mesmo assim a demanda por energia elétrica é crescente. Portanto, é necessário destacar que o país possui um vasto potencial na produção de combustíveis fósseis e

faz parte do grupo de países em que a produção de eletricidade é proveniente, na sua maior parte, de usinas hidrelétricas (consideradas limpas e renováveis).

Além disto, o Brasil possui um grande potencial em fontes renováveis como a energia eólica e a solar. Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica ó CRESESB/CEPEL, o Brasil possui um potencial de 143 GW de energia eólica que pode ser aproveitado, além de possuir regiões no território nacional comparado às melhores regiões do mundo de irradiação dos raios solares para geração de energia fotovoltaica [4].

No Brasil, grande parte da população tem acesso ao recurso da eletricidade, mesmo que em muitos casos de maneira insuficiente, mas o problema nacional está na distribuição dos recursos energéticos. O país possui uma abundância de recursos que em muitos casos estão distantes das grandes concentrações de pessoas, que são os grandes centros urbanos onde está localizada mais de 80% da população brasileira [6].

Portanto, considerando-se a necessidade de expansão e diversificação da matriz energética nacional e motivado pelo crescimento e metas atingidas na experiência internacional, justifica-se o interesse sobre o estudo de propostas que incentivem o crescimento da utilização das energias renováveis no Brasil, para o atendimento da demanda crescente, sendo este o tema central deste trabalho.

Assim, as próximas seções deste capítulo trazem uma breve introdução sobre os cenários internacional e nacional, do ponto de vista do panorama energético e discussões correlatas. Em seguida, os capítulos dois e três apresentam as análises sobre a geração e a demanda de energia no Brasil e no mundo, considerando as principais fontes utilizadas, fazendo ainda no cenário nacional um estudo mais detalhado sobre fontes renováveis de energia. No capítulo três, também serão discutidas questões relacionadas ao perfil de consumo nos setores industrial, comercial e residencial.

Os custos e impactos ambientais relacionados à geração hidrelétrica, termelétrica, eólica e fotovoltaica, dados importantes na tomada de decisão para novos empreendimentos, serão apresentados no capítulo quatro. Como exemplos de experiências internacionais, serão abordados no quinto capítulo os procedimentos seguidos pela China e Alemanha, onde através de incentivos governamentais e diante da necessidade de alcançarem uma matriz elétrica mais limpa tem alcançado posições de destaque no cenário internacional, no que se refere à utilização de energias renováveis.

Por fim, o capítulo seis apresenta as principais constatações e sugestões para o aumento da oferta de energia no Brasil, baseando-se no estudo da experiência e dados do cenário internacional.

### **1.1 O Panorama Energético Mundial: Geração e Demanda**

O documento *International Energy Outlook (IEO)* [5], elaborado pela *Energy International Administration (EIA)*, estima que a geração de energia elétrica no mundo aumentará 77% entre 2006 e 2030. No entanto, atualmente com a crise econômica mundial, a demanda de energia elétrica no setor industrial sofre redução devido à diminuição dos produtos manufaturados [5]. A variação positiva da renda nos países emergentes torna-os responsáveis pelo maior crescimento da demanda por energia em todas as classes. Já os países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) têm um crescimento de demanda mais lento, por terem padrões de consumo mais regulares e mercados de energia elétrica bem estabelecidos. Em contra partida, os países que não são membros da OCDE tem grande quantidade de pessoas ainda sem acesso à energia elétrica. Um exemplo é a África subsaariana, onde mais de 75% da população continua sem acesso à eletricidade [8].

A energia hidrelétrica é a principal fonte geradora de energia elétrica para mais de 30 países e representa por volta de 20% de toda eletricidade gerada no mundo, no entanto, os países desenvolvidos praticamente já exploraram todos os seus recursos hidrelétricos, com exceção do Canadá e da Turquia, portanto são poucos os projetos de hidrelétricas para o futuro, ou seja, o crescimento da utilização de outras fontes renováveis deverá ocorrer, particularmente a eólica, a solar e a biomassa. Esses países, sobretudo os europeus, possuem políticas governamentais que incentivam a exploração de energias renováveis.

Com relação às fontes de energias não renováveis, as de mais destaque na matriz energética mundial são: o petróleo, o gás natural, o carvão e a energia nuclear.

Mesmo com a diminuição da utilização do petróleo, o mesmo deverá permanecer nos próximos anos como a principal fonte de energia no mundo, já o gás natural é o combustível fóssil que mais vem crescendo sua participação na matriz energética mundial, tanto em termos da oferta quanto de consumo. Isso se deve a substituição de outros combustíveis fósseis por gás natural [8].

No caso do carvão, a participação na oferta de energia mundial cresceu acentuadamente entre os anos de 1973 e 2009. Isso ocorreu por consequência da necessidade energética da China, que tem sua matriz energética baseada no carvão, até mesmo por possuir grandes reservas desse insumo no país [8].

As reservas de petróleo, o consumo e a produção são desiguais no cenário mundial, à China juntamente com os países do Oriente Médio tem provocado um aumento do consumo mundial desse insumo. A Tabela 1.1 mostra os principais exportadores e importadores de petróleo no mundo em milhões de toneladas (Mt).

Tabela 1.1 ó Principais Exportadores e Importadores de Petróleo no Mundo (Mt).

| <b>Exportações líquidas</b> | <b>Milhões de toneladas (Mt)</b> | <b>Importações líquidas</b> | <b>Milhões de toneladas (Mt)</b> |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Arábia Saudita              | 313                              | Estados Unidos              | 510                              |
| Rússia                      | 247                              | China                       | 199                              |
| Irã                         | 124                              | Japão                       | 179                              |
| Nigéria                     | 114                              | Índia                       | 159                              |
| Emirados Árabes             | 100                              | Coréia                      | 115                              |
| Iraque                      | 94                               | Alemanha                    | 98                               |
| Angola                      | 89                               | Itália                      | 80                               |
| Noruega                     | 87                               | França                      | 72                               |
| Venezuela                   | 85                               | Holanda                     | 57                               |
| Kuait                       | 68                               | Espanha                     | 56                               |

Fonte: Key World Statistics, 2011.

A utilização do gás natural em termelétricas é responsável por 22% da matriz elétrica mundial. O Oriente Médio (34%) e a Rússia (33%) destacam-se nas reservas comprovadas do insumo. O relatório da BP *Statiscal Review* 2011 [5] estima que as reservas comprovadas até 2010 sejam suficientes para atender a demanda por aproximadamente 59 anos [5].

Para atender o aumento da demanda mundial por gás natural, a produção vem crescendo em todas as regiões do mundo, com a possibilidade de comercializar o gás sob a forma de gás natural liquefeito ocorre um aumento na produção mundial [8].

A produção de carvão vem crescendo acentuadamente desde 1999, com um percentual em 2011 de 61% superior a este ano, aumento provocado principalmente pela produção de carvão na Ásia. A Tabela 1.2 mostra os maiores produtores de carvão no mundo em milhões de toneladas (Mt), onde observamos a produção expressiva da China e dos Estados Unidos com relação aos demais países.

Tabela 1.2 ó Maiores Produtores Mundiais de Carvão (Mt).

|                | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
| China          | 2734,4      | 2895,3      | 3162,3      |
| Estados Unidos | 1007,2      | 921,8       | 932,3       |
| Índia          | 488,6       | 528,4       | 537,6       |
| Austrália      | 325,4       | 334,6       | 353,0       |
| África do Sul  | 252,2       | 250,6       | 254,7       |
| Rússia         | 222,4       | 207,0       | 247,9       |
| Indonésia      | 128,6       | 150,3       | 173,5       |
| Cazaquistão    | 106,3       | 95,8        | 105,2       |
| Polônia        | 84,3        | 78,1        | 76,7        |
| Colômbia       | 73,5        | 72,8        | 74,4        |
| Ucrânia        | 59,5        | 55,0        | 54,4        |
| Vietnam        | 38,8        | 43,7        | 44,7        |
| Canadá         | 32,8        | 28,0        | 33,7        |
| Coréia         | 25,1        | 24,6        | 24,6        |
| Reino Unido    | 18,1        | 17,9        | 18,2        |

Fonte: AIE, 2011.

A demanda crescente de carvão vem sendo amparada pelo aumento da produção, que garante a oferta do insumo por um longo período. Isso faz com que a opção pela utilização do carvão, apesar do alto nível de agressão ao meio ambiente, seja superior a outros insumos como o petróleo e o gás natural [8], pois o mesmo é o mais abundante combustível fóssil existente no mundo, com reservas da ordem de um trilhão de toneladas. Quantidade essa suficiente para atender a demanda por mais de 200 anos. Os destaques mundiais de minas de carvão são: Estados

Unidos (25%), Rússia (16%), China (12%) e Austrália (9%). Atualmente o carvão mineral é responsável por 41% da energia elétrica gerada no mundo.

Diante da importância do carvão mineral na matriz energética mundial, e como os efeitos para o meio ambiente são extremamente danosos, tem-se investido em tecnologias que reduzem as impurezas do carvão, tornando a combustão do mesmo mais eficiente [8].

Em relação à energia nuclear, após um acentuado crescimento entre os anos 70 e 80, a geração ficou praticamente estagnada no cenário mundial, principalmente devido à preocupação com a segurança. Até recentemente o crescimento da produção de energia nuclear apresentava um crescimento muito lento. A capacidade instalada em 2005 era de 370 (GW) e em 2010 de 375 (GW). No mundo, a energia nuclear corresponde a 14% de toda energia elétrica produzida, sendo que em aproximadamente 50 países ela representa mais de 25% do total produzido [8].

A *Energy International Administration* (EIA) estima que a capacidade instalada em 2015 será de 430 (GW), e a principal responsável por esse crescimento é a China, com 27 novas plantas em construção. No entanto essa estimativa tornou-se incerta devido ao acidente da planta de Daiichi em Fukushima no Japão que levantou discussões ligadas à segurança e ao tratamento de resíduos radioativos. O acidente de Fukushima teve grande impacto também na Europa, onde países como Alemanha e Suíça determinaram o fechamento de todos os reatores nucleares e a Itália, por exemplo, rejeitou a construção de novas plantas nos próximos anos. Em contra partida, no continente Americano os Estados Unidos prometem altos investimentos na construção de novas plantas para a produção de energia nuclear [5].

As fontes renováveis apresentam crescimento tanto na oferta como no consumo total de energia no mundo, em especial devido às exigências do governo e da sociedade em busca de uma matriz energética mais limpa.

Com a redução de preços no setor e desenvolvimento tecnológico dos materiais semicondutores utilizados na fabricação de painéis fotovoltaicos, a energia solar aumentou sua participação na oferta total de energia no mundo. No caso da energia eólica, o crescimento da utilização se deve principalmente devido ao interesse dos países em desenvolvimento, com destaque para a China. Estima-se que o potencial eólico mundial seja da ordem de 500000 terawatts-hora por ano (TWh/ano), ou seja, mais de 30 vezes o consumo de eletricidade no mundo.

## 1.2 O Panorama Energético Nacional: Geração e Demanda

Na matriz energética brasileira a participação da energia hidrelétrica é da ordem de 63%, e com isso gera cerca de 70% de toda eletricidade consumida no país. Mesmo com os problemas econômicos, ambientais e com incentivos para o crescimento de outras fontes geradoras de energia, estima-se que nos próximos anos pelo menos 50% da energia consumida continuará sendo de origem hídrica [9].

O potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em 260 gigawatts (GW), onde quase a metade está localizada na Bacia do Rio Amazonas (40,5%). Além desta, podemos ainda destacar outras, tais como: Bacia do Rio Paraná (23%), Bacia do Rio Tocantins (10,6%) e Bacia do Rio São Francisco. A Tabela 1.3 representa o potencial por Bacia Hidrográfica, dividindo em potencial inventariado, que se compõe do potencial de usinas em diferentes níveis de estudo, potencial de usinas já em construção e potencial remanescente que é obtido por estimativas sobre dados já disponíveis [4].

Tabela 1.3 ó Potencial Hidrelétrico brasileiro por Bacia Hidrográfica.

| Bacia Hidrográfica       | Código | Inventariado [a] |       | Remanescente [b] |       | Total [a+b] |      |
|--------------------------|--------|------------------|-------|------------------|-------|-------------|------|
|                          |        | (MW)             | (%)   | (MW)             | (%)   | (MW)        | (%)  |
| Rio Amazonas             | 1      | 31.899           | 19,4  | 73.510           | 77,0  | 105.410     | 40,5 |
| Rio Tocantins            | 2      | 24.831           | 15,1  | 2.709            | 2,8   | 27.540      | 10,6 |
| Atlântico Norte/Nordeste | 3      | 2.047            | 1,2   | 1.355            | 1,4   | 3.402       | 1,3  |
| Rio São Francisco        | 4      | 23.847           | 14,5  | 2.472            | 2,6   | 26.319      | 10,1 |
| Atlântico Leste          | 5      | 12.037           | 7,3   | 2.055            | 2,2   | 14.092      | 5,4  |
| Rio Paraná               | 6      | 51.708           | 31,4  | 8.670            | 9,1   | 60.378      | 23,2 |
| Rio Uruguai              | 7      | 10.903           | 6,6   | 2.434            | 2,5   | 13.337      | 5,1  |
| Atlântico Sudeste        | 8      | 7.327            | 4,5   | 2.290            | 2,4   | 9.617       | 3,7  |
| Brasil                   |        | 164.599          | 100,0 | 95.496           | 100,0 | 260.095     | 100  |

Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2002, página 19.

A capacidade instalada em 2014 é de aproximadamente 88 gigawatts (GW), ou seja, aproximadamente 32% do potencial estimado. O destaque para o aproveitamento do potencial instalado são para as bacias do Rio Paraná e do Rio São Francisco [4].

Apesar das grandes usinas hidrelétricas serem as principais fontes geradoras de eletricidade no Brasil, existe outras fontes que se destacam. Recentemente procura-se ter maior aproveitamento da energia solar no país, utilizando-se de sistemas fotovoltaicos para a geração de eletricidade. Considerando as comunidades isoladas às redes de distribuição do sistema elétrico brasileiro, a energia solar pode ser solução em diversos casos. Além obviamente da produção e inserção significativa na matriz elétrica brasileira. A análise de um caso prático seria o aquecimento de água em todo o país e não apenas em comunidades isoladas, onde são gastos cerca de 20 terawatts-hora (TWh) de energia elétrica por ano, os quais poderiam ser supridos com sistemas de aquecimento solar com vantagens econômicas e ambientais. O Brasil tem grande potencial de energia solar fotovoltaica, a irradiação solar no país é aproximadamente o dobro da média mundial, porém esse potencial ainda é pouco explorado [10].

A energia eólica é outra fonte de energia elétrica de grande potencial em nosso país. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) diz que o potencial eólico brasileiro é de 143 gigawatts (GW), com destaque para as regiões litorâneas do norte e nordeste, vale do Rio São Francisco, sudeste do Paraná e litoral sul do Rio Grande do Sul. Isso se justifica porque o Brasil tem um volume de ventos duas vezes maior que a média mundial e baixa oscilação da velocidade o que garante maior previsibilidade à geração de eletricidade [4].

É importante ressaltar que o potencial instalado no Brasil atualmente é da ordem de 131 gigawatts (GW), somando-se todas as fontes de energia, portanto inferior ao potencial eólico do país, lembrando-se ainda que esse potencial possa ser maior se considerarmos instalações de turbinas eólicas no mar [10]. A participação da energia eólica na geração de energia elétrica ainda é muito pequena no país, mais tem crescido devido à redução de custos de instalação e manutenção e com a atuação do Programa de Incentivo ao Uso de Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) [11].

Em 2015, as usinas eólicas em operação têm capacidade instalada para gerar 4,98 gigawatts (GW), sendo que 65% dessa capacidade estão no estado do Ceará. As regiões do nordeste e norte são consideradas as áreas com os melhores potenciais para aplicações em energia



eólica no Brasil, pois apresentam várias vantagens importantes na opção pelo investimento em geração de energia eólico-elétrica [1,2].

As usinas termelétricas são abastecidas por carvão, petróleo, gás natural, bagaço de cana entre outros. No ano de 1970, a principal matriz energética era a lenha, representando 48% das necessidades do país no uso final de energia, porém o petróleo no mesmo ano já representava aproximadamente 36% da demanda. Nas próximas três décadas o consumo de lenha para produção de energia foi reduzindo 3% ao ano. Mesmo na concorrência com o carvão mineral, o petróleo ocupou e ocupa espaço importante na economia mundial, pois tem importância absoluta no setor de transportes e ainda é o principal responsável pela geração de energia elétrica em diversos países do mundo [12].

No Brasil, onde a produção de energia elétrica é 70% atendida pela geração hidrelétrica, a utilização do petróleo como combustível para as termelétricas é pouco expressiva, sendo responsável pelo atendimento de demandas de pico e/ou comunidades que não são atendidas pelo sistema interligado.

De acordo com os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil possui 15 centrais termelétricas a óleo combustível, com uma capacidade instalada de até 0,945 gigawatts (GW). Dentre essas podemos destacar a de Piratininga ó SP, com 0,472 gigawatts (GW) de potência instalada e a de Camaçari ó BA, com 0,293 gigawatts (GW) de potência instalada. Atualmente o Brasil gera 15 terawatts-hora (TWh) de energia proveniente do petróleo, cerca de 2,7% da matriz energética nacional. Isso se deve a novos empreendimentos feitos por pequenos grupos para atender as pequenas comunidades isoladas da rede elétrica, principalmente na região norte do país. Obviamente cabe destacar usinas termelétricas interligadas à rede, como é o caso de Cuiabá ó MT, com 0,526 gigawatts (GW) de potência instalada e de Camaçari ó BA com 0,293 gigawatts (GW) de potência instalada. A Figura 2.1 apresenta as centrais termelétricas alimentadas por derivados do petróleo em operação no Brasil [4].

Figuras 1.1 ó Centrais Termelétricas a derivados de petróleo em operação no Brasil.



Fonte: ANEEL, 2008, página 114.

O carvão mineral é responsável por 1,3% da eletricidade gerada no Brasil [8], e Estado do Rio Grande do Sul é onde estão concentradas mais de 90% das reservas nacionais [3].

A utilização do gás natural em termelétricas é responsável por 9,1% da matriz elétrica nacional. Como insumo, o gás natural utilizado no mundo fica atrás apenas do carvão e no Brasil depois da principal fonte geradora de energia que são as hidrelétricas (70%), vem às termelétricas movidas a gás natural. As reservas de gás natural são da ordem de 230 bilhões de metros cúbicos, com destaques para o Rio de Janeiro (42%), Amazonas (25%) e Bahia (10%).

Hoje, o gás natural é responsável pela geração de 31 terawatts-hora (TWh) de energia elétrica no Brasil, capacidade que deve aumentar diante do esgotamento dos melhores potenciais hidrelétricos, e com a importação do gás da Bolívia. A maioria das termelétricas a gás natural é de pequeno porte, com potência instalada inferior 10 megawatts (MW), porém podemos destacar algumas de grande porte como, por exemplo: Uruguaiana-RS com 640 megawatts (MW) de potência instalada, Santa Cruz-RJ com 600 megawatts (MW) de potência instalada, Macaé-RJ com 350 megawatts (MW) de potência instalada e Volta Redonda-RJ com 235 megawatts de potência instalada [4].

No início dos anos 70 o governo brasileiro optou por investir em usina nuclear, visando conhecer melhor a tecnologia, assim como ocorreu em vários outros países na época. Em 1977 teve início à construção de Angra I, com capacidade nominal de 600 megawatts (MW), depois de diversos problemas, apenas em 1995 a usina passou a operar regularmente. Mais tarde foram ainda construídas duas outras usinas, Angra II e Angra III (não concluída) [12]. Atualmente 1,4% da eletricidade gerada no Brasil é proveniente de usinas nucleares. Hoje podemos dizer que o suprimento de eletricidade da cidade do Rio de Janeiro depende fortemente da operação das usinas nucleares, Angra I e Angra II.

### **1.3 Metas para o Crescimento da Oferta no Brasil**

Como a energia elétrica é um produto essencial para o crescimento do país, é importante observar o crescimento do consumo para, diante do potencial brasileiro, estabelecer objetivos para o crescimento da oferta de energia elétrica. Como é intenção do governo sempre acelerar o crescimento econômico, em contra partida o consumo de energia elétrica também tem crescido acentuadamente.

O Brasil tem tido um aumento no consumo médio de energia elétrica de 3,5% ao ano nos últimos dez anos. Em dezembro de 2012 o país tinha uma potência instalada de aproximadamente 121 GW e um consumo de 77 GW, isso não significa que a situação é absolutamente confortável

para o sistema elétrico brasileiro, pois como a base geradora de energia são as hidrelétricas, na época de seca ocorre nível baixo nos reservatórios e essa capacidade instalada não corresponde à quantidade real de energia que o país pode gerar. O ano de 2015 começou com o legado da seca dos anos de 2013 e 2014, o que acarretou ligar as termelétricas para suprir a demanda, aumentando significativamente o custo da eletricidade que será paga pelo consumidor.

Além da situação citada anteriormente, também é preciso uma avaliação do crescimento do consumo, para projetar ações que levem ao crescimento da oferta de energia elétrica para atender a demanda brasileira no futuro próximo.

Para aumentar a geração de energia elétrica em 3,5% ao ano, como ocorre com o consumo, são necessários investimento e planejamento. Para atender a demanda o país tem utilizado usinas termelétricas para suprir as necessidades de consumo de energia. Cabe ressaltar que o principal insumo utilizado nas usinas térmicas é o gás natural que é importado e, caso ocorra falta do mesmo, a geração de energia elétrica suficiente para o país não está assegurada [13].

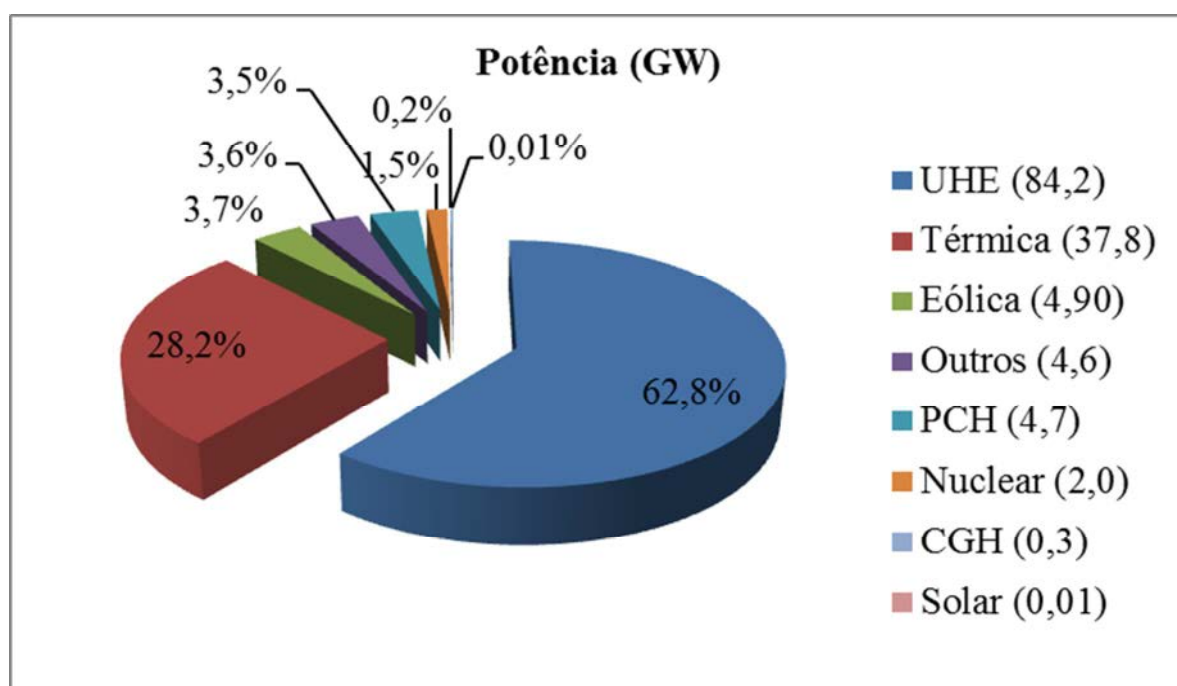
Como a média dos reservatórios no início de 2013 ficou acima do previsto, o ministro de Minas e Energia tomou a decisão de não utilizar algumas termelétricas [14]. Algo economicamente interessante para o país, porém nem sempre possível. Portanto, é necessário traçar metas de médio e longo prazo para o crescimento da oferta de energia elétrica. Além de ser comum o país anunciar anualmente um possível racionamento, isso porque é difícil prever os níveis dos reservatórios e se os mesmos serão suficientes para suprir a demanda, como no atual momento (2015), tivemos poucas chuvas e teremos que pagar mais pela energia elétrica, pois a necessidade de ligar as termelétricas encarece o custo da mesma, como citado anteriormente. Cabe ressaltar ainda que no ano de 2013, por motivações políticas, o governo tomou a decisão de reduzir o preço da energia, dando a impressão que o país tinha reserva de energia para o consumo, o que não era a realidade e isso gerou um consumo ainda maior pela população.

O Balanço Energético Nacional [9] é considerado muito importante para o planejamento energético, apresentando tendências da oferta e do consumo de energia. Observa-se um aumento da participação das energias renováveis na matriz energética brasileira, principalmente devido à expansão da geração eólica.

Para a utilização das energias renováveis foram desenvolvidas tecnologias que há alguns anos atrás tinham custo muito superior às energias convencionais, porém com o avanço

tecnológico e o interesse comercial, atualmente as energias renováveis e convencionais tem custos semelhantes. Como o Brasil tem um potencial considerado excelente para energia solar fotovoltaica e a energia eólica, além é claro hidrelétrica, o país precisa direcionar seus investimentos para um crescimento acentuado da oferta de energia elétrica nestas áreas. As grandes usinas hidrelétricas (UHE) representam 62,8% da potência instalada na matriz elétrica nacional, a geração termelétrica corresponde a 28,2% da eletricidade instalada e as demais eólica, solar, centrais geradoras hidrelétricas (CGH) e pequenas centrais hidrelétricas (PCH), têm pequena participação na matriz elétrica brasileira e que poderiam ser melhor aproveitadas. A Figura 1.2 demonstra a situação atual da potência instalada no país [16].

Figura 1.2 ó Potência Instalada do Sistema Interligado Nacional (SIN) - 2015 (MW).



Fonte: Light, 2015.

Neste sentido, em 2002 o Ministério de Minas e Energia criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), porém esse programa com relação ao abastecimento de energia elétrica funciona como um instrumento para completar a necessidade de eletricidade não atingida pela geração hidrelétrica. Por exemplo, na região Nordeste a energia eólica seria complemento ao abastecimento hidrelétrico, já que o período de chuvas é inverso ao

comportamento dos ventos, já nas regiões Sul e Sudeste a utilização da biomassa supriria a necessidade nos períodos de seca [11].

Hoje, como a questão do custo para investimentos em fontes renováveis já não é mais barreira para o crescimento da geração de energia elétrica e diante do potencial brasileiro, as fontes renováveis não deveriam ser apenas complementares na matriz energética brasileira. O país poderia desenvolver bastante a geração de energias renováveis, produzindo uma energia cada vez mais limpa, não sendo necessário importar insumos como o gás natural, para abastecer as termelétricas e garantindo uma oferta capaz de atender a demanda nacional.

#### **1.4 Conclusões Preliminares**

Num país com aproximadamente 8,5 milhões de quilômetros quadrados, as informações sobre recursos energéticos, tecnologias e sistemas de geração, transmissão, distribuição e uso final de eletricidade são fundamentais para a elaboração de projetos e investimentos no setor elétrico brasileiro.

Conclui-se com esse estudo que a utilização de outras fontes renováveis, além das hidrelétricas, podem e devem ser inseridas de maneira significativa na matriz elétrica brasileira e não apenas como complemento da eletricidade não suprida pelas hidrelétricas. O aproveitamento do potencial eólico na região Nordeste do país possibilitaria autonomia na demanda por energia elétrica na região. Outro exemplo seria a inserção da energia termossolar e solar fotovoltaica, onde se pode destacar mais uma vez a região Nordeste, com irradiação solar entre 5,2 e 5,8 KWh/m<sup>2</sup> [13], outras regiões de destaque para o aproveitamento solar são o vale do rio São Francisco na Bahia e as divisas dos estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul.

## **2 DADOS SOBRE A CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA NO BRASIL E NO MUNDO**

Diante da problemática do país possuir grande parte dos recursos hidrelétricos distantes dos centros urbanos, e em locais onde se observam restrições ambientais para explorar os recursos energéticos, torna-se necessário estudos de geração de energia para atender as necessidades do país sem causar grandes impactos para o meio ambiente.

Esse capítulo tem por objetivo mostrar um estudo sobre a capacidade instalada de geração elétrica no mundo e no Brasil, proveniente da energia hidrelétrica, nuclear, térmica, solar, eólica e outras fontes renováveis. Ressaltando o potencial brasileiro por região já que o Brasil é um país continental, será possível identificar como suprir a demanda de eletricidade com investimentos direcionados a aproveitar o potencial energético regional e de maneira lógica para aproximar a geração de energia elétrica do consumo.

### **2.1 Hidrelétrica**

Usinas hidrelétricas geram energia a partir do fluxo de água que ao girar as turbinas acionam os geradores elétricos. Os principais sistemas de uma hidrelétrica são: reservatório ó composto por uma barreira que represa a água em queda natural de um rio; canal ó composto por comporta que libera a água para o duto; duto ó que conduz a água até a turbina; turbina ó aproveita a energia do fluxo de água para girar suas pás em torno de um eixo; gerador ó transforma a energia mecânica de rotação do eixo da turbina em energia elétrica; casa de força ó agrupa vários geradores e conduz a eletricidade até transformadores, dos quais saem às linhas de transmissão; linhas de transmissão ó distribuem a energia gerada. A principal dificuldade na construção de usinas de grande porte está ligada ao represamento do rio, que para o caso de grandes aproveitamentos hidrelétricos como os da região Norte do Brasil, pode chegar a barragens com mais de 300 metros de altura[5].

Atualmente no mundo já foram construídas mais de 45 mil grandes represas para a geração de eletricidade, aproximadamente 97% das usinas hidrelétricas tem capacidade acima de 10 MW de potência instalada. Cabe ressaltar que a energia hídrica é responsável por aproximadamente 16% da geração de eletricidade no planeta, porém no mundo industrializado o

potencial praticamente já foi todo utilizado. Já em países em desenvolvimento, principalmente na América do Sul, Ásia e África encontra-se grande potencial a ser explorado [5].

Nos países desenvolvidos a capacidade de aproveitamento hidrelétrico está próxima de se esgotar devido a grande área de território necessária para a construção da barragem, pode-se dizer que na Europa e na América do Norte a produção de eletricidade de origem hídrica parou a partir da década de 80. As Tabelas 2.1 e 2.2 representam a capacidade instalada de geração hidrelétrica por região no mundo e os dez maiores países geradores, apresentando ainda a taxa de variação média anual ( ) por região e país [14].

Tabela 2.1 ó Capacidade instalada de geração hidrelétrica por região no mundo (GW).

|                  | 2006 | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013   | média (%) |
|------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------|
| Mundo            | 794  | 821,4 | 853,8 | 887,4 | 917,5 | 951,3 | 986,5 | 1022,9 | 3,69      |
| Ásia e Oceania   | 240  | 258,5 | 286,2 | 312,9 | 337,1 | 365,7 | 396,8 | 430,6  | 8,50      |
| Europa           | 161  | 162,9 | 164,4 | 166,4 | 168,1 | 169,8 | 171,4 | 173,1  | 0,99      |
| América do Norte | 161  | 162,7 | 163,6 | 164,6 | 165,1 | 166,1 | 167,0 | 167,9  | 0,58      |
| América do Sul   | 131  | 135,4 | 136,6 | 139,1 | 141,1 | 143,6 | 146,1 | 148,7  | 1,77      |
| África           | 21   | 21,5  | 21,9  | 23,1  | 24,1  | 24,8  | 25,6  | 26,4   | 3,07      |
| Oriente Médio    | 10   | 11,1  | 11,6  | 11,4  | 12,2  | 12,7  | 13,3  | 13,9   | 4,38      |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.



Tabela 2.2 ó Capacidade instalada de geração hidrelétrica ó 10 maiores países (GW).

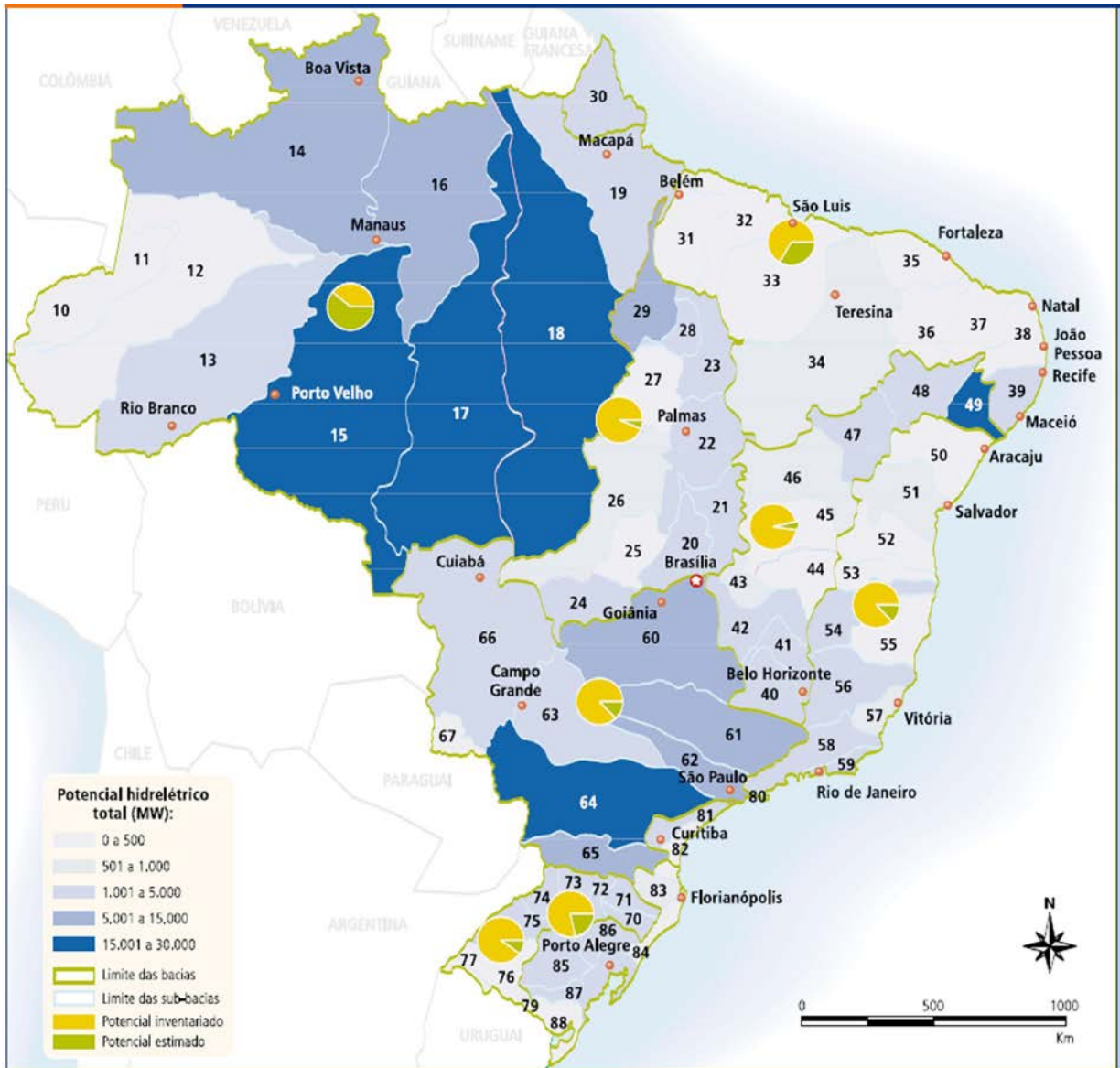
|         | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | média (%) |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| China   | 128,6 | 145,3 | 171,5 | 196,8 | 219,0 | 250,2 | 285,9 | 326,8 | 14,27     |
| Brasil  | 73,4  | 76,9  | 77,5  | 78,6  | 80,7  | 82,7  | 87,3  | 92,1  | 2,55      |
| EUA     | 77,8  | 77,9  | 77,9  | 78,5  | 78,8  | 79,0  | 79,3  | 79,6  | 0,32      |
| Canadá  | 72,7  | 73,3  | 74,2  | 74,5  | 74,9  | 75,4  | 76,0  | 76,5  | 0,74      |
| Rússia  | 46,1  | 46,8  | 46,8  | 46,9  | 46,9  | 47,1  | 47,3  | 47,5  | 0,43      |
| Índia   | 36,6  | 38,1  | 39,3  | 39,6  | 40,6  | 41,7  | 42,8  | 43,9  | 2,65      |
| Noruega | 27,4  | 27,6  | 28,1  | 28,2  | 27,7  | 27,8  | 27,8  | 27,9  | 0,27      |
| Japão   | 22,2  | 21,8  | 21,9  | 21,8  | 22,4  | 22,4  | 22,5  | 22,5  | 0,22      |
| França  | 18,0  | 18,0  | 18,1  | 18,2  | 18,2  | 18,2  | 18,3  | 18,3  | 0,27      |
| Suécia  | 16,2  | 16,6  | 16,4  | 16,5  | 16,6  | 16,7  | 16,8  | 16,9  | 0,59      |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013

O custo para instalação de uma usina hidrelétrica é baixo mesmo tendo altos investimentos iniciais, pois tem baixo custo de manutenção e vida útil de mais de 100 anos. No Brasil as grandes usinas hidrelétricas são as principais responsáveis pela geração de eletricidade e os planos de expansão continuam privilegiando a construção de grandes usinas, como as que estão sendo construídas na Amazônia. O país possui grande potencial hidrelétrico a ser explorado, o que não impede de pensar na possibilidade de ampliar a produção de energia elétrica sem limitar-se a grandes usinas hidrelétricas, como será abordado posteriormente.

Através de estudos sobre as bacias hidrográficas brasileiras se pode demonstrar o potencial hidrelétrico em megawatts (MW), onde se observa as regiões Norte e Nordeste com grande potencial a ser inventariado diante do potencial estimado, como representado na Figura 2.1 [4].

Figura 2.1 ó Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica.



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2002, página 22.

Atualmente, o investimento nacional para o crescimento da geração de eletricidade proveniente de hidrelétricas está concentrado na região amazônica, onde temos projetos em andamento para expandir a matriz hidrelétrica brasileira. Não se pode deixar de citar que apesar do grande potencial brasileiro para geração de eletricidade por meio de hidrelétricas, nos períodos de estiagem a produção fica prejudicada devido ao baixo nível dos reservatórios [15].

O país possui 930 usinas hidrelétricas em operação no território nacional com a capacidade de gerar aproximadamente 88 gigawatts (GW). Entre as maiores usinas brasileiras podemos destacar: Tucuruí no rio Tocantins (8,37 GW), Itaipu no rio Paraná (14 GW), Ilha Solteira no rio Paraná (3,44 GW), Xingó no rio São Francisco (3,98 GW). Além dessas podemos destacar as usinas hidrelétricas que estão sendo construídas na bacia do rio Amazonas: Belo Monte no rio Xingu (11,23 GW), São Luiz do Tapajós no rio Tapajós (7,88 GW), Jirau no rio Madeira (3,75 GW), Santo Antonio no rio Madeira (3,15 GW) e Jatobá no rio Tapajós (2,34 GW) [4].

Apesar de a água ser o recurso natural mais abundante na Terra, com aproximadamente dois terços da superfície do planeta, a geração de energia elétrica proveniente de hidrelétricas tem diminuído, isso ocorre devido o grande volume de água estar nos oceanos e a força das marés não ser utilizada em escala comercial. Deve-se também ao aproveitamento da água dos rios em desníveis acentuados e/ou grandes vazões já terem sido exploradas. Observa-se que nos últimos anos a geração hidrelétrica aumentou em apenas duas regiões do mundo, na Ásia, principalmente devido à China e na América do Sul em função do Brasil. Mesmo nesses países a geração hidrelétrica não expandiu conforme o esperado, pois sempre a questão ambiental apresenta barreiras para a execução de novos empreendimentos no setor.

A geração hidrelétrica teve início no mundo no final do século XIX, com a construção de uma usina nas cataratas do Niágara, na mesma época no Brasil foi construída a primeira usina no município de Diamantina no estado de Minas Gerais, com potência instalada de 5 megawatts (MW) e tinha rede de transmissão de dois quilômetros [4].

Hoje, em pouco mais de 100 anos, temos potências instaladas chegando a 14 gigawatts (GW), como é o caso da binacional Itaipu. Para classificar uma usina hidrelétrica são utilizadas algumas variáveis como: altura da queda d'água, vazão, potência instalada, tipo de turbina, tipo de barragem e reservatório. Ao analisar a potência instalada podemos classificar em usina de grande porte, médio porte ou em uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) classifica as hidrelétricas dividindo em três grupos de acordo com a potência instalada: Potência instalada com até 0,001 gigawatt (GW) são Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), potência instalada entre 0,0011 e 0,03 gigawatts (GW) são Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e potência instalada superior a 0,03 gigawatts (GW) são as Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE) [4].

Naturalmente as Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE) estão distantes dos grandes centros de consumo de energia, portanto necessitam da construção de grandes linhas de transmissão que muitas vezes cruzam o território de diversos estados. Já as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) ou as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) em geral abastecem pequenos centros consumidores, então não se faz necessária grandes linhas de transmissão.

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo federal tem investido em empreendimentos na bacia do rio Amazonas, no rio Madeira particularmente, na bacia do rio Tapajós e na bacia do rio Xingu onde o potencial hidrelétrico tem muito a ser explorado.

O governo brasileiro pretende investir cerca de R\$ 107 bilhões em usinas hidrelétricas até 2016. Em contra partida estima-se que em 2030 o consumo de energia elétrica será entre 950 e 1250 terawatts hora por ano (TWh/ano), ou seja, mesmo com a utilização de 80% do potencial hidrelétrico brasileiro a produção de eletricidade poderia não atender a demanda [17].

## **2.2 Termelétrica**

Usinas termelétricas convencionais geram energia a partir da queima em caldeira de óleo combustível, gás natural ou carvão. O calor produzido na queima dos combustíveis dentro da caldeira aquece a água dentro de uma rede de tubos que por sua vez produz vapor suficiente para movimentar uma turbina ligada a um gerador que produz energia elétrica. Como o ciclo é fechado, o vapor é resfriado por um condensador e volta à rede de tubos da caldeira [4]. Normalmente, usinas termelétricas são instaladas próximas a mares ou rios a fim de que a água para o resfriamento do vapor seja utilizada desses meios, o que pode acarretar um prejuízo da fauna e da flora da região, além de aumentar a temperatura local.

Cabe ressaltar que 81% da energia elétrica consumida no mundo é proveniente de termelétricas que utilizam combustíveis fósseis como: carvão, gás natural e petróleo, e desse potencial aproximadamente 13% são usinas nucleares. As Tabelas 2.3 e 2.4 representam a capacidade instalada de geração termelétrica por região no mundo e os dez maiores países geradores. Apresenta inclusive a taxa de variação média anual ( ) por região e país [14].

Tabela 2.3 ó Capacidade instalada de geração termelétrica por região no mundo (GW).

|                          | 2006 | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | (%)<br>médía |
|--------------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| Mundo                    | 2885 | 3002,2 | 3097,8 | 3221,1 | 3354,4 | 3482,9 | 3617,3 | 3455,8 | 3,83         |
| Ásia e Oceania           | 1027 | 1122,6 | 1189,8 | 1265,9 | 1348,3 | 1443,2 | 1544,8 | 1653,6 | 7,04         |
| Am. do Norte             | 838  | 843,8  | 850,3  | 862,4  | 873,1  | 882,0  | 891,0  | 900,1  | 1,02         |
| Europa                   | 461  | 465,5  | 471,0  | 474,8  | 488,8  | 496,0  | 503,4  | 510,8  | 1,48         |
| Or. Médio                | 143  | 147,9  | 155,9  | 173,3  | 187,5  | 200,8  | 214,9  | 230,2  | 7,08         |
| América do Sul e Central | 85   | 87,9   | 93,5   | 100,9  | 106,9  | 113,2  | 119,9  | 127,0  | 5,92         |
| África                   | 91,2 | 92,8   | 96,9   | 101,8  | 104,4  | 108,0  | 111,7  | 115,6  | 3,46         |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

Tabela 2.4 ó Capacidade instalada de geração termelétrica ó 10 maiores países (GW).

|             | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | (%)<br>médía |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| China       | 484,1 | 554,5 | 601,3 | 652,1 | 706,6 | 776,9 | 854,4 | 939,4 | 9,96         |
| EUA         | 761,6 | 764,0 | 770,2 | 774,3 | 782,2 | 787,4 | 792,5 | 797,8 | 0,66         |
| Japão       | 176,3 | 176,9 | 179,3 | 181,7 | 182,4 | 183,9 | 185,5 | 187,1 | 0,86         |
| Índia       | 107,8 | 117,8 | 121,9 | 132,4 | 147,2 | 158,9 | 171,7 | 185,5 | 8,01         |
| Rússia      | 151,5 | 153,3 | 152,7 | 153,8 | 156,7 | 158,0 | 159,4 | 160,7 | 0,85         |
| Itália      | 64,3  | 67,5  | 71,0  | 71,1  | 72,5  | 74,7  | 76,9  | 79,3  | 3,02         |
| Reino Unido | 64,8  | 64,8  | 65,0  | 65,8  | 70,5  | 72,0  | 73,6  | 75,2  | 2,18         |
| Alemanha    | 74,8  | 72,9  | 74,5  | 74,1  | 70,4  | 69,0  | 67,6  | 66,2  | - 1,47       |
| C. do Sul   | 46,5  | 49,8  | 55,8  | 56,3  | 60,2  | 64,2  | 68,5  | 73,1  | 6,71         |
| Irã         | 41,1  | 43,7  | 45,2  | 48,7  | 53,5  | 56,8  | 60,2  | 63,9  | 6,11         |
| Brasil      | 20,4  | 21,2  | 24,0  | 25,4  | 28,8  | 30,8  | 32,9  | 35,2  | 6,93         |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A região que lidera o ranking das maiores reservas de petróleo no mundo é o Oriente Médio com aproximadamente 61% do total mundial e dentre os países que mais produzem petróleo no mundo estão: Arábia Saudita, Rússia, Estados Unidos, Irã e China. No Brasil a produção é crescente e suas principais reservas encontram-se no mar. Nos últimos anos os países em desenvolvimento econômico acelerado têm ocupado posição de destaque no consumo de petróleo, como é o caso da China, da Rússia e da Índia.

Nos países europeus, as termelétricas que utilizam petróleo funcionam como fontes complementares de geração de energia elétrica em horários de pico ou quando acontece interrupção no fornecimento. No Brasil, as termelétricas a base de petróleo têm função semelhante, portanto de pequena participação na matriz energética, correspondendo a aproximadamente 2,8% da energia elétrica produzida [15].

A região Norte contém as principais usinas abastecidas por óleo diesel, que são utilizadas para atender sistemas isolados. As demais estão distribuídas por todo território nacional e são também complementares ao sistema hidrelétrico. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) já outorgou novos empreendimentos para o crescimento da potência instalada [4].

Outro insumo para a geração de energia elétrica é o gás natural que, a partir dos anos 80, foi o combustível fóssil que teve maior crescimento em sua utilização no mundo. Atualmente ficando atrás apenas do carvão mineral, como insumo para a geração de eletricidade. No Brasil não foi diferente, o país tem a maior parte das termelétricas em operação utilizando o gás natural [16]. Isso se deve ao interesse de substituir a utilização do petróleo, devido ao custo e também ao impacto ambiental ser menor. No Brasil o grande crescimento refere-se à importação da Bolívia, um dos países de maior reserva na América Latina.

No final de 2007 as reservas mundiais de gás natural eram suficientes para atender a demanda dos próximos 60 anos, porém esse cenário é muito variável por depender de novas explorações, aumento de consumo e investimentos em energias renováveis que obviamente preservam a utilização de combustíveis fósseis. No país, a Petrobrás é a única companhia que opera na exploração e transporte do gás natural, às vezes com parcerias com a iniciativa privada.

O Oriente Médio é a região que possui a maior reserva de gás natural do mundo, como no caso do petróleo. Já os países com as maiores reservas são: Rússia, Irã, Catar, Arábia Saudita, Emirados Árabes, Estados Unidos, Nigéria e Venezuela. Tanto na produção como no consumo, os Estados Unidos e a Rússia são os países que ocupam as primeiras posições, favorecidos pela

rede de gasodutos construída ao longo do século XX. Mesmo com a enorme produção, os Estados Unidos tem a necessidade de importar parte do gás utilizado, do México e do Canadá, já a Rússia exporta parte da produção não consumida. No caso brasileiro, como a maior parte das termelétricas utiliza gás natural, o país tem necessidade de importar o produto, isso causa uma determinada ãinsegurançã nos períodos de estiagem quando os níveis dos reservatórios hídricos ficam baixos, pois o país necessita importar mais e isso pode alterar o custo da energia elétrica produzida.

Apenas 4,4% das reservas mundiais estão nas Américas Central e do Sul, com destaque para Argentina, Trinidad e Tobago, Venezuela e Bolívia. Porém devido ao consumo seriam suficientes para cerca de 50 anos. Já no Brasil o gás natural é encontrado associado ao petróleo, na grande maioria no mar e não em terra, principalmente nos litorais dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. De acordo com estudos, existem perspectivas de grande oferta de gás natural na bacia de Santos, o que tornaria o país autossuficiente. O Brasil possui reservas importantes também no estado do Amazonas, onde está sendo construído gasoduto para geração de eletricidade em Manaus.

A estimativa é que a demanda por gás natural para gerar eletricidade deve expandir até 2020, principalmente na Ásia e na África. Isso se deve ao interesse de substituir outros combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo. Atualmente, o gás natural é responsável por 22% da matriz elétrica mundial e 5,7% da matriz elétrica brasileira. Esses percentuais foram atingidos em consequência da crise de petróleo nos anos 70, e de acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, as termelétricas movidas a gás natural deverão aumentar [12].

A utilização do gás natural teve um crescimento considerável nos anos 80 devido à tecnologia de geração a ciclo combinado e também com o montante de reservas mundiais, hoje iguais ao petróleo. No entanto, cabe ressaltar que o uso do gás natural para a produção de energia elétrica fica comprometido, pois 58% das reservas mundiais estão concentradas em apenas três países: Rússia, Catar e Irã. Portanto, diversas vezes questões políticas podem comprometer o fornecimento do insumo, causando sérios problemas para a manutenção da geração termelétrica. Caso exemplar é a questão do gasoduto Bolívia - Brasil.

Como já citado anteriormente, a questão do suprimento de gás tem perspectivas que deixariam o Brasil sustentável. De acordo com a Petrobrás [12], a produção de gás natural deverá atingir 657 bilhões de metros cúbicos nos próximos anos, ou seja, o suficiente para suprir o

consumo brasileiro por um período de 20 a 30 anos. A questão é que aproximadamente 80% das reservas de gás natural estão associadas a jazidas de petróleo, e como o petróleo tem valor comercial bem acima do gás, os investidores preferem apostar na exploração do mesmo. Isso certamente levará a um aumento do custo para a utilização do gás natural, o que ocorreu da mesma maneira em outros países. Algo possível para a redução dos preços desse insumo é criar um mercado flexível de gás, de forma que quando a disponibilidade de gás diminui o consumo também cai e vice-versa, na grande oferta do insumo utilizar o sistema de reservatórios virtuais como descreve a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [4].

Outro combustível fóssil utilizado na geração de energia elétrica é o carvão mineral, que começou a ser usado no final do século XIX e, como o gás natural, o grande interesse no aproveitamento do carvão apareceu na década de 70 em consequência da crise do petróleo, o que permanece em alta até os dias de hoje. Os fatores positivos que fazem com que o carvão seja utilizado em larga escala são: a grande oferta e os preços serem competitivos com relação a outros insumos existentes.

O carvão mineral é responsável por 62% da geração de energia elétrica no mundo e 1,3% no Brasil, e a projeção do uso do insumo deve manter-se nessa posição pelo menos nos próximos 30 anos. Dependendo do consumo do carvão, as reservas podem durar mais de 200 anos, pois o carvão é o recurso fóssil mais abundante no mundo, e assim como acontece com o petróleo, os Estados Unidos e a China são os maiores consumidores. O grande problema para o uso do carvão mineral é ambiental, por causar degradação do solo nas áreas de extração, além de ser o maior responsável por emissões de gás carbônico.

Como já citado, a utilização do carvão causa grande prejuízo para o meio ambiente, por essa razão muitos analistas acreditam que a utilização desse insumo deve diminuir nos próximos anos. Por outro lado devido à grande oferta do carvão, muitos acreditam que a utilização deva crescer no futuro próximo.

### **2.3 Solar**

A energia solar tem participação pouco expressiva na matriz energética mundial, mesmo assim entre os anos de 1996 e 2006, a utilização dessa fonte de energia cresceu mais de 2000%. Pode-se dizer que apenas 0,1% da energia consumida no mundo é proveniente da energia solar [18].



No cenário mundial a Alemanha é a maior produtora de energia solar, com aproximadamente 49% da potência total instalada no mundo [5], outros países que se destacam são: Japão, Estados Unidos e Espanha que somados à Alemanha atingem aproximadamente 84% da capacidade mundial. Isso se deve a esses países terem fortes programas de limpeza da matriz energética [18].

Ainda hoje a maioria dos empreendimentos instalados é para abastecer localidades isoladas, mas com o decorrer dos anos essa situação tem se alterado, como por exemplo, em Portugal e na Austrália, onde os investimentos para a geração de energia elétrica a partir de centrais fotovoltaicas têm crescido acentuadamente [3].

A energia solar é utilizada tradicionalmente para a obtenção de energia térmica, e no caso residencial particularmente para aquecer a água. Por muito tempo, Israel foi o único país a exigir a instalação residencial de energia solar para o aquecimento da água, porém a partir de 2006, a Espanha seguida de outros países passou a exigir índices mínimos de energia solar para aquecimento de água e também para a geração de energia elétrica em construções residenciais, hotéis e hospitais. No Brasil, embora não haja exigência para instalação de energia solar, a tendência é o avanço de instalações em grandes centros urbanos como, por exemplo, a cidade de São Paulo.

O Plano Nacional de Energia 2030 [9] afirma que se considerar a energia solar que chega à Terra nas formas térmica e luminosa seria suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia no mundo.

Como a radiação depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas, a superfície terrestre não é atingida de maneira uniforme. A maior parte da energia solar está sob a forma de luz que pode ser utilizada como energia térmica ou elétrica dependendo do equipamento de captação. Se for utilizada uma superfície escura para a captação de luz solar, a energia será transformada em calor, porém com o uso de painéis fotovoltaicos obtêm-se eletricidade. Com base nesses princípios, existem dois sistemas para a produção de eletricidade por energia solar: o hidrotérmico, onde o calor é transformado em eletricidade, portanto é pouco utilizado, e o fotovoltaico onde a radiação é transformada diretamente em eletricidade.

O painel fotovoltaico produz energia elétrica basicamente através de um material semicondutor que, estimulado pela radiação gera um fluxo eletrônico. Como a célula fotovoltaica

possui duas camadas de semicondutores carregados positiva e negativamente, ao ser atingido pela luz do sol, a junção dos semicondutores produz campo elétrico [18].

A partir de 2007, no Brasil, os sistemas fotovoltaicos passaram a ser conectados à rede, não ficando apenas sendo utilizado para regiões isoladas, o que proporcionou redução nos custos de instalação [18].

O Brasil é privilegiado em termos de radiação solar e assim como ocorre com os ventos, o país registra uma variação de radiação entre 8 e 22 megajoules por metro quadrado durante o dia e menores variações nos meses de maio à julho com cerca de 8 a 18 megajoules por metro quadrado. A região nordeste do Brasil possui índices de radiação semelhante às melhores regiões do mundo que são: a cidade de Dongola no deserto do Sudão e a região de Dagget, no deserto de Mojave, na Califórnia [4].

Mesmo com o potencial que o Brasil possui, a utilização da energia solar na matriz energética nacional é ainda bastante reduzida, prova disso é que o percentual de energia solar fotovoltaica no Banco de Informações de Geração é quase desprezível na atualização de 2014 [19]. O que ocorre no Brasil são pesquisas de implantação de projetos para atender áreas distantes das redes de transmissão e, pela primeira vez no ano de 2013, a energia solar fotovoltaica participou do leilão para venda de eletricidade. Porém, não houve sucesso devido à concorrência financeira com outras fontes.

O programa luz para todos lançado em 2003 pelo Ministério de Minas e Energia instalou diversos sistemas fotovoltaicos no estado da Bahia. O governo quer atender o objetivo de levar energia elétrica para a população que reside no interior do país através de três iniciativas; ampliando as redes de distribuição, implantando sistemas de geração descentralizada com redes isoladas e ainda sistemas de geração individuais. Com isso o crescimento da utilização da energia solar no país deve crescer na geração descentralizada e também nas instalações individuais nos próximos anos.

## **2.4 Eólica**

A energia eólica é proveniente da energia cinética presente nos ventos. Para ser aproveitada na geração de energia elétrica, transforma-se energia cinética de translação em energia cinética de rotação através de equipamentos conhecidos como turbinas eólicas ou aerogeradores. Da mesma maneira que a energia hidrelétrica, a energia eólica começou a ser utilizada

há muitos anos no bombeamento de água, na moagem de grãos e demais aplicações que envolviam energia mecânica. Apenas no século XIX começaram as primeiras tentativas de geração de eletricidade através dos ventos, que se acentuou fortemente no século XX, mais precisamente no ano de 1970, com a crise mundial do petróleo. No ano de 1976 foi instalada a primeira turbina eólica à rede na Dinamarca [4].

Segundo o relatório do Global Wind Energy Council [3], em quinze anos a capacidade eólica mundial passou de 6,1 GW para 238,4 GW, o que corresponde a cerca de dezessete hidrelétricas de Itaipu, com destaque para China, Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Índia, Reino Unido, Itália, França, Canadá e Portugal [5], como se pode observar na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 ó Capacidade instalada de geração eólica - 10 maiores países (GW).

|             | <b>Potência eólica instalada (GW) ó final de 2013</b> |
|-------------|---|
| China       | 91,4  |
| EUA         | 61,1  |
| Alemanha    | 34,2  |
| Espanha     | 23,0  |
| Índia       | 20,1  |
| Reino Unido | 10,5  |
| Itália      | 8,5   |
| França      | 8,2   |
| Canadá      | 7,8   |
| Portugal    | 4,7   |

Fonte: Renewable Energy Policy Network Century, 2013.

Calcula-se que o potencial eólico no mundo seja algo em torno de 500000 terawatts-hora por ano (TWh/ano), o que significa mais de 30 vezes o atual consumo mundial de eletricidade [15]. Acredita-se que em 2020 a capacidade de energia eólica instalada será superior a 1200 gigawatts (GW), o que corresponderia aproximadamente 12% da eletricidade consumida no mundo [1,2].

Para avaliar o potencial eólico de uma região é necessário fazer estudos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de vento. A energia eólica é considerada

tecnicamente aproveitável quando a densidade do vento é igual ou superior a 500 watts por metro quadrado, a uma altura de 50 metros. Para isso é necessário que a velocidade mínima do vento seja 7 m/s. A Organização Mundial de Meteorologia afirma que apenas 13% da superfície terrestre apresenta essa característica [4]. Quando é levada em consideração a disponibilidade do recurso e restrições socioambientais, observa-se que 10% do potencial bruto são tecnicamente aproveitáveis, ou seja, cerca de 53000 terawatts-hora (TWh), o que corresponde a quatro vezes o consumo mundial de eletricidade.

Para o aproveitamento intenso de energia eólica é necessário à implantação de parques eólicos com uma quantidade variável de dez a cem aero geradores, com potência individual entre 0,0003 e 0,0025 gigawatts (GW). Normalmente os aero geradores são instalados a uma distância de 200 metros um do outro para evitar interferências. Um fator relevante nos parques eólicos é que a planta não impede atividade agrícola e ainda podem ser fontes de renda para os proprietários das áreas ocupadas (royalties) [17].

O Brasil é privilegiado em termos de vento, duas vezes superior à média mundial, e qualidade, pois têm apenas 5% de oscilação da velocidade. Outra característica que deve ser ressaltada é a velocidade dos ventos ser maior nos períodos de estiagem, quando os níveis dos reservatórios diminuem e a alternativa da energia eólica para suprir o déficit hídrico pode ser ainda melhor aproveitada [4]. Calcula-se que o potencial eólico brasileiro é algo em torno de 143 gigawatts (GW), o que corresponde a um volume superior à potência instalada no país em 2015 que é de 142 gigawatts (GW) [19]. A região Nordeste destaca-se por ter o maior potencial eólico, aproximadamente 75 gigawatts (GW).

O maior parque eólico do país é o complexo Eólico Alto Sertão I, localizado no estado da Bahia, com 0,294 gigawatts (GW) de potência instalada, o que corresponde a cerca de 30% de toda energia eólica gerada no Brasil. Podemos destacar ainda outros parques eólicos como: de Osório no município de Osório no Rio Grande do Sul (0,15 GW), de Praia Formosa no município de Camocim no Ceará (0,104 GW), de Alegria no município de Guamaré no Rio Grande do Norte (0,051 GW), de Rio de Fogo no município de Rio do Fogo no Rio Grande do Norte (0,041 GW) e Parque Eólico Eco Energy instalado no município de Beberibe no Ceará (0,025 GW). Até 2003 eram centrais pequenas que compunham energia eólica instalada no país. Entre os anos de 2003 e 2008 a capacidade instalada cresceu algo em torno de 65% [17], e ainda hoje longe de atingir a utilização do enorme potencial brasileiro.

## 2.5 Nuclear

Usinas nucleares também são consideradas termelétricas que, por fissão de materiais radioativos, em particular o urânio enriquecido, geram energia elétrica. A energia nuclear é produzida a partir de um combustível fóssil, o átomo de urânio, que é conhecido desde a década de 40, considerada uma fonte limpa de energia, pois ao ser utilizado tem baixa emissão de gás carbônico que é o principal causador do efeito estufa.

Essa fonte de energia é utilizada quase que exclusivamente na produção de energia elétrica e, nas décadas de 60 e 70 a utilização do urânio como fonte de energia teve um acentuado crescimento que foi interrompido logo após, devido ao custo para a instalação da usina e pela ocorrência de dois famosos acidentes, o de Three Mile Island e o de Chernobyl. Além dos fatores citados para a paralisação no crescimento das usinas nucleares, outra questão que surgiu foi o uso do urânio para fins bélicos [7].

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) afirma que a utilização da energia nuclear tem futuro incerto, pois depende de fatores como: competitividade do custo de geração, disponibilidade de urânio, segurança no fornecimento de outros combustíveis e aceitação pela sociedade da segurança das unidades nucleares. No entanto, hoje 13% da energia elétrica no mundo são geradas nestas usinas, e mesmo sem previsão do percentual de crescimento, a tendência é crescer com a construção de novas usinas, principalmente nos países em desenvolvimento: China, Índia e outros. As Tabelas 2.5 e 2.6 representam a capacidade instalada de geração nuclear por região no mundo e os dez maiores países geradores, além de apresentar a taxa de variação média anual ( ) por região e país [14].

Tabela 2.6 ó Capacidade instalada de geração nuclear por região no mundo (GW).

|                          | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | (%)<br>média |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Mundo                    | 379,2 | 379,1 | 378,3 | 378,2 | 380,8 | 381,2 | 381,6 | 382,0 | 0,11         |
| Europa                   | 136,0 | 134,8 | 135,0 | 134,5 | 134,8 | 133,4 | 132,1 | 130,8 | 0,20         |
| América do Norte         | 115,0 | 115,0 | 115,5 | 115,0 | 115,2 | 115,2 | 115,2 | 115,3 | 0,02         |
| Ásia e Oceania           | 84,6  | 85,9  | 84,3  | 85,2  | 87,5  | 88,2  | 89,0  | 89,8  | 0,86         |
| América do Sul e Central | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 3,0   | 0,00         |
| África                   | 1,8   | 1,8   | 1,8   | 1,8   | 1,8   | 1,8   | 1,8   | 1,8   | 0,00         |
| Oriente Médio            | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,00         |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

Tabela 2.7 ó Capacidade instalada de geração nuclear ó 10 maiores países (GW).

|               | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | (%)<br>média |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| EUA           | 100,3 | 100,3 | 100,8 | 101,0 | 101,2 | 101,4 | 101,6 | 101,9 | 0,22         |
| França        | 63,3  | 63,3  | 63,3  | 63,1  | 63,1  | 63,0  | 63,0  | 63,0  | -0,08        |
| Japão         | 49,5  | 49,5  | 47,9  | 48,8  | 49,0  | 49,1  | ...   | ...   | ...          |
| Rússia        | 23,2  | 23,2  | 23,2  | 23,2  | 24,2  | 24,4  | 24,7  | 25,0  | 1,07         |
| Alemanha      | 20,2  | 20,2  | 20,5  | 20,5  | 20,5  | 20,6  | 20,6  | 20,7  | 0,37         |
| Coreia do Sul | 17,7  | 17,7  | 17,7  | 17,7  | 17,7  | 17,7  | 17,7  | 17,7  | 0,00         |
| Ucrânia       | 13,8  | 13,8  | 13,8  | 13,8  | 13,8  | 13,8  | 13,8  | 13,8  | 0,00         |
| China         | 8,0   | 9,0   | 9,0   | 9,0   | 10,7  | 11,5  | 12,4  | 13,4  | 7,85         |
| Canadá        | 13,3  | 13,3  | 13,3  | 12,7  | 12,7  | 12,6  | 12,4  | 12,3  | -1,12        |
| Reino Unido   | 11,0  | 11,0  | 11,0  | 10,9  | 10,9  | 10,9  | 10,8  | 10,8  | -0,22        |
| Brasil        | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 0,00         |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

O Japão tem um futuro incerto para a geração nuclear, já que desde a tragédia de 2011, apenas dois reatores permanecem ligados dos 54 existentes, e governo não sabe se os mesmos serão religados ou não.

As reservas de urânio no mundo totalizam 4,6 milhões de toneladas distribuídas em 14 países, ressaltando a Austrália, o Cazaquistão e o Canadá que juntos somam 50% do volume total. No Brasil com apenas 25% do território pesquisado, o volume é de 278,7 mil toneladas, fazendo com que o país ocupe o 7º lugar no ranking mundial. As jazidas estão localizadas principalmente nos estados da Bahia, do Ceará, do Paraná e de Minas Gerais, e a principal reserva é no município de Caetité na Bahia, com volume de 100 mil toneladas, o que é suficiente para abastecer o complexo nuclear de Angra I, II e III por 100 anos.

Os maiores consumidores de urânio são os Estados Unidos, a França e o Japão. Os Estados Unidos possuem o maior parque nuclear do planeta, com 104 usinas em operação, acompanhado da França (58 usinas), Japão (50 usinas), Rússia (33 usinas) e Coreia do Sul (21 usinas) [5]. A França é o país que mais depende da geração nuclear para produzir eletricidade, aproximadamente 77% da energia consumida no país é proveniente de reatores nucleares [5].

No Brasil, com a possibilidade de esgotamento do potencial hidrelétrico nos próximos anos e com isso a tendência da oferta de energia elétrica não atender a demanda, voltaram a acontecer discussões para o investimento em empreendimentos nucleares, algo que de maneira geral estava esquecida. Até a presente data, temos em operação as usinas nucleares de Angra I, com potência instalada de 0,657 gigawatts (GW), que entrou em operação comercial em 1985 e Angra II, com potência instalada de 1,35 gigawatts (GW), que entrou em operação no ano 2000 [4]. O único projeto em andamento é a construção da usina de Angra III, com capacidade instalada de 1,405 gigawatts (GW) e está localizada no município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. Esta será a terceira usina do complexo Nuclear Almirante Álvaro Alberto, com previsão de entrada em operação comercial para julho de 2016.

É conveniente ressaltar a eficiência da geração nuclear. Normalmente uma usina nuclear opera com capacidade acima de 85%, ao contrário das demais usinas térmicas, que na maioria dos casos operam com capacidade abaixo de 40%, ou seja, a geração nuclear opera por mais de 7400 horas por ano, enquanto que termelétricas convencionais não chegam há operar 3500 horas por ano.

## 2.6 Outras Fontes Renováveis

No conjunto de outras fontes renováveis estão presentes: marés, geotérmica (calor existente no interior da Terra), lixos e dejetos animais, entre outros, que por serem renováveis estão corretas diante do ponto de vista ambiental. Mundialmente, observa-se alto crescimento nas fontes eólica e solar e nessas outras fontes renováveis uma participação muito pouco expressiva na matriz mundial. As tabelas 2.7 e 2.8 representam a capacidade instalada de geração alternativa (geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas e biomassa) por região no mundo e os dez maiores países geradores, apresenta inclusive a taxa de variação média anual ( ) por região e país [14].

Tabela 2.8 ó Capacidade instalada de geração renovável por região no mundo (GW).

|                          | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | (%)<br>média |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Mundo                    | 136,2 | 160,5 | 197,4 | 237,7 | 293,3 | 355,4 | 430,5 | 521,7 | 21,16        |
| Europa                   | 72,8  | 84,1  | 100,1 | 120,7 | 145,7 | 173,3 | 206,1 | 245,2 | 18,95        |
| Ásia e Oceania           | 24,7  | 31,1  | 41,9  | 49,4  | 71,1  | 92,9  | 121,3 | 158,5 | 30,63        |
| América do Norte         | 29,7  | 35,8  | 44,9  | 56,5  | 62,6  | 75,5  | 91,1  | 109,8 | 20,62        |
| América do Sul e Central | 7,6   | 7,9   | 8,7   | 8,9   | 11,2  | 12,4  | 13,7  | 15,1  | 10,52        |
| África                   | 1,0   | 1,1   | 1,3   | 1,5   | 1,7   | 1,9   | 2,2   | 2,5   | 13,71        |
| Oriente Médio            | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,4   | 0,6   | 0,9   | 1,3   | 50,25        |
| Eurásia                  | 0,3   | 0,4   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,9   | 1,0   | 20,28        |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.



Tabela 2.9 ó Capacidade instalada de geração renovável ó 10 maiores países (GW).

|             | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012  | 2013  | (%)<br>média |
|-------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------------|
| China       | 4,6  | 8,2  | 15,0 | 19,3 | 36,2 | 61,7 | 104,7 | 177,5 | 69,59        |
| EUA         | 25,0 | 30,9 | 39,4 | 49,4 | 54,7 | 66,6 | 81,1  | 98,8  | 21,80        |
| Alemanha    | 27,6 | 30,9 | 34,3 | 41,6 | 51,3 | 59,9 | 70,1  | 81,9  | 16,88        |
| Espanha     | 12,6 | 16,3 | 20,8 | 23,7 | 26,3 | 31,7 | 38,2  | 45,9  | 20,47        |
| Índia       | 7,4  | 9,3  | 11,8 | 13,2 | 15,7 | 18,9 | 22,9  | 27,7  | 20,78        |
| Itália      | 3,8  | 4,7  | 6,1  | 8,6  | 12,2 | 16,3 | 21,9  | 29,4  | 34,08        |
| França      | 2,7  | 3,6  | 5,0  | 6,3  | 8,5  | 11,3 | 15,0  | 20,0  | 33,30        |
| Brasil      | 6,5  | 6,6  | 7,4  | 6,7  | 8,8  | 9,6  | 10,4  | 11,3  | 8,88         |
| Reino Unido | 3,7  | 4,3  | 5,2  | 6,4  | 7,7  | 9,2  | 11,1  | 13,3  | 20,06        |
| Japão       | 5,5  | 5,5  | 5,9  | 6,7  | 8,0  | 8,8  | 9,7   | 10,7  | 10,06        |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

O biogás obtido a partir da biomassa é uma das fontes mais favoráveis ao meio ambiente, pois sua utilização reduz a poluição do solo e dos lençóis freáticos, além de reduzir a emissão de gases que causam efeito estufa. Nos últimos anos, a aplicação do biogás tem apresentado significativo crescimento principalmente em países como: China, Índia e Estados Unidos. No Brasil, segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) [19], da Aneel, em outubro de 2013 existiam 22 termelétricas movidas a biogás em operação, o que corresponde a aproximadamente 0,08 GW de potência instalada. Além do biogás, podemos destacar outros insumos que são utilizados como biomassa para obtenção de energia elétrica, como: bagaço de cana, licor negro, madeira e casca de arroz que juntos somam uma potência instalada da ordem de 1,1 GW [19].

A energia geotérmica é proveniente do calor presente no interior da Terra, onde os principais recursos são os gêiseres, que são fontes de vapor, ou quando os mesmos não estão presentes é utilizado o calor existente no interior das rochas para o aquecimento de água e a partir dessa água aquecida, é produzido o vapor utilizado em usinas termelétricas. Apesar de a primeira usina ter sido construída em 1904, a evolução deste segmento foi lenta e poucas usinas entraram em operação no mundo e ainda em poucos países [15]. No Brasil, nem em caráter experimental

tem-se usina geotérmica em funcionamento. Atualmente os empreendimentos já são significativos, por exemplo, a potência instalada no campo de gêiseres da Califórnia é de 0,5 GW.

Na busca de diversificar a matriz energética, alguns países como: México, Japão, Filipinas, Quênia e Islândia procuraram expandir o parque geotérmico, ainda que se verifique que o crescimento da utilização de energia geotérmica não acompanha o avanço de outras fontes renováveis como: eólica, solar e biomassa.

Para o aproveitamento da energia elétrica a partir do mar utilizam-se as marés, correntes marítimas, ondas, energia térmica e gradientes de salinidade. O mais comum é a produção de eletricidade a partir da energia cinética proveniente do movimento das águas (ondas) ou pela energia obtida através da diferença de nível do mar entre as marés alta e baixa.

De acordo com estudos nos últimos anos, o aproveitamento da energia por meio da usina maré motriz é a única que apresenta custo competitivo comparado às demais fontes. Um dos países com destaque na utilização dessa forma de energia é Portugal, com diversos projetos pilotos. Conforme estudos realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a expansão do uso dessa energia deverá acontecer a partir de 2025.

No Brasil, possuímos um projeto piloto no litoral do Ceará, com capacidade instalada de 500 KW. Os principais países do mundo para o aproveitamento das marés são: Argentina, Canadá, Índia, Coreia do Sul, México, Reino Unido, Estados Unidos e Rússia.

## **2.7 Energias Renováveis no Brasil**

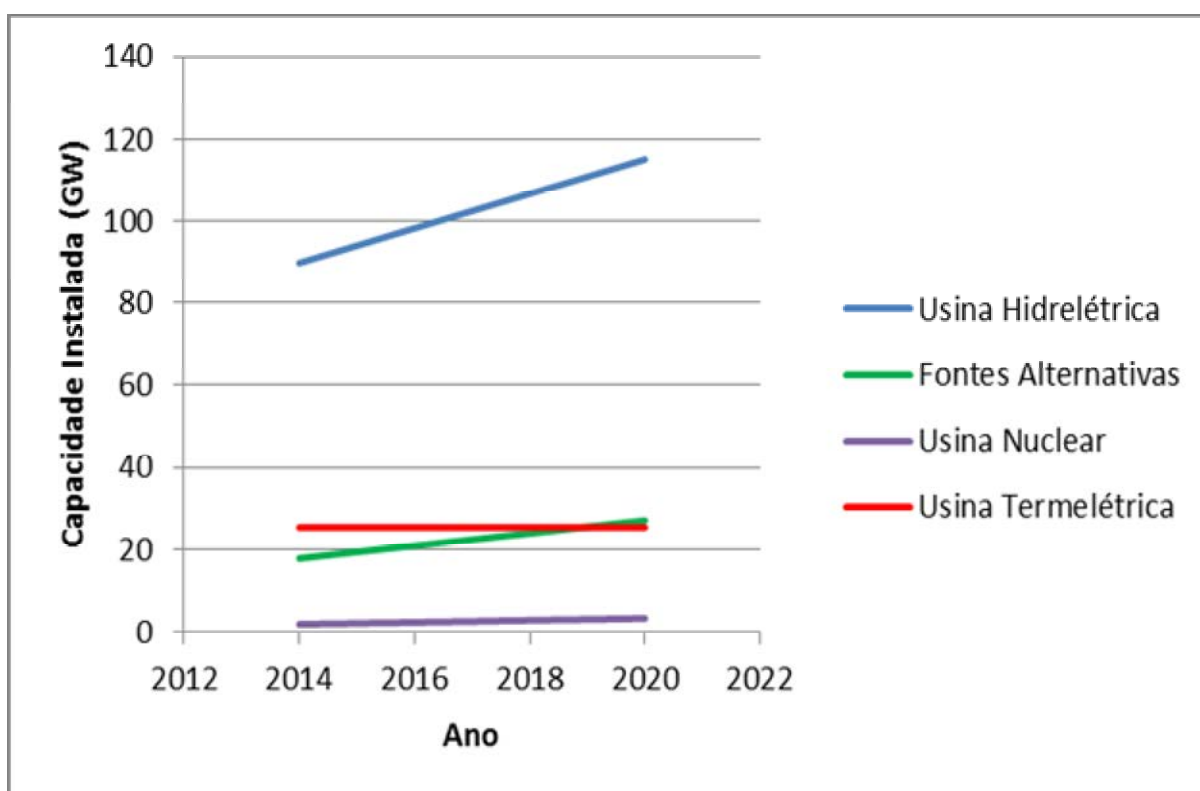
A matriz energética nacional apresenta uma característica diferenciada dos demais países do mundo, apresentando uma grande participação de fontes renováveis de energia, principalmente devido ao potencial hídrico do país. No entanto, frente a debates sobre a questão ambiental, aumento da segurança no fornecimento de energia e a necessidade de reduzir a utilização de combustíveis fósseis, o governo brasileiro criou em 2002 o Programa de Incentivo às Fontes Renováveis de Energia Elétrica (PROINFA) que tem por objetivo aumentar a utilização das fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

A primeira fase do Proinfa contempla a implantação de 144 usinas, entre parques eólicos, termelétricas movidas à biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, totalizando 3,3 GW de potência instalada, com garantia de 20 anos de contratação pela Eletrobrás. Mesmo que em ritmo lento, o Proinfa tem apresentado resultados na expansão das fontes alternativas de energia,

segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (PDE 2020), a capacidade instalada tem crescimento médio anual de 9% no país.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética [14], as fontes alternativas terão maior participação no parque de geração do Sistema Interligado Nacional (SIN), onde as grandes usinas hidrelétricas praticamente mantem o fornecimento de eletricidade, mesmo com o aumento da capacidade instalada em 25 GW e a energia nuclear deverá aumentar sua participação de 1% para 2% com a entrada em operação da usina Angra III, prevista para o ano de 2016. Como o governo concentra grande parte dos investimentos ainda no aproveitamento hidrelétrico, o plano Decenal de Energia 2020 faz uma projeção da participação das fontes de energia no país conforme a Figura 2.2 [11].

Figura 2.2 Participação das Fontes de Produção no Brasil ao Final de 2014 e previsão para 2020.



Fonte: Plano Decenal de Energia 2020, EPE, MME.

No ano de 2013, o Banco de Informações de Geração (BIG) da Aneel apresenta a energia hidrelétrica como responsável por 64,24% da energia elétrica produzida no país, o que corresponde a 87 GW. No entanto, como o Brasil é um dos países com maior potencial

hidrelétrico do mundo, com cerca de 260 GW, apenas 32% da capacidade está instalada, ou seja, ainda há um vasto potencial não explorado [19].

Nos últimos anos, o governo brasileiro tem investido na exploração do potencial hidrelétrico, porém mesmo assim tem feito muito pouco frente ao potencial existente, principalmente devido a questões ambientais, e também diante da necessidade de aumentar a oferta de energia elétrica para o país. A Figura 2.3 representa o potencial estimado e aproveitado por bacias hidrográficas nas diversas regiões do país.

Figura 2.3 ó Potencial Hidrelétrico por Bacia Hidrográfica - 2008.



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008.

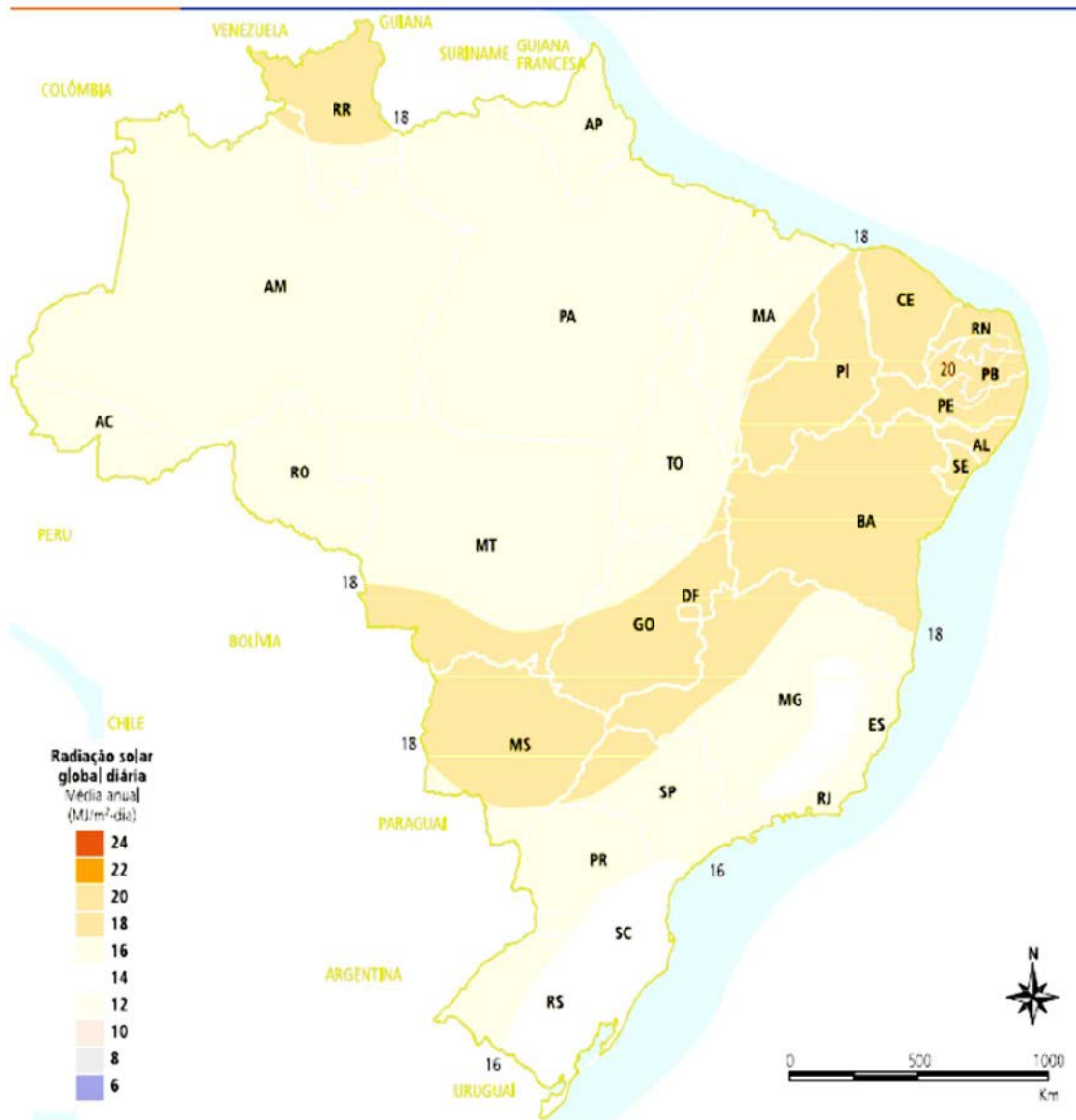
Sabe-se que mais de 70% do potencial hídrico não aproveitado no país está presente nas bacias dos rios Amazonas, Tocantins e Araguaia, nas regiões Centro-Oeste e Norte. O potencial hídrico nas regiões supracitadas não está relacionado apenas com a topografia do país, mas também com o histórico da exploração do parque hidrelétrico nacional. Por exemplo, a primeira usina de maior porte construída no país foi em 1948, na bacia do rio São Francisco (Paulo Afonso I), com potência instalada de 0,18 GW, e até a década de 90 a construção de hidrelétricas concentravam-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Apenas a partir dos anos 90 o potencial da região Norte começou a ser explorado com maior intensidade. Atualmente, nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, o potencial está quase totalmente explorado, enquanto muito ainda pode ser feito na região Norte, com um enorme potencial a ser aproveitado [17].

Na região Norte do país pode-se destacar a construção da usina de Belo Monte, que em operação produzirá 0,61 GW por ano de energia elétrica. Segundo estimativas apresentadas no Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2020, a capacidade de geração hidrelétrica aumentará de 86 GW para 115 GW, de 2013 até 2020. Mesmo com a projeção promissora do aproveitamento hidrelétrico nacional, o país terá que enfrentar questões de natureza ambiental e judicial, principalmente na exploração da bacia do rio Amazonas, onde provoca impacto na vida da população, na fauna e flora locais [17].

A utilização da energia eólica na matriz elétrica nacional é recente, com dados disponíveis apenas a partir de 2001. Segundo dados do Banco de Informações da Geração (BIG) Aneel, o parque eólico possui 3,8 GW de capacidade instalada, o que corresponde a 2,7% da energia elétrica produzida no país. Diante dos investimentos no setor estima-se um crescimento de potência instalada entre 2 a 3 GW por ano. Com a necessidade da diversificação da matriz energética nacional e frente ao enorme potencial (143 GW), o setor eólico encontra-se aquecido. Em 2011, o BNDES aprovou o financiamento de R\$ 297,4 milhões para a instalação de cinco parques eólicos no interior da Bahia. O segundo leilão de Energia de Reserva ocorrido em 2009 foi um sucesso e outros investimentos foram feitos no setor ou estão previstos [17].

Para conhecimento do potencial solar presente no território nacional, no ano 2000 foi publicado o Atlas Solarimétrico do Brasil, que apresenta uma estimativa da radiação solar incidente nas diversas regiões do país como demonstrado na Figura 2.4.

Figura 2.4 ó Radiação Global Diária ó Média Anual ó Brasil (MJ/m<sup>2</sup>.dia).



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000.

Observa-se que o Brasil apresenta um grande potencial solar, mesmo nas regiões de menor índice de radiação, porém o aproveitamento hoje pode ser considerável desprezível, diante da necessidade de aumento da oferta de energia e do potencial observado no Atlas. O país possui apenas quatro usinas de energia solar comerciais, sendo a maior delas no município de Tubarão no Estado de Santa Catarina, com capacidade instalada de 0,003 GW [18].

Em agosto de 2011 a Aneel publicou o chamado Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico (P&D) 013/2011 ó ãArranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira [18, 20]. As propostas apresentadas foram analisadas pela Aneel, pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e os projetos aprovados têm por objetivo alavancar estudos e pesquisas para comprovar a viabilidade dessa fonte alternativa de energia, pois a utilização da energia solar ainda não é competitiva no cenário nacional [20].

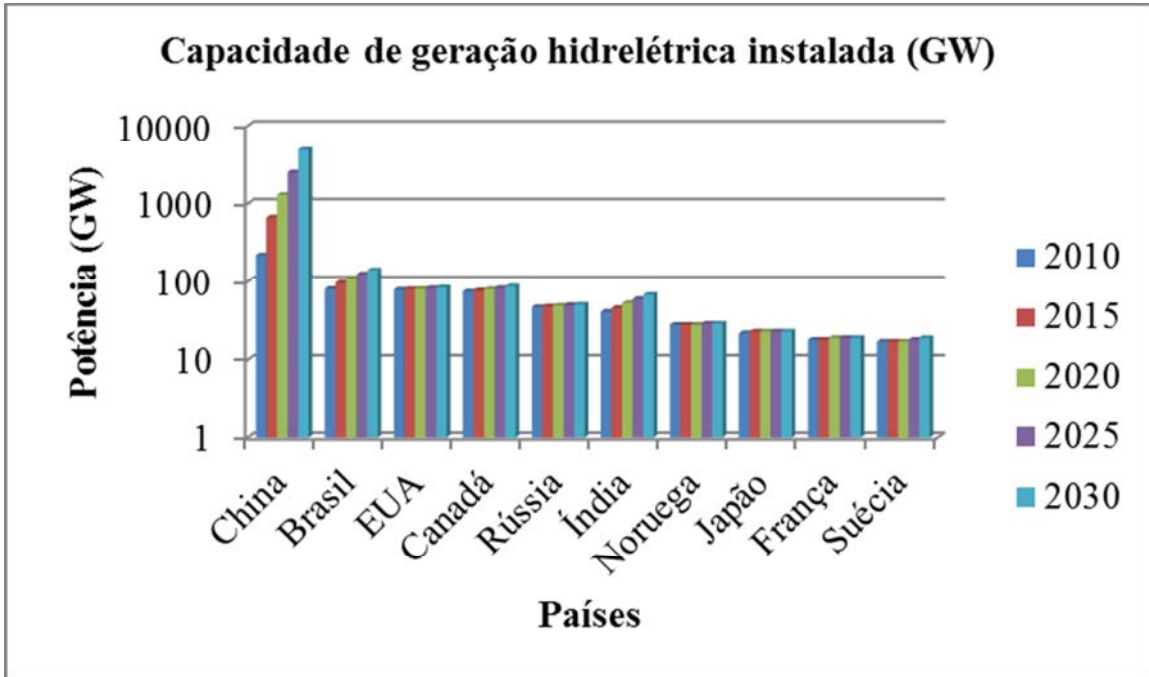
O potencial de energia geotérmica está presente em localidades geológicas onde a elevada temperatura do interior da Terra (100 a 300 °C) é capaz de trocar calor com a superfície através de fontes hidrotérmicas, o que ocorre geralmente nos limites das placas tectônicas, nas proximidades de vulcões e em locais de atividades sísmicas, pois são locais onde a crosta terrestre encontra-se fraturada, permitindo acesso às fontes de energia geotérmica. O Brasil apresenta regiões com essas características apenas em algumas ilhas do Atlântico, como Fernando de Noronha e Trindade, portanto possui poucas fontes para exploração dessa energia. O que ocorre com mais frequência nos estados de Goiás, Mato Grosso e Santa Catarina são fontes geotérmicas de baixa temperatura (menor de 90°C). Como as características para a utilização dessa forma de energia no Brasil não são favoráveis, impossibilitando a utilização em larga escala, os projetos tornam-se inviáveis [15].

## **2.8 Análises Comparativas**

Com os dados levantados nesse capítulo, é possível comparar a evolução da capacidade de geração instalada proveniente das fontes: hidrelétrica, térmica, nuclear e renovável, incluindo solar, eólica e outras fontes. Diante da taxa de variação média anual, é possível ainda fazer uma previsão para o panorama da capacidade instalada para as diferentes fontes.

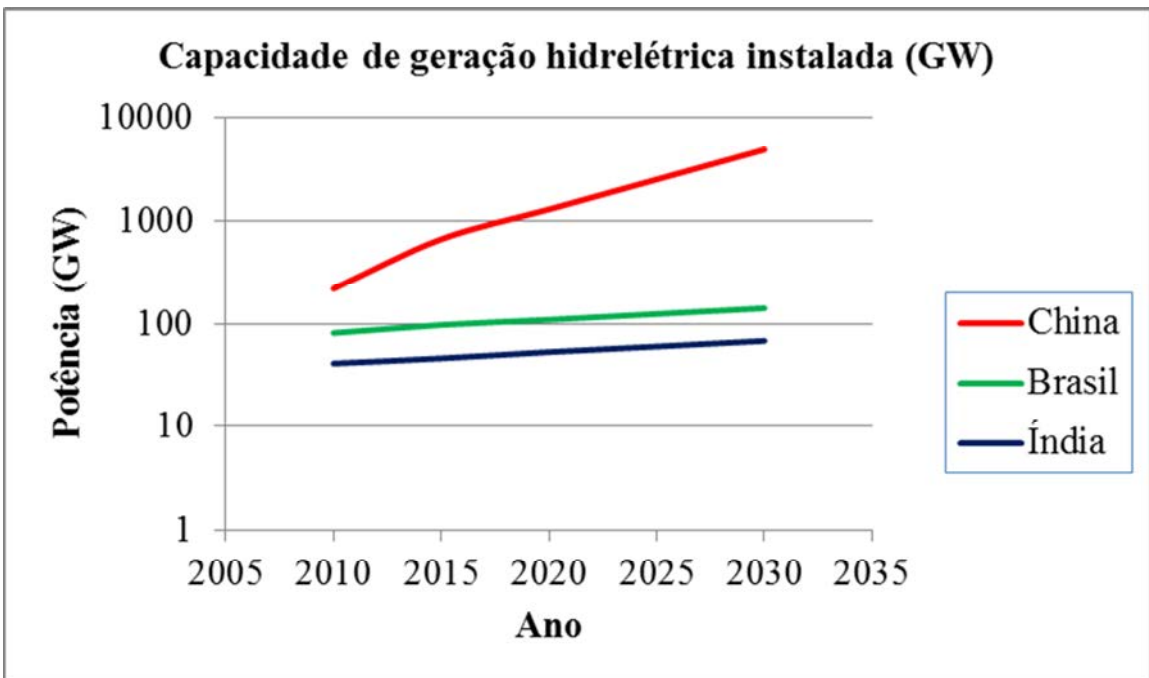
Assim, a Figura 2.5 representa a capacidade hidrelétrica instalada nos dez maiores países que fazem uso dessa fonte, onde se pode observar que a variação da capacidade instalada está praticamente estagnada na maioria dos países. Já a Figura 2.6 demonstra a progressão na China, no Brasil e na Índia, onde a capacidade hidrelétrica instalada cresce respectivamente 14,3%, 2,5% e 2,6% anualmente [14].

Figura 2.5 ó Capacidade hidrelétrica instalada e previsão para 2030 (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

Figura 2.6 ó Capacidade hidrelétrica instalada e previsão para 2030 ó comparação (GW).



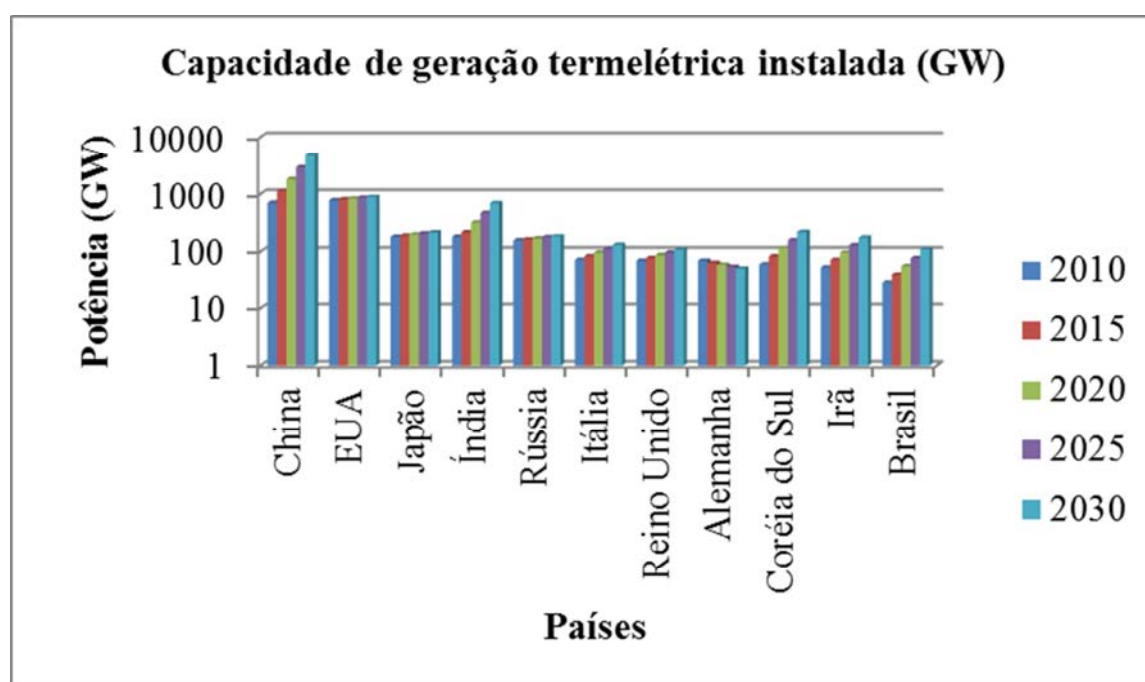
Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.



Analisando a Figura 2.6, pode-se destacar a China com crescimento muito acelerado e o Brasil, caso mantenha a taxa anual de 2,5%, atingirá 141 GW de capacidade hidrelétrica instalada em 2030.

A Figura 2.7 representa a capacidade termelétrica instalada nos dez maiores países que fazem uso dessa fonte, onde se pode observar que a variação da capacidade instalada é crescente na maioria dos países, com exceção da Alemanha que tem reduzido sua capacidade termelétrica.

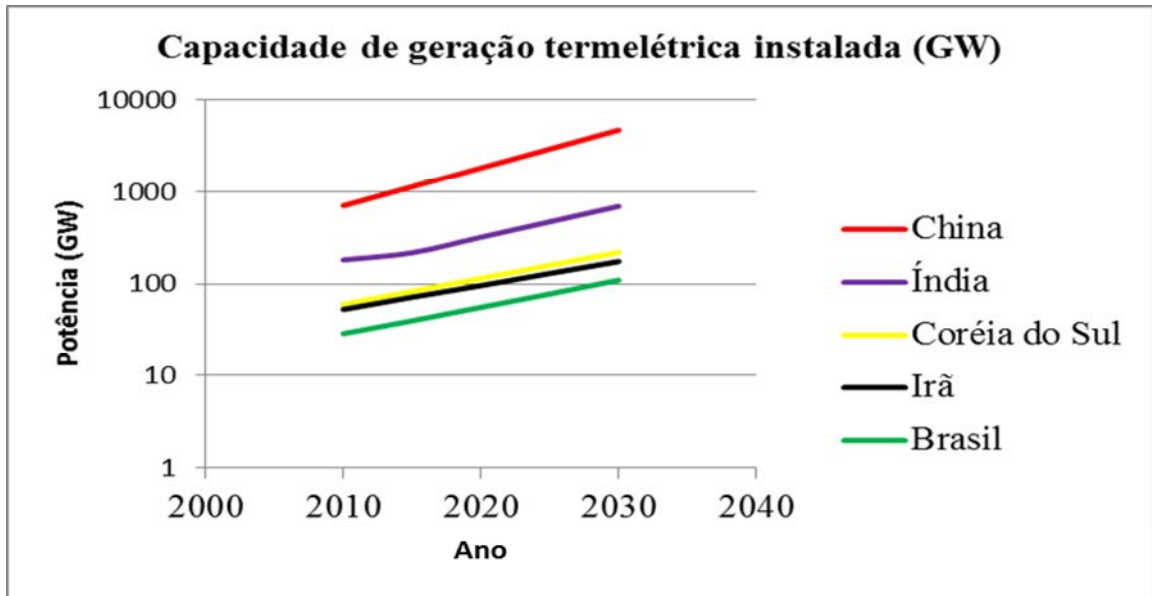
Figura 2.7 ó Capacidade termelétrica instalada e previsão para 2030 (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 2.8 mostra a comparação dos cinco países com maior taxa anual de crescimento da capacidade termelétrica instalada [14], destaque novamente para China, com potência instalada de 940 GW em 2013 e taxa média anual de variação de 10%. Os demais países representados possuem capacidade instalada muito inferior à da China, porém taxas médias de variação anual entre 6% e 8%. Caso o Brasil mantenha a taxa média de crescimento, atingirá 110 GW de potência termelétrica instalada em 2030.

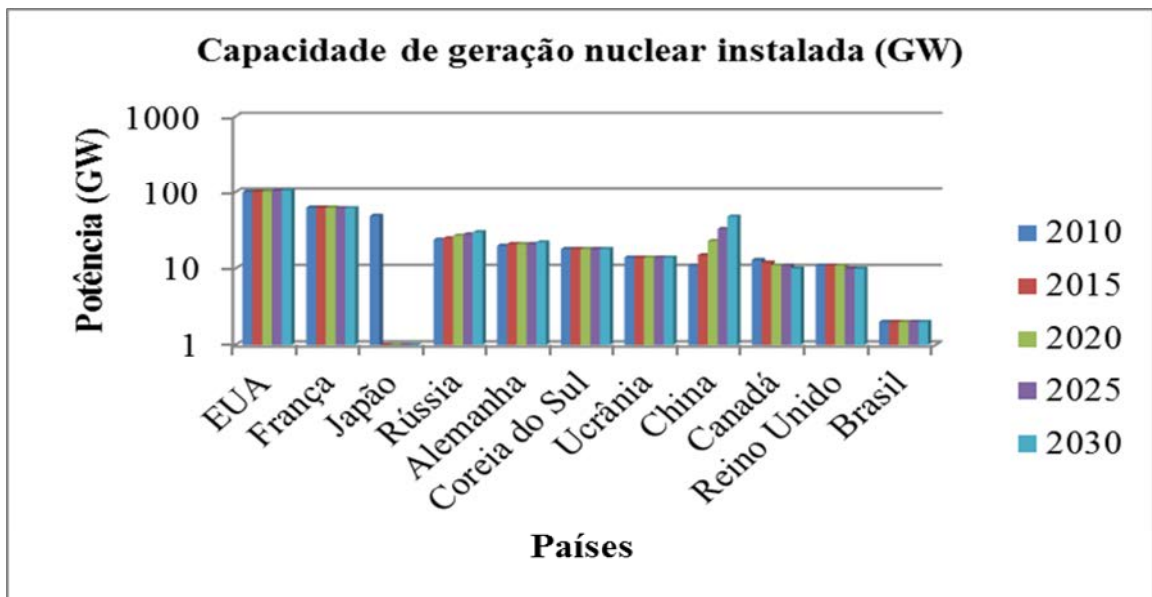
Figura 2.8 ó Capacidade termelétrica instalada e previsão para 2030 - comparação (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 2.9 representa a capacidade nuclear instalada nos dez maiores países que fazem uso dessa fonte, onde se pode observar que a variação da capacidade instalada está estagnada na maioria dos países, com exceção da China que tem crescido sua capacidade nuclear com taxa média anual de 7,8% [14].

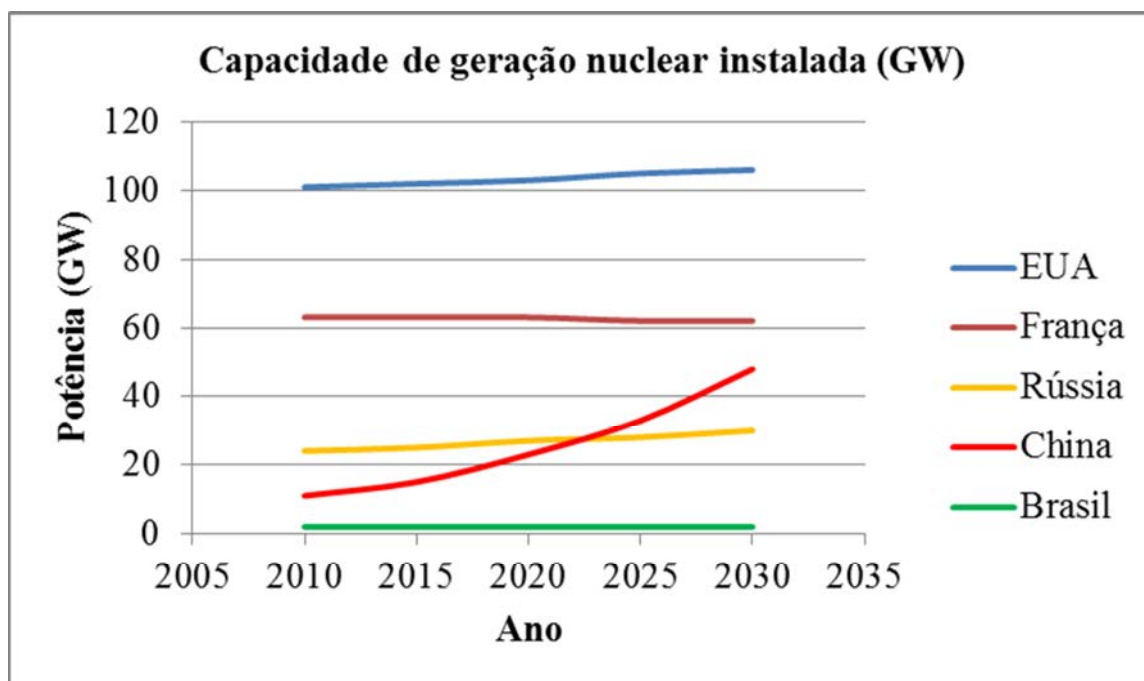
Figura 2.9 ó Capacidade nuclear instalada e previsão para 2030 (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 2.10 representa a comparação entre a capacidade nuclear instalada, nos Estados Unidos, França, Rússia, China e Brasil. Observamos crescimento acentuado na China, mesmo após o acidente ocorrido no Japão, e o Brasil com apenas 2 GW de capacidade nuclear instalada [14].

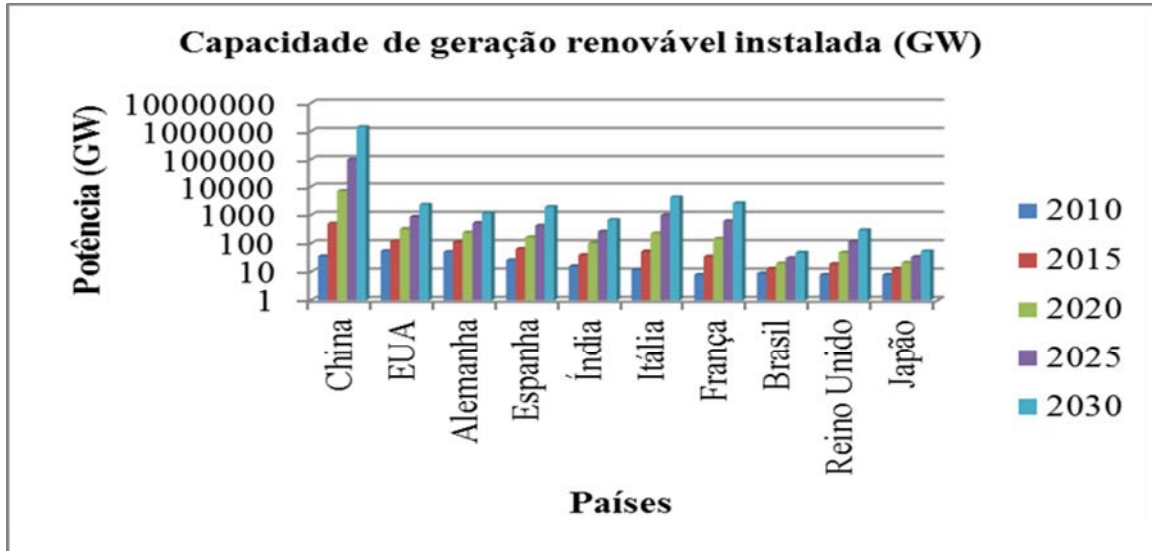
Figura 2.10 Capacidade nuclear instalada e previsão para 2030 - comparação (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 2.11 representa a capacidade renovável instalada nos dez maiores países que fazem usos dessas fontes, onde se pode observar que a variação da capacidade instalada é crescente em todos os países, principalmente devido à implantação de usinas eólicas, plantas fotovoltaicas e biomassa [14]. A China é mais uma vez o grande destaque com 69,5% de crescimento médio anual, já o aumento no Brasil se deve basicamente devido à energia proveniente do vento e da biomassa, e tem variação média anual de crescimento de 9,0% da sua capacidade instalada.

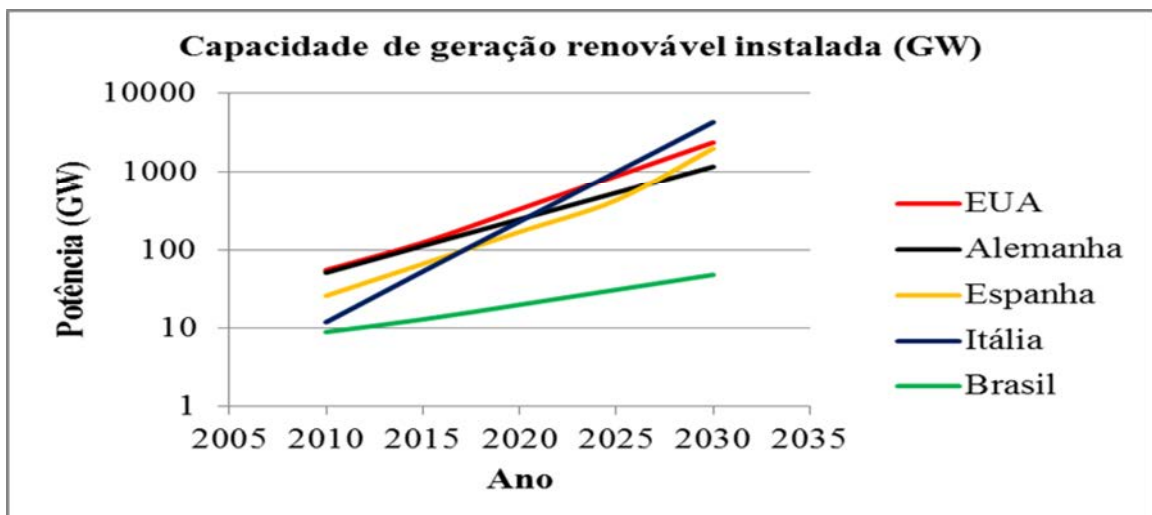
Figura 2.11 ó Capacidade renovável instalada e previsão para 2030 (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 2.12 representa a comparação entre a capacidade renovável instalada, nos Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Itália e Brasil. Observamos crescimento acentuado nos demais países e o Brasil teria apenas 48 GW de capacidade renovável instalada em 2030, caso mantenha a variação anual de crescimento de 9,0 % [14].

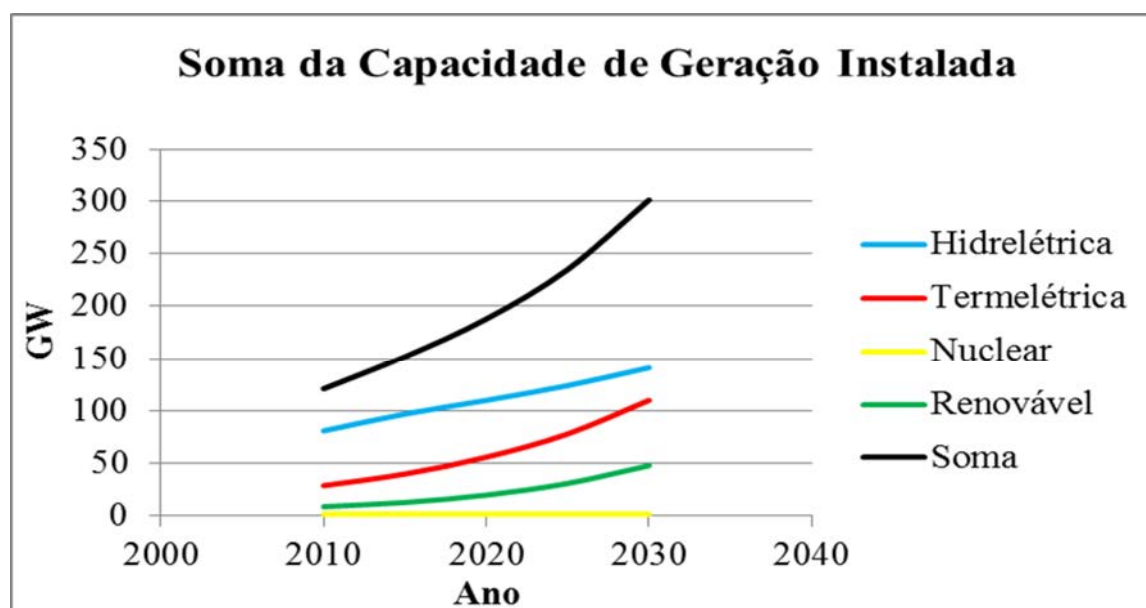
Figura 2.12 ó Capacidade renovável instalada e previsão para 2030 - comparação (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A figura 2.13 representa a soma da capacidade instalada das principais fontes geradoras no cenário nacional e a previsão para 2030, caso as projeções anuais se mantenham em 2,5%, 7,0%, 0% e 9,0% para as respectivas fontes: hidrelétrica, termelétrica, nuclear e renovável.

Figura 2.13 ó Soma da capacidade instalada e previsão para 2030 (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

## 2.9 Conclusões Preliminares

Com o estudo desse capítulo, pode-se concluir que com a estagnação da capacidade hidrelétrica, o crescimento pouco expressivo de capacidade termelétrica e nuclear instalada em países como: Estados Unidos, Canadá, Rússia, Noruega, França, Suíça, Japão e Alemanha, a opção para aumentar a oferta de energia elétrica tem sido novos empreendimentos em energias renováveis.

A China é o único país que apresenta crescimento de capacidade instalada nas mais diferentes fontes, no entanto, a capacidade instalada de geração renovável possui um crescimento de destaque, o que provavelmente deve ocasionar, no futuro próximo, uma redução nos investimentos provenientes de outras fontes não renováveis, já que a geração elétrica por renováveis deverá atender a crescente demanda, e ainda diante da necessidade urgente de diminuir a emissão de gases poluentes. A Alemanha, particularmente, já tem diminuído a

capacidade de geração termelétrica com tendências objetivas de atender sua demanda com geração renovável.

O Brasil, com exceção da energia nuclear, tem aumentado sua capacidade hidrelétrica, termelétrica e renovável, porém com crescimento renovável muito abaixo da necessidade da demanda e do potencial existente no país.

### **3 DADOS SOBRE A GERAÇÃO E A DEMANDA DE ENERGIA NO BRASIL E NO MUNDO**

Esse capítulo tem por objetivo mostrar um estudo sobre a demanda de energia elétrica no mundo e no Brasil. Para o estudo da demanda faz-se necessário compreender alguns conceitos, por exemplo, a distinção entre geração, demanda e consumo de eletricidade. A geração ou produção de eletricidade é medida em quilowatt x hora (KWh) ou megawatt x hora (MWh) por intervalo de tempo, ou seja, na condição teórica ideal seria a multiplicação da potência instalada por 8760 horas anuais. A demanda e o consumo utilizam as mesmas unidades da geração, porém a demanda significa a potência elétrica requerida por uma atividade ou usuário e o consumo é quantidade real de energia consumida num período de tempo.

Para atender a demanda, faz-se necessário um levantamento da geração ou produção real de eletricidade proveniente das principais fontes geradoras (hidrelétrica, nuclear, térmica, solar, eólica e outras fontes renováveis), já que a capacidade instalada apresentada no capítulo anterior não representa a capacidade de geração que um determinado país possui, pois vários fatores são determinantes para a produção de eletricidade como: necessidade dos consumidores, pois a energia gerada não é armazenada, nível dos reservatórios para a geração hidrelétrica, incidências de sol e vento para a geração fotovoltaica e eólica respectivamente, necessidade de aumentar a geração termelétrica para atender a demanda não suprida pela geração hidrelétrica, no caso da matriz elétrica nacional e outras situações.

Com os dados levantados foi possível representar a evolução da geração e do consumo no Brasil e no mundo, para um maior detalhamento, no Brasil o estudo foi dividido em consumo industrial, comercial e residencial, para facilitar a identificação da necessidade de energia elétrica nos diferentes setores e que medidas podem ser tomadas para atender a demanda. Ainda no cenário nacional será estabelecida a comparação entre a evolução da geração hidrelétrica com a projeção do consumo e a comparação considerando a inserção extensiva das fontes renováveis (além das hidrelétricas) na matriz elétrica brasileira, com a projeção do consumo.

#### **3.1 Cenário Internacional**

Como a maioria dos países possui seu potencial hídrico explorado, a geração hidrelétrica deverá permanecer inalterada, com exceção da China que ainda tem um crescimento considerado,

como se pode observar na Tabela 3.1 , que apresenta inclusive a taxa de variação média anual ( ) no mundo e por país [14].

Tabela 3.1 ó Geração hidrelétrica ó 10 maiores países (TWh).

|           | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>(%)<br/>média</b> |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|
| Mundo     | 3005,9      | 3044,8      | 3169,2      | 3221,7      | 3402,3      | 3509,8      | 3620,7      | 3735,1      | 3,16                 |
| China     | 431,4       | 480,4       | 579,3       | 609,5       | 713,8       | 810,6       | 920,5       | 1045,3      | 13,56                |
| Brasil    | 345,3       | 370,3       | 369,6       | 389,9       | 403,3       | 426,7       | 451,5       | 477,7       | 5,81                 |
| Canadá    | 349,3       | 363,9       | 370,6       | 365,0       | 348,0       | 348,6       | 349,2       | 349,8       | 0,17                 |
| EUA       | 289,2       | 247,5       | 254,8       | 273,4       | 260,2       | 254,5       | 248,9       | 243,4       | -2,24                |
| Rússia    | 171,6       | 175,3       | 163,1       | 172,4       | 164,8       | 163,1       | 161,5       | 159,9       | -0,87                |
| Noruega   | 118,2       | 132,3       | 137,7       | 124,0       | 116,4       | 116,3       | 116,2       | 116,0       | -0,03                |
| Índia     | 112,6       | 119,4       | 109,1       | 103,2       | 113,3       | 113,8       | 114,4       | 114,9       | 0,49                 |
| Japão     | 86,6        | 73,3        | 75,7        | 76,1        | 81,4        | 77,6        | 73,9        | 70,4        | -4,66                |
| Venezuela | 80,8        | 82,2        | 86,0        | 85,1        | 76,0        | 74,9        | 73,9        | 72,8        | -1,35                |
| Suécia    | 61,1        | 65,5        | 68,4        | 65,2        | 65,7        | 66,9        | 68,3        | 69,6        | 1,94                 |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A eletricidade no contexto mundial tem elevada dependência dos combustíveis fósseis. Em 1980 a oferta de energia era de 8300 TWh, com 71% dessa geração sendo produzida com a utilização de combustíveis fósseis, já em 2007 a oferta de energia era de 19800 TWh, sendo 68% dessa geração produzida a partir de combustíveis fósseis, ou seja, uma taxa anual de crescimento de aproximadamente 3,2%.

No mundo, atualmente, o carvão mineral é a maior fonte para produção de energia elétrica, em sequência vem o gás natural, a hidroeletricidade, a energia nuclear e finalmente o petróleo e seus derivados. A grande utilização de combustíveis fósseis é explicada por quatro fatores principais: grande disponibilidade de recursos, particularmente do carvão mineral; competitividade econômica; viabilidade técnica e econômica do seu transporte e adequada tecnologia para aproveitamento energético. Outra característica relevante que justifica o uso desses combustíveis é a facilidade de produzir energia na forma de calor, e assim serem



transformadas em outras formas de energia, por exemplo, elétrica, o que explica a grande utilização dos mesmos no passado, atualmente e ainda a tendência de permanecer no futuro, como demonstra a Tabela 3.2, que apresenta inclusive a taxa de variação média anual ( ) no mundo e por país [14].

Tabela 3.2 ó Geração termelétrica ó 10 maiores países (TWh).

|                | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | (%)<br>média |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Mundo          | 11942 | 12744 | 12862 | 12668 | 13473 | 13895 | 14330 | 14778 | 3,13         |
| China          | 2225  | 2539  | 2619  | 2802  | 3063  | 3320  | 3599  | 3901  | 8,40         |
| EUA            | 2885  | 2992  | 2927  | 2726  | 2883  | 2897  | 2911  | 2924  | 0,47         |
| Índia          | 573   | 623   | 659   | 718   | 749   | 701   | 749   | 801   | 6,92         |
| Japão          | 634   | 712   | 668   | 617   | 664   | 674   | 685   | 695   | 1,53         |
| Rússia         | 621   | 633   | 665   | 610   | 654   | 664   | 674   | 684   | 1,47         |
| Coreia do Sul  | 234   | 262   | 271   | 281   | 321   | 347   | 376   | 407   | 8,27         |
| Alemanha       | 365   | 372   | 364   | 326   | 347   | 343   | 339   | 335   | -1,06        |
| Reino Unido    | 279   | 290   | 290   | 260   | 271   | 270   | 268   | 266   | -0,57        |
| Arábia Saudita | 170   | 179   | 192   | 204   | 212   | 224   | 237   | 250   | 5,64         |
| África do Sul  | 223   | 233   | 226   | 218   | 228   | 229   | 230   | 231   | 0,52         |
| Brasil         | 38    | 44    | 51    | 31    | 61    | 44    | 71    | 81    | 14,09        |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Tabela 3.3 representa a geração nuclear e inclui a taxa de variação média anual ( ) no mundo e por país, porém a utilização dessa fonte de energia é incerta desde o acidente ocorrido no Japão em 2011 [14].

Tabela 3.3 ó Geração nuclear ó 10 maiores países (TWh).

|               | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | (%)<br>média |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Mundo         | 2660 | 2598 | 2603 | 2568 | 2620 | 2610 | 2599 | 2589 | -0,36        |
| EUA           | 787  | 806  | 806  | 799  | 807  | 812  | 817  | 822  | 0,63         |
| França        | 428  | 418  | 417  | 389  | 407  | 402  | 397  | 393  | -1,13        |
| Japão         | 288  | 251  | 245  | 266  | 274  | 263  | ...  | ...  | ...          |
| Rússia        | 144  | 152  | 154  | 155  | 162  | 167  | 172  | 177  | 2,98         |
| Coreia do Sul | 141  | 136  | 143  | 140  | 141  | 141  | 141  | 141  | 0,05         |
| Alemanha      | 159  | 133  | 141  | 128  | 133  | 128  | 123  | 119  | -3,81        |
| China         | 55   | 63   | 65   | 67   | 70   | 75   | 79   | 85   | 6,48         |
| Ucrânia       | 85   | 87   | 84   | 79   | 84   | 84   | 83   | 83   | -0,15        |
| Canadá        | 93   | 89   | 89   | 86   | 86   | 84   | 83   | 81   | -1,90        |
| Espanha       | 57   | 52   | 56   | 50   | 59   | 59   | 61   | 61   | 1,41         |
| Brasil        | 13   | 13   | 14   | 13   | 14   | 16   | 16   | 17   | 3,84         |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

Diversas organizações desenvolvem estudos referentes à evolução da matriz elétrica mundial, contemplando o horizonte de médio prazo, ano 2030. Esses estudos preveem um crescimento da oferta de energia elétrica de 2,2% ao ano. A participação dos combustíveis fósseis permaneceria praticamente constante (66%) e a participação das fontes renováveis evoluiria de 14% (2010) para 16% em 2030.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE) [5], a demanda por energia crescerá 36% até 2035, sendo que 93% desse crescimento serão provenientes dos países em desenvolvimento. Caso não houvesse a necessidade de diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa, o crescimento da demanda seria atendido com maior exploração de recursos fósseis, no entanto busca-se eficiência energética e aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética mundial. No caso da energia elétrica, a demanda deverá crescer mais de 36% até 2035, conforme estima a AIE, e deverá atingir 30300 TWh [5].

Considerando a questão ambiental, o grande desafio é: como atender a esta demanda crescente? Expandir a oferta com base nas características da matriz atual é incompatível com o

objetivo de se promover a segurança do suprimento com custos competitivos e sustentabilidade ambiental. Em vista desse contexto a Agência Internacional de Energia (AIE), projeta expressivos investimentos em fontes renováveis de energia elétrica [5].

Diante de políticas energéticas existentes a (AIE) apresenta um relatório com a projeção da demanda de energia elétrica para 2050. Esse cenário apresentado foi tomado como parâmetro de comparação pelo Conselho Europeu de Energia Renovável (EREC), que tendo como meta principal reduzir as emissões de dióxido de carbono, fazendo com que o aumento da temperatura global permaneça abaixo de 2°C, baseado em dois fatores: eficiência energética e larga utilização de fontes de energia renovável, produziu o relatório, Cenário da Revolução Energética [5].

A Tabela 3.4 representa o cenário da geração renovável no mundo, considerando as energias: geotérmica, eólica, solar, das marés, das ondas e biomassa, incluindo a taxa de variação média anual ( ) no mundo e por país [14].

Tabela 3.4 ó Geração renovável ó 10 maiores países (TWh).

|             | <b>2006</b> | <b>2007</b> | <b>2008</b> | <b>2009</b> | <b>2010</b> | <b>2011</b> | <b>2012</b> | <b>2013</b> | <b>média (%)</b> |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| Mundo       | 423         | 483         | 549         | 635         | 752         | 868         | 1003        | 1158        | 15,47            |
| China       | 6           | 8           | 17          | 30          | 57          | 100         | 175         | 307         | 75,13            |
| EUA         | 96          | 105         | 126         | 144         | 167         | 192         | 220         | 253         | 14,80            |
| Alemanha    | 54          | 72          | 74          | 81          | 89          | 102         | 116         | 132         | 13,77            |
| Espanha     | 27          | 32          | 39          | 48          | 56          | 67          | 81          | 97          | 20,23            |
| Brasil      | 15          | 19          | 20          | 24          | 34          | 41          | 51          | 63          | 23,06            |
| Itália      | 15          | 17          | 18          | 22          | 28          | 33          | 38          | 44          | 16,59            |
| Índia       | 11          | 14          | 16          | 20          | 22          | 26          | 32          | 38          | 20,05            |
| Japão       | 29          | 31          | 30          | 31          | 34          | 35          | 36          | 38          | 3,65             |
| Reino Unido | 16          | 16          | 18          | 22          | 24          | 26          | 29          | 32          | 10,48            |
| Canadá      | 11          | 11          | 11          | 14          | 18          | 21          | 24          | 27          | 14,17            |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

Conhecendo as principais fontes geradoras de energia elétrica e a tendência do consumo, pode-se projetar e planejar ações para o crescimento da oferta, portanto a Tabela 3.5 representa o consumo de energia elétrica no mundo, incluindo a taxa de variação média anual ( ) no mundo e por país [14].

Tabela 3.5 ó Consumo de energia elétrica no mundo ó 10 maiores países (TWh).

|               | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | (%)<br>média |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Mundo         | 16391 | 17151 | 17445 | 17360 | 18466 | 19632 | 21523 | 22260 | 3,06         |
| China         | 2525  | 2874  | 3054  | 3271  | 3634  | 3981  | 4367  | 4780  | 9,57         |
| EUA           | 3817  | 3890  | 3865  | 3724  | 3886  | 3906  | 3925  | 3945  | 0,50         |
| Japão         | 985   | 1010  | 966   | 939   | 1002  | 1008  | 1013  | 1018  | 0,52         |
| Rússia        | 816   | 844   | 858   | 818   | 861   | 874   | 886   | 899   | 1,43         |
| Índia         | 532   | 591   | 617   | 661   | 699   | 748   | 801   | 858   | 7,08         |
| Alemanha      | 550   | 551   | 548   | 515   | 549   | 549   | 549   | 550   | 0,05         |
| Canadá        | 529   | 537   | 529   | 493   | 500   | 507   | 515   | 530   | 1,37         |
| França        | 446   | 447   | 460   | 444   | 471   | 482   | 505   | 528   | 1,55         |
| Brasil        | 390   | 412   | 428   | 426   | 465   | 481   | 498   | 527   | 3,55         |
| Coreia do Sul | 365   | 386   | 402   | 408   | 449   | 474   | 499   | 526   | 5,41         |

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

### 3.2 Cenário Nacional

No contexto nacional, a energia hidrelétrica é responsável por 63% do suprimento total. A importação refere-se praticamente a parcela paraguaia da usina binacional de Itaipu. Em termos quantitativos, temos a biomassa com participação de 12% na matriz elétrica e os combustíveis fósseis com responsabilidade aproximada de 17% da produção de eletricidade no país.

Atualmente, o consumo per capita está no patamar de 2200 KWh/hab.ano o que corresponde a um terço da Espanha e um oitavo do Canadá. No entanto, como a demanda por energia elétrica cresce com a evolução da população e o desenvolvimento econômico e social do país, nos próximos anos o Brasil deverá ter taxas elevadas de crescimento da demanda. Apesar da

perspectiva do crescimento da demanda, o Brasil possui disponibilidade de energia muito superior à necessidade futura [14].

Tendo como base o crescimento populacional e econômico do país, estima-se que em 2030 o consumo de energia elétrica será de 1050 TWh, ou seja mais que o dobro de 2010 (425 TWh). Já em 2050, mantendo-se as expectativas, teremos um consumo de energia elétrica de 1440 TWh. O grande desafio diante desse cenário é a necessidade de investir em energias renováveis, além da hidrelétrica, tendo em vista que a utilização do potencial hídrico é limitada pelos impactos sociais e ambientais, e ainda que os combustíveis fósseis estejam cada vez mais caros e caminham para o esgotamento, além de serem emissores de gases do efeito estufa.

A matriz elétrica brasileira em 2014 segue os percentuais da Tabela 3.6 [19]:

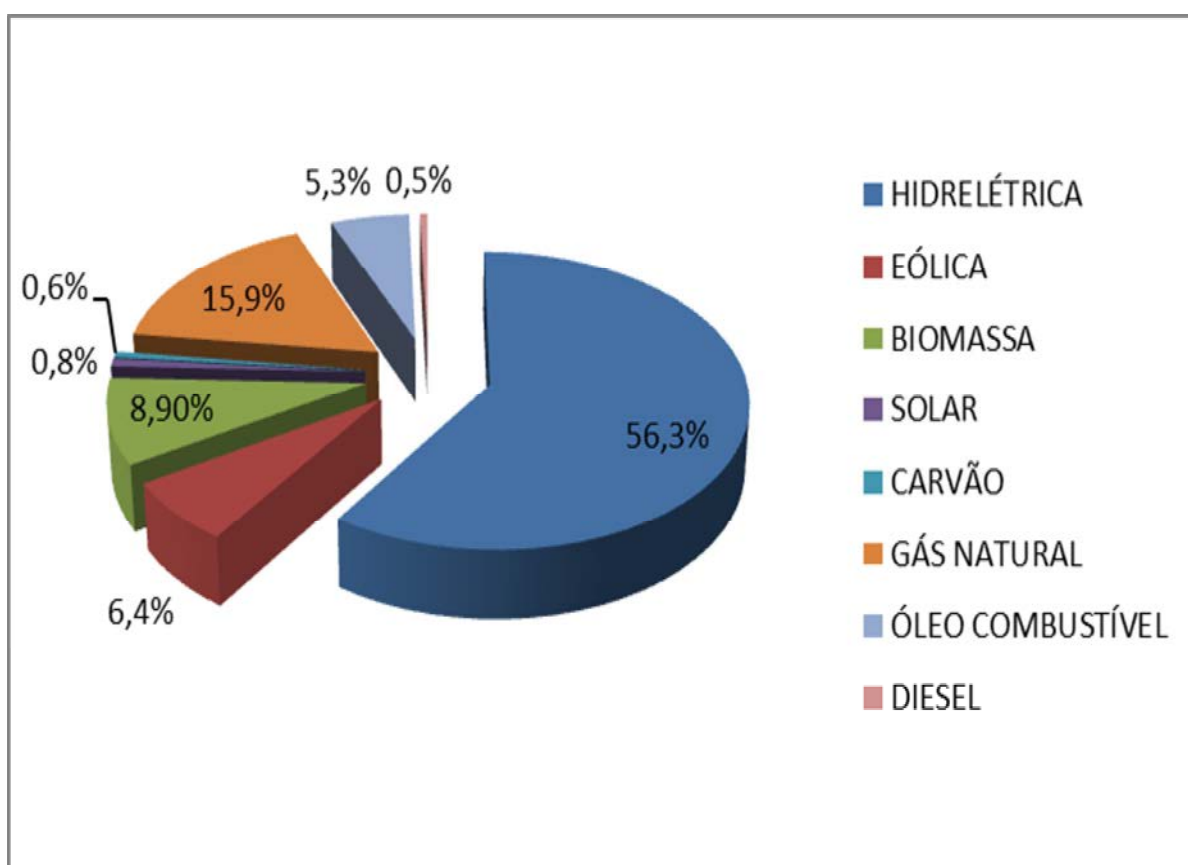
Tabela 3.6 ó Matriz Elétrica Brasileira (2014).

| Tipo           |                | Capacidade Instalada |              | %            | Total       |              | %            |
|----------------|----------------|----------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|                |                | Nº Usinas            | (GW)         |              | Nº Usinas   | (GW)         |              |
| Hidro          |                | 1140                 | 88,0         | 63,1         | 1140        | 88,0         | 63,1         |
| Gás            | Natural        | 116                  | 12,5         | 9,0          | 125         | 12,7         | 9,1          |
|                | Processo       | 9                    | 0,2          | 0,1          |             |              |              |
| Petróleo       | Óleo           | 1177                 | 3,6          | 2,6          | 1235        | 9,0          | 6,5          |
|                | Diesel         |                      |              |              |             |              |              |
|                | Óleo Residual  | 58                   | 5,4          | 3,9          |             |              |              |
| Biomassa       | Bagaço de Cana | 384                  | 9,8          | 7,0          | 479         | 11,7         | 8,6          |
|                | Licor Negro    | 17                   | 1,8          | 1,3          |             |              |              |
|                | Madeira        | 45                   | 0,3          | 0,2          |             |              |              |
|                | Biogás         | 23                   | 0,07         | 0,05         |             |              |              |
|                | Casca de Arroz | 10                   | 0,04         | 0,03         |             |              |              |
| Nuclear        |                | 2                    | 2,0          | 1,4          | 2           | 2,0          | 1,4          |
| Carvão Mineral | Carvão Mineral | 13                   | 3,4          | 2,4          | 13          | 3,4          | 2,4          |
| Eólica         |                | 180                  | 3,8          | 2,7          | 180         | 3,8          | 2,7          |
| Fotovoltaica   |                | 180                  | 0,01         | 0,01         | 180         | 0,01         | 0,01         |
| Importação     | Paraguai       |                      | 5,6          | 4,0          |             | 8,0          | 5,8          |
|                | Argentina      |                      | 2,2          | 1,6          |             |              |              |
|                | Venezuela      |                      | 0,2          | 0,1          |             |              |              |
|                | Uruguai        |                      | 0,07         | 0,05         |             |              |              |
| <b>Total</b>   |                | <b>3354</b>          | <b>139,0</b> | <b>100,0</b> | <b>3354</b> | <b>139,0</b> | <b>100,0</b> |

Fonte: Banco de Informações de Geração, 2014.

O Plano Decenal de Energia, estima que para atender o crescimento do consumo, serão necessários investimentos na ordem de R\$ 241 bilhões em energia elétrica nos próximos dez anos, o que corresponde a uma expansão do sistema elétrico de 3 GW por ano, principalmente aproveitando o potencial hidrelétrico do país. Segundo estudos da Eletrobrás, o potencial hidrelétrico nacional é de 260 GW, porém apenas 180 GW poderão ser aproveitados, o que não seria suficiente para atender a demanda por eletricidade nos próximos anos, o que certamente acarretará na necessidade em investimentos para maior utilização de outras fontes renováveis. A Figura 3.1 mostra um cenário de referência para a matriz elétrica brasileira em 2050, considerando as previsões da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), observa-se ainda a pequena participação da energia solar (0,8 %) na matriz, caso investimentos e incentivos não sejam realizados [9,10].

Figura 3.1 ó Cenário de Referência para a Matriz Elétrica Brasileira - 2050.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2013.

### 3.2.1 Setor Industrial

Os principais responsáveis pelo consumo industrial de eletricidade são: a cadeia de alumínio, a siderurgia (produção de aço bruto), o ferro ligas, o cobre, a petroquímica, o papel e o cimento. Esses segmentos são produtores de insumos básicos que são utilizados na composição de grande quantidade de materiais usados nas mais diversas atividades da economia, como construção civil, fabricação de máquinas e equipamentos e outras aplicações.

A Tabela 3.7 relata uma projeção dos grandes consumidores industriais de energia elétrica [9,10,12].

Tabela 3.7 ó Grandes Consumidores Industriais ó Consumo de Eletricidade (GWh).

| <b>Segmento</b> | <b>2012</b>    | <b>2017</b>    | <b>2022</b>    | <b>% ao ano</b> |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Alumínio        | 21.707         | 22.446         | 23.006         | 0,6             |
| Alumina         | 3.225          | 3.791          | 4.256          | 2,8             |
| Bauxita         | 499            | 567            | 628            | 2,3             |
| Siderurgia      | 20.453         | 24.291         | 29.586         | 3,8             |
| Politização     | 2.886          | 3.618          | 3.969          | 3,2             |
| Ferroligas      | 9.675          | 13.057         | 14.514         | 4,1             |
| Cobre           | 455            | 680            | 732            | 4,9             |
| Soda-Cloro      | 4.307          | 4.747          | 4.939          | 1,4             |
| Petroquímica    | 6.144          | 6.645          | 9.181          | 4,1             |
| Celulose        | 14.538         | 20.951         | 26.536         | 6,2             |
| Pasta Mecânica  | 1.095          | 1.075          | 1.058          | -0,3            |
| Papel           | 8.370          | 10.248         | 12.661         | 4,2             |
| Cimento         | 7.057          | 8.954          | 11.525         | 5,0             |
| <b>Total</b>    | <b>100.412</b> | <b>121.070</b> | <b>142.590</b> | <b>3,6</b>      |

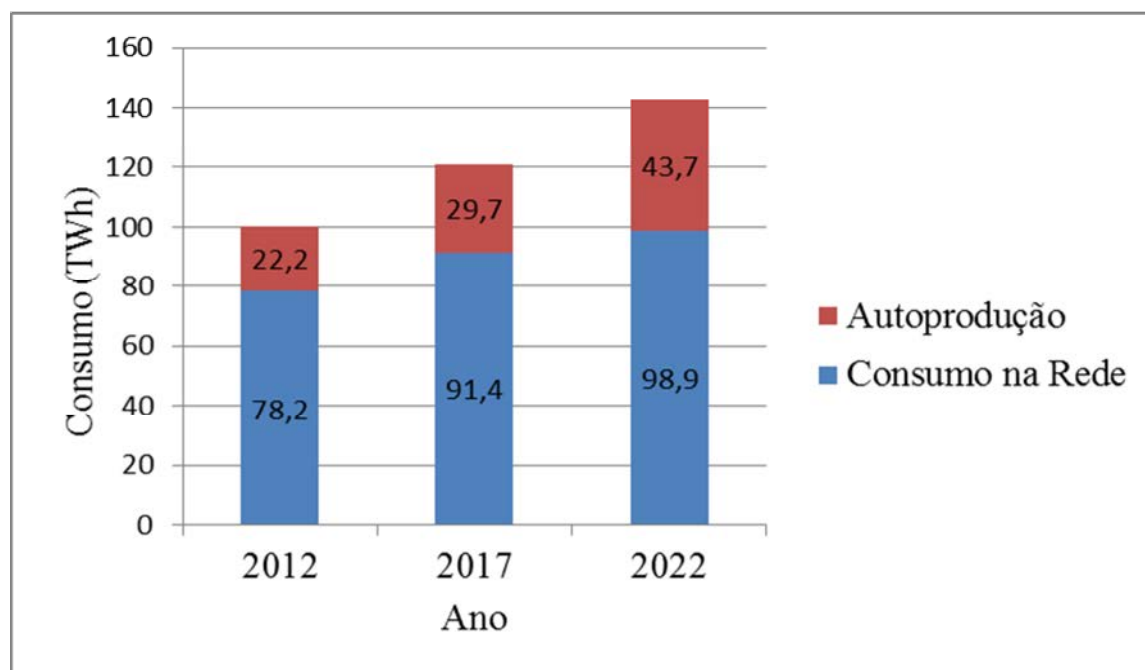
Fonte: Projeção da Demanda de Energia Elétrica, EPE, MME, 2012.

É essencial para o planejamento do setor elétrico, conhecer o montante de eletricidade que o cenário industrial demandará do sistema elétrico. Para tanto, é necessário saber o resultado da relação (KWh/tonelada) e ainda realizar a projeção da autoprodução de eletricidade, onde a



indústria gera a própria energia elétrica que irá consumir. No caso da indústria de celulose, por exemplo, é previsto que toda a expansão da demanda seja suprida pela autoprodução. A Figura 3.2 representa o consumo industrial na rede e a autoprodução [9,10,12].

Figura 3.2 ó Grandes Consumidores Industriais ó Consumo de Eletricidade (TWh).



Fonte: Projeção da Demanda de Energia Elétrica, EPE, MME, 2012.

O potencial de autoprodução está essencialmente ligado aos segmentos industriais que utilizam grandes quantidades de vapor e eletricidade no próprio processo industrial. O Ministério de Minas e Energia prevê um crescimento médio da autoprodução de 9% ao ano nos próximos 10 anos, considerando principalmente a autoprodução no setor sucroalcooleiro e nas refinarias e extração do petróleo. Percentual que poderia crescer muito com a produção distribuída, usando as energias renováveis na geração, como: solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

### 3.2.2 Setor Comercial

Na classe comercial a eletricidade é a principal fonte de energia utilizada, com participação de aproximadamente 88%, porém o consumo de energia elétrica no setor comercial representa apenas 17% do total consumido pelos setores industrial, comercial e residencial. A classe de consumo comercial inclui uma diversidade de atividades como: atacadistas, varejistas,

administração de imóveis, transportes, telecomunicações, instituições financeiras, escritórios, hotéis e outros.

A Empresa de Pesquisa Energética afirma que o crescimento do consumo de energia elétrica no setor comercial ocorreu devido ao aumento do turismo, modernização dos comércios, criação de hotéis, shoppings e hipermercados de alto padrão de atendimento, além obviamente do rendimento real da população ter crescido com a economia. Assim, estima-se que a taxa de consumo de energia elétrica nos próximos anos crescerá 5,8% ao ano, superando o setor residencial que deverá crescer 4,3% ao ano [9].

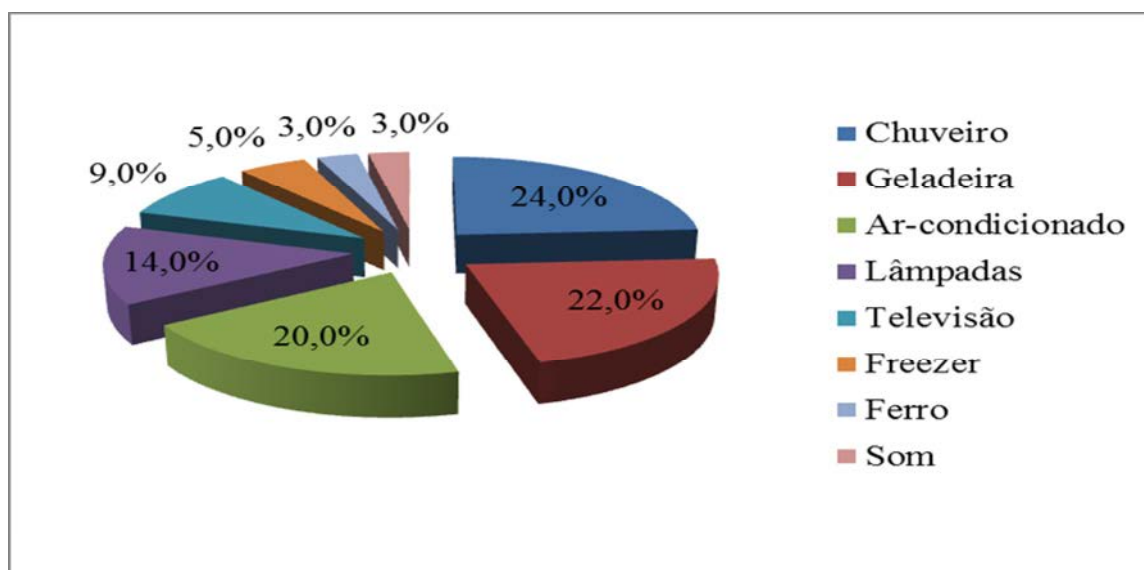
### **3.2.3 Setor Residencial**

Embora tenha uma elevada importância no consumo de energia elétrica, a classe residencial tem uma menor participação no consumo total, se comparada à classe industrial, mas uma demanda maior que a classe comercial. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de eletricidade nos setores comercial e residencial deverá crescer mais que no setor industrial, pois é uma tendência mundial de países desenvolvidos ou em desenvolvimento que o setor de serviços passe a dominar a geração de riquezas [9].

A taxa de crescimento de consumo residencial cresceu 2,2%, e essa ampliação do uso de energia elétrica no setor residencial está ligada a diversos fatores como: programas de governo, exemplo luz para todos e bolsa família, facilidade de crédito e assim aquisição de eletrodomésticos, crescimento da renda da população e outros.

O perfil de consumo de eletricidade no setor residencial está basicamente concentrado na refrigeração (27%), considerando geladeira e freezer, aquecimento de água (24%), basicamente considerando o chuveiro elétrico, ar condicionado (20%) e iluminação (14%), como mostra a Figura 3.3 [21].

Figura 3.3 ó Percentual do Consumo de Eletricidade no Setor Residencial.



Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

Com relação ao aquecimento de água, o chuveiro elétrico é responsável por um dos maiores picos de demanda do país. No horário entre as 18 e 21 horas, diariamente o país consome o equivalente a uma vez e meia a produção da hidrelétrica de Itaipu.

### 3.3 Estudo da Demanda

O estudo do crescimento da demanda de eletricidade em um determinado país está fortemente ligado a três fatores: o crescimento da população, para determinar o número de consumidores de energia; o crescimento econômico, no qual o Produto Interno Bruto (PIB) é o indicador mais usado, pois em geral o crescimento da demanda acompanha o crescimento do (PIB) e, a quantidade de energia utilizada na produção de um (PIB), medida através da elasticidade da demanda de eletricidade, que segue a relação  $E = PIB/ENERGIA$  e pelos indicadores de intensidade energética [12].

Conforme a Agência Internacional de Energia (AIE), a população brasileira crescerá na mesma proporção da média dos países latino-americanos, atingindo em 2050 uma população de aproximadamente 260 milhões de habitantes. No entanto, o indicativo atual é que a taxa de crescimento anual será decrescente nos próximos anos e, em 2050, ter-se-á certa estabilidade no crescimento populacional, o que deve diminuir a pressão sobre a demanda de recursos energéticos [5].

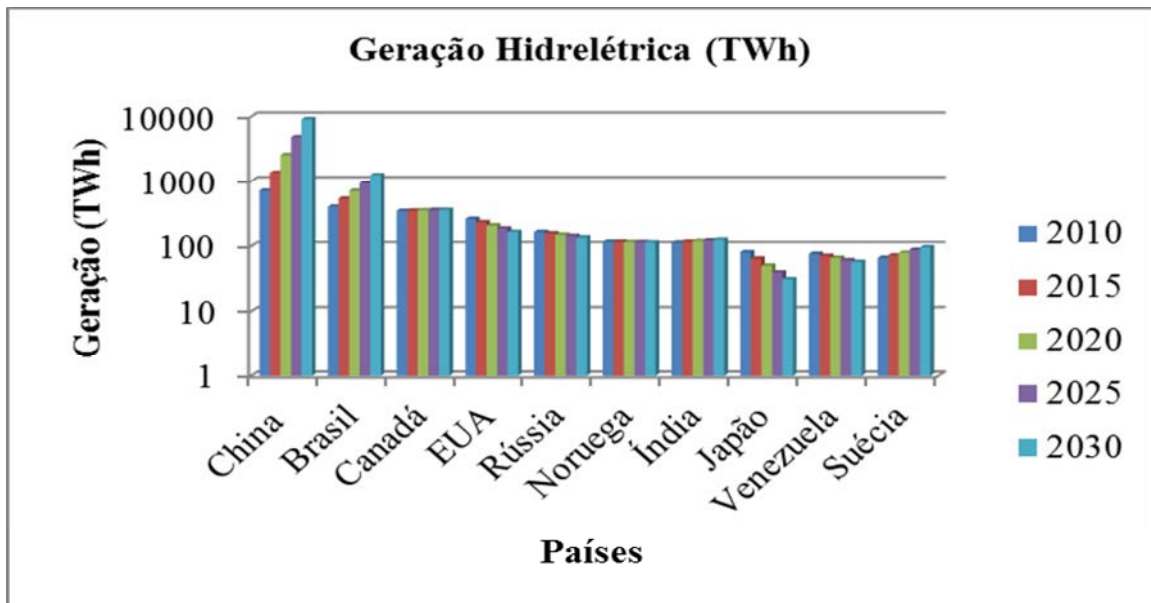
O crescimento econômico é determinado pelos setores produtivos da economia, influenciando diretamente no aumento da demanda por energia e eletricidade.

Já a elasticidade tem sido aproximadamente 1,5, o que significa um crescimento da demanda energética 50% superior ao crescimento do (PIB). No entanto, espera-se que a exemplo de países mais desenvolvidos, o Brasil alcance em 2050 índices de elasticidade de 0,8 [10].

### 3.4 Análises Comparativas

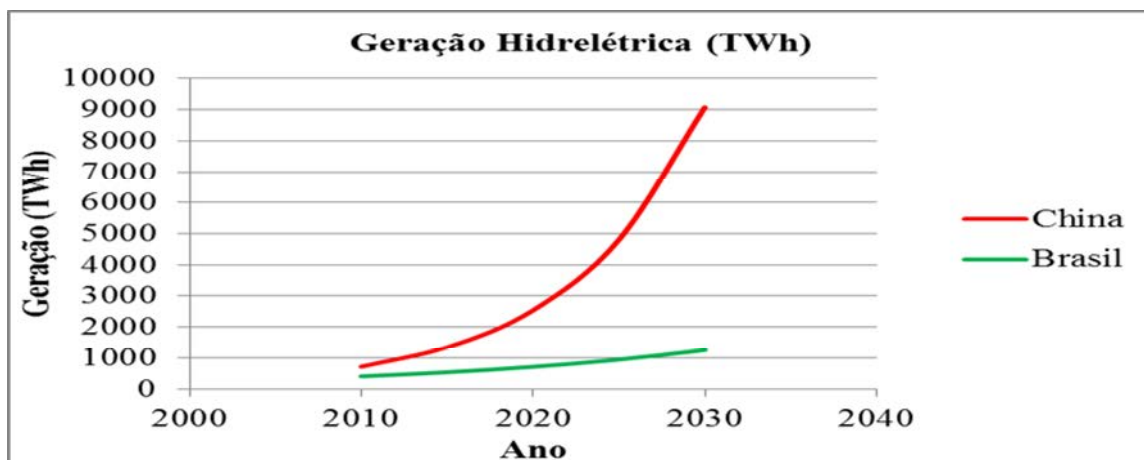
Com os dados levantados nesse capítulo, é possível observar a evolução da geração de eletricidade proveniente das fontes: hidrelétrica, térmica, nuclear e renovável, incluindo solar, eólica e outras fontes. Com a taxa de variação média anual da geração e do consumo é possível fazer também uma previsão para o panorama da geração elétrica para as diferentes fontes e ainda representar a perspectiva do consumo. A Figura 3.4 representa a geração hidrelétrica nos dez maiores países que fazem uso dessa fonte, onde se pode observar que a variação da geração está praticamente estagnada na maioria dos países, já a Figura 3.5 demonstra a progressão na China e no Brasil onde a geração hidrelétrica cresce respectivamente 13,6%, 5,8% anualmente [14].

Figura 3.4 6 Geração hidrelétrica e previsão para 2030 (TWh).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

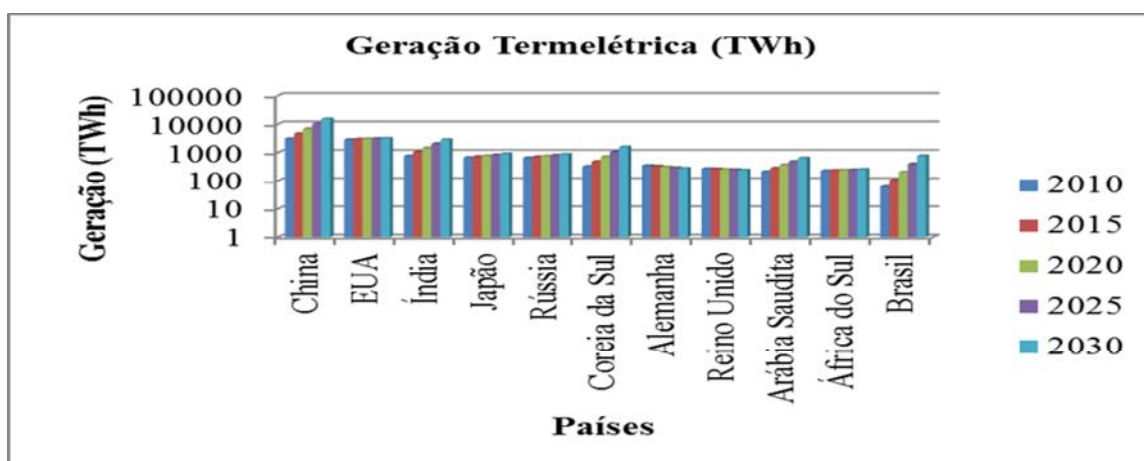
Figura 3.5 ó Geração hidrelétrica e previsão para 2030 (TWh) ó China e Brasil.



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 3.6 representa a geração termelétrica nos dez maiores países que fazem uso dessa fonte, onde se pode observar dependência do crescimento dessa fonte geradora na China, na Índia, na Coreia do Sul, na Arábia Saudita e no Brasil, pois a geração termelétrica é crescente nesses países, observa-se também a redução da geração termelétrica na Alemanha e no Reino Unido, pois à medida que apresentam crescimento da utilização das fontes renováveis de energia diante do consumo que está praticamente estabilizado, podem reduzir suas respectivas gerações termelétricas.

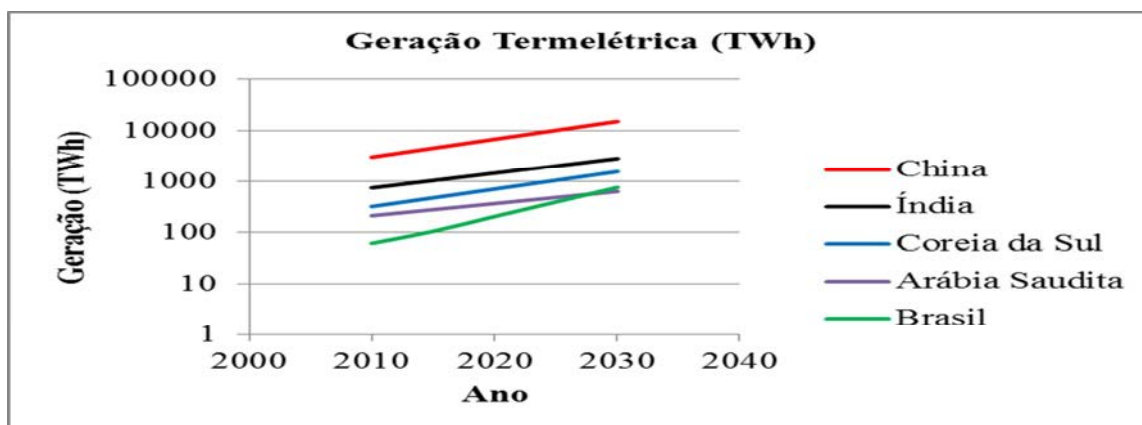
Figura 3.6 ó Geração termelétrica e previsão para 2030 (TWh).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 3.7 mostra a comparação dos cinco países com maior taxa anual de crescimento da geração termelétrica [14], destaque novamente para China, com geração de 3901 TWh em 2013 e taxa média anual de variação de 8,4%. Os demais países representados possuem geração termelétrica muito inferior à da China, porém taxa média de variação anual próxima a 8%.

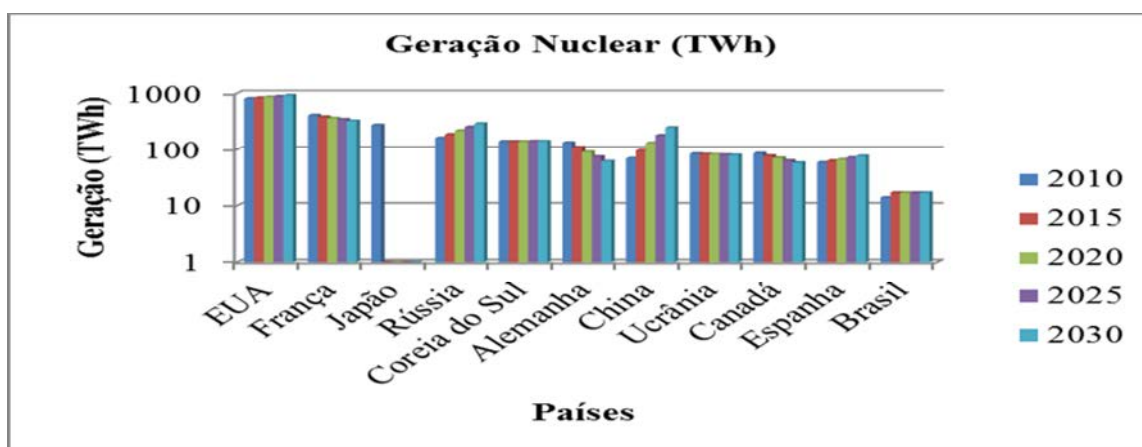
Figura 3.7 ó Geração termelétrica e previsão para 2030 - comparação (TWh).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 3.8 representa a geração nuclear nos dez maiores países que fazem uso dessa fonte, onde se pode observar que a variação da geração está estagnada na maioria dos países, com exceção da China que tem crescido sua geração nuclear com taxa média anual de 6,5% [14], outro fator a ser observado é o desligamento dos reatores que ocorreram no Japão após o acidente de 2011.

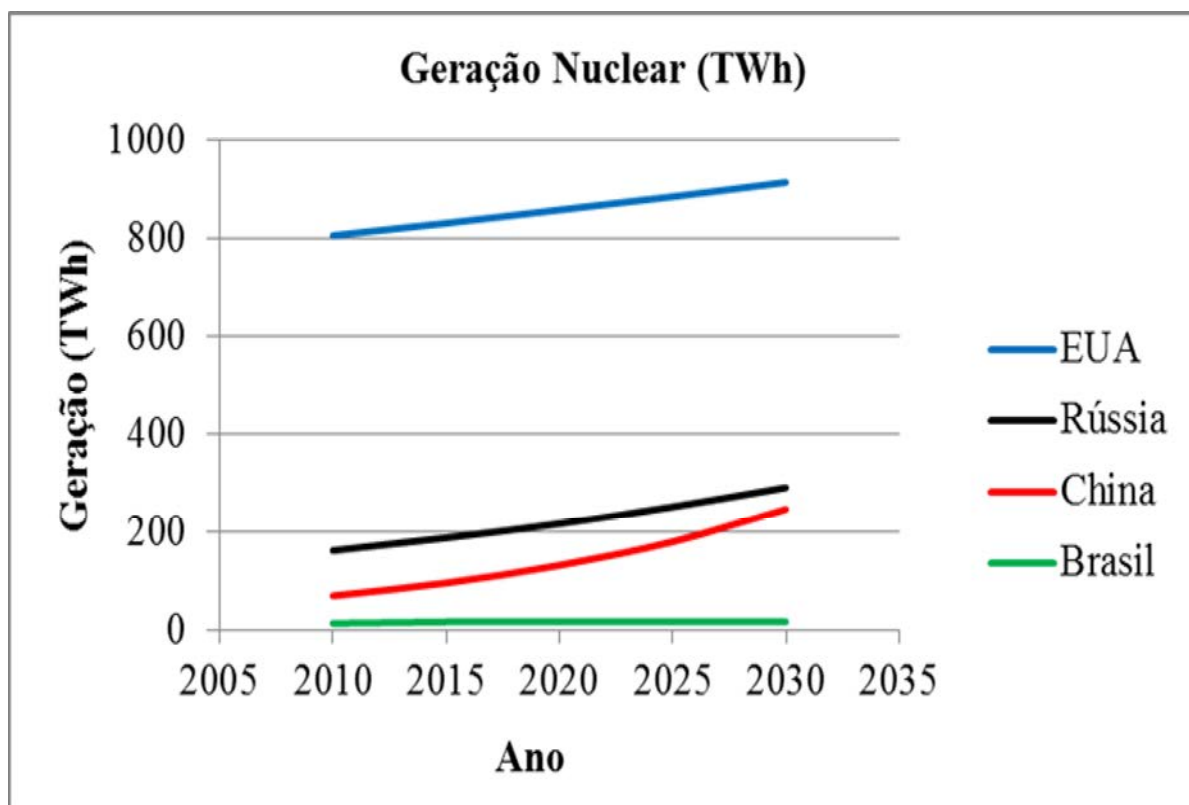
Figura 3.8 ó Geração nuclear e previsão para 2030 (TWh).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 3.9 representa a comparação entre a geração nuclear, nos Estados Unidos, Rússia, China e Brasil. Observamos crescimento acentuado na China, mesmo após o acidente ocorrido no Japão, e o Brasil com geração nuclear estagnada [14].

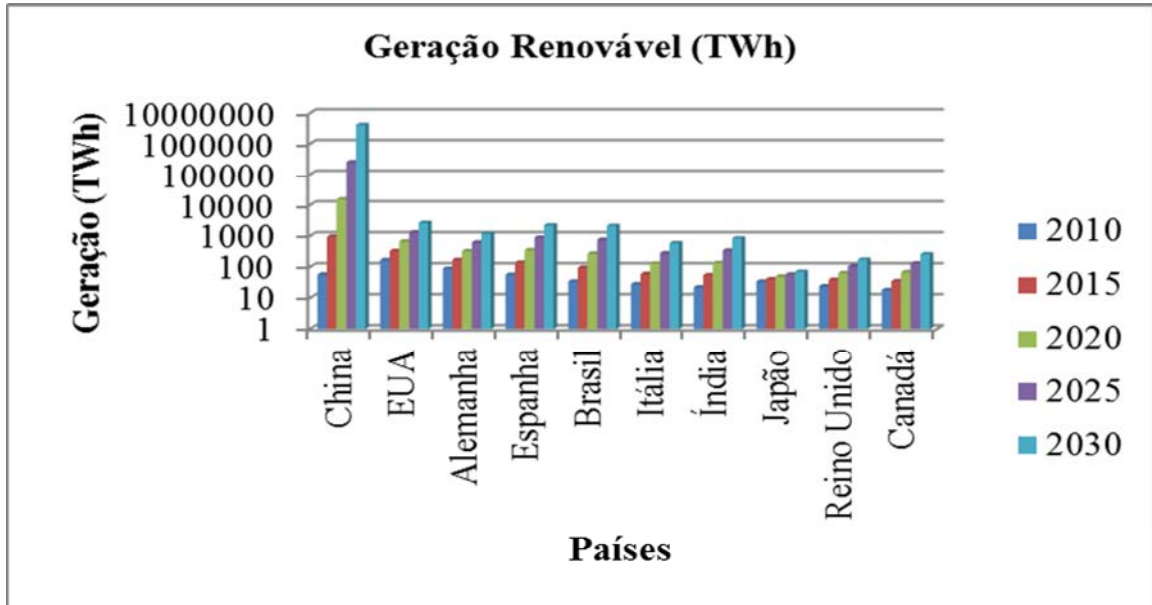
Figura 3.9 ó Geração nuclear e previsão para 2030 - comparação (TWh).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 3.10 representa a geração renovável nos dez maiores países que fazem uso dessas fontes, onde se pode observar que a variação da geração é crescente em todos os países, principalmente devido à implantação de usinas eólicas, plantas fotovoltaicas e biomassa [14]. A variação crescente da geração renovável representa a tendência futura da composição das matrizes elétricas dos diferentes países. A China é mais uma vez o grande destaque com 75,1% de crescimento médio anual da geração. Já o Brasil apresenta crescimento médio anual na geração renovável de 23%, principalmente devido à energia proveniente do vento e da biomassa.

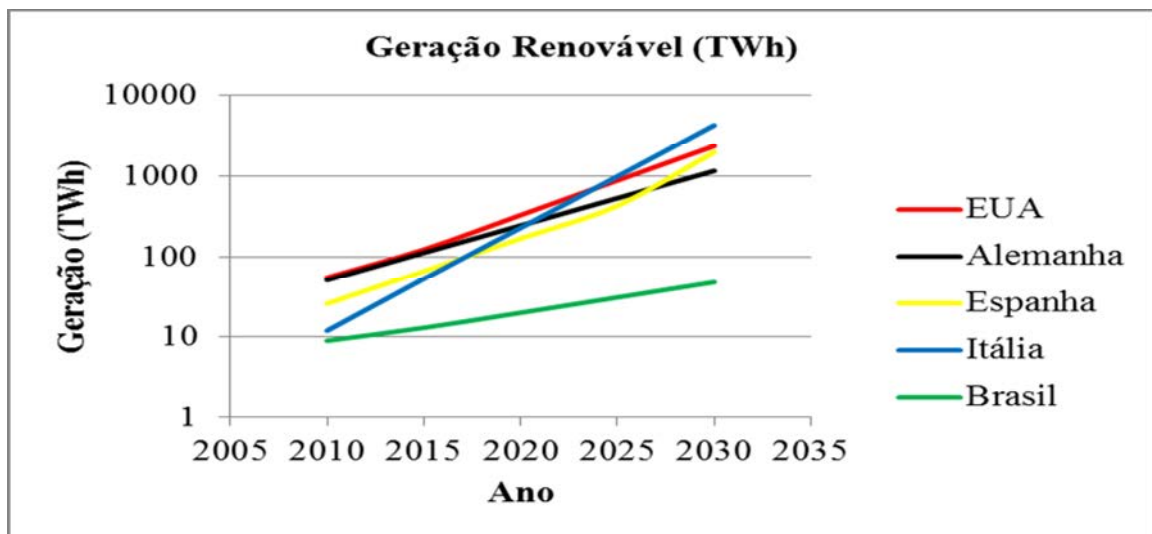
Figura 3.10 ó Geração renovável e previsão para 2030 (GW).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 3.11 representa a comparação entre a geração renovável, nos Estados Unidos, Alemanha, Espanha, Brasil e Itália [14]. Observa-se que o Brasil apresenta um crescimento muito inferior aos demais países.

Figura 3.11 ó Geração renovável e previsão para 2030 - comparação (TWh).

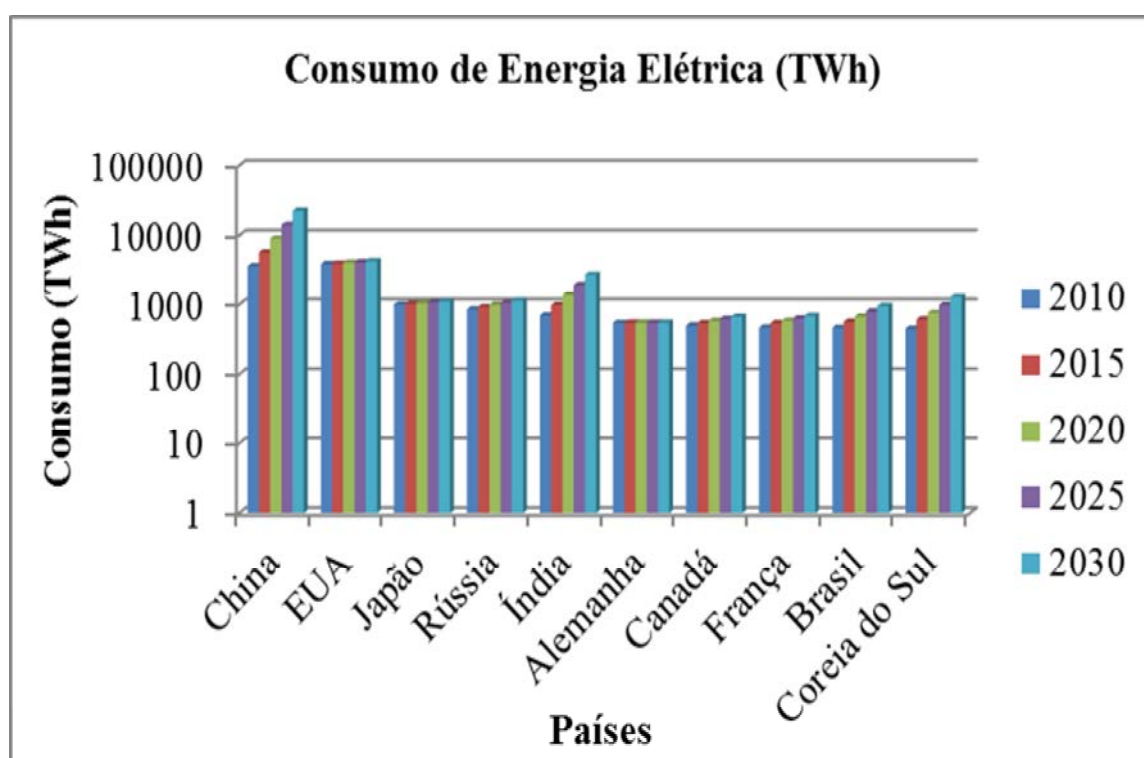


Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.



A Figura 3.12 representa o consumo de energia elétrica e a previsão para 2030 seguindo as seguintes taxas de variação: China (9,57%), Estados Unidos (0,50%), Japão (0,52%), Rússia (1,43%), Índia (7,08%), Alemanha (0,05%), Canadá (1,37%), França (1,55%), Brasil (3,55%) e Coreia do Sul (5,41%). Pode-se considerar que a variação do consumo é crescente na China, Índia, Brasil e na Coreia do Sul, já nos demais países o consumo permanece praticamente constante [14].

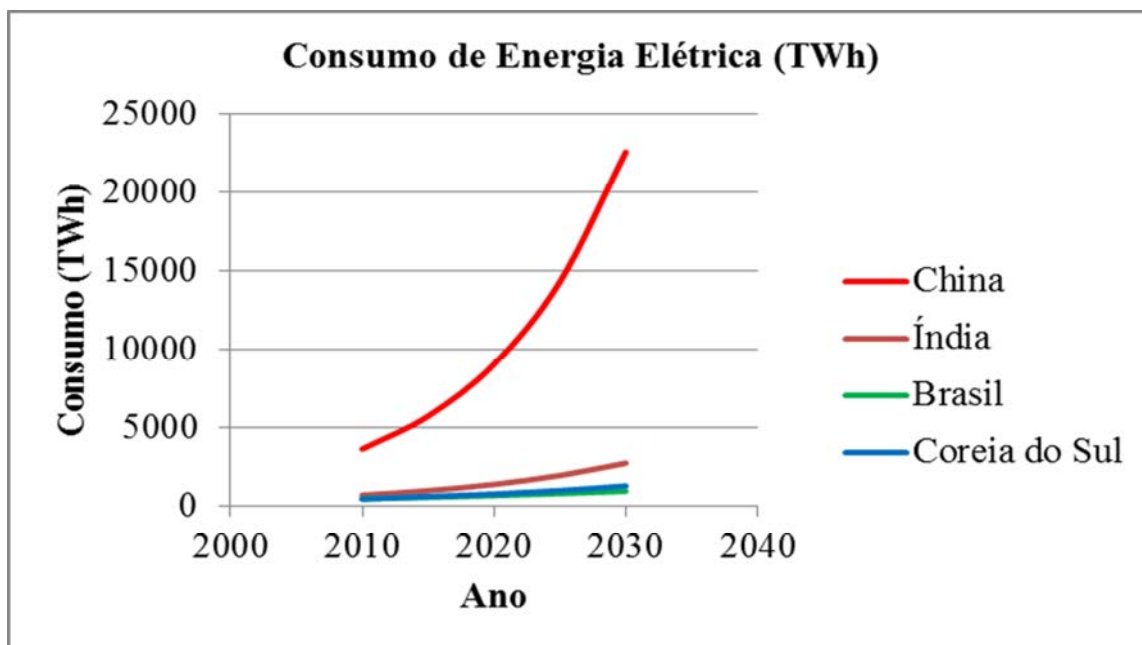
Figura 3.12 Consumo de energia elétrica e previsão para 2030 (TWh).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 3.13 mostra a comparação da variação do consumo de energia elétrica entre a China, a Índia, o Brasil e a Coreia do Sul, onde o crescimento do consumo deve seguir a tendência representada, considerando o estudo da demanda desses países [14]. A China destaca-se com um consumo de energia elétrica previsto para 2015 de 5738 TWh, ou seja, praticamente seis vezes superior ao consumo da Índia e dez vezes superior ao consumo da Coreia do Sul e mais de dez vezes superior ao consumo brasileiro.

Figura 3.13 ó Consumo de energia elétrica e previsão para 2030 - comparação (TWh).



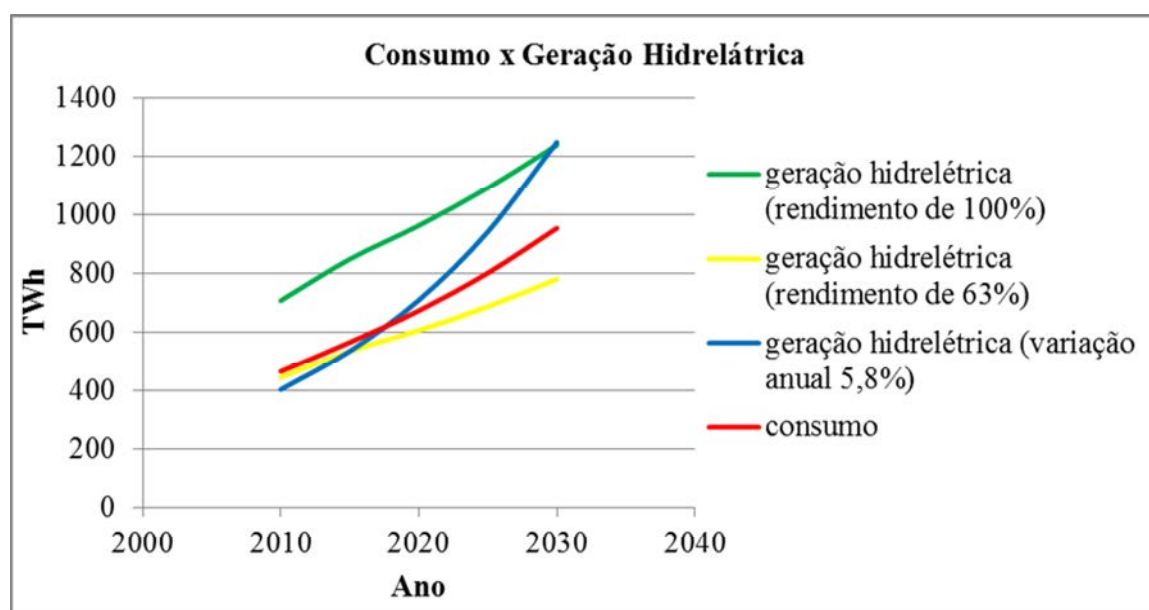
Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

Como a principal fonte geradora de eletricidade na matriz brasileira ainda é a hidrelétrica, foi estabelecida uma comparação entre a evolução da geração hidrelétrica e o consumo. Para a projeção da geração hidrelétrica foram consideradas três possibilidades: condição ideal de geração, ou seja, aproveitamento de 100% da capacidade instalada, outra situação considerada foi de rendimento de 63% (atual) entre a capacidade instalada e a energia elétrica realmente produzida e ainda uma terceira possibilidade, baseada na projeção de crescimento anual de 5,8% de geração, citado neste capítulo. Para o consumo foi considerado o crescimento anual atual de 3,5%.

A Figura 3.14 representa a comparação entre o consumo e a geração hidrelétrica, onde se pode observar que a projeção da geração considerando-se o rendimento de 100% ou a variação anual de 5,8%, atenderia o crescimento do consumo. Porém é preciso ressaltar que é impossível atingir 100% de rendimento ou ter uma evolução de 5,8% na capacidade instalada, pois o ritmo de instalação de tais usinas de fato não acompanha este percentual por longo período de tempo. Portanto, para que a geração mantenha esta projeção, o rendimento teria que se aproximar do ideal, ou seja, a curva que melhor representa a evolução da geração hidrelétrica é a de rendimento de 63%. Assim, a energia elétrica produzida nas hidrelétricas deve ser inferior ao consumo, o que

ocasionará a necessidade de se contar com outras fontes geradoras para suprir a demanda estimada. É preciso ressaltar que caso o país mantivesse o crescimento econômico de quatro anos atrás, com o Produto Interno Bruto (PIB) entre 5,0 e 6,0%, a geração de eletricidade para atender a demanda seria ainda mais crítica que a atual.

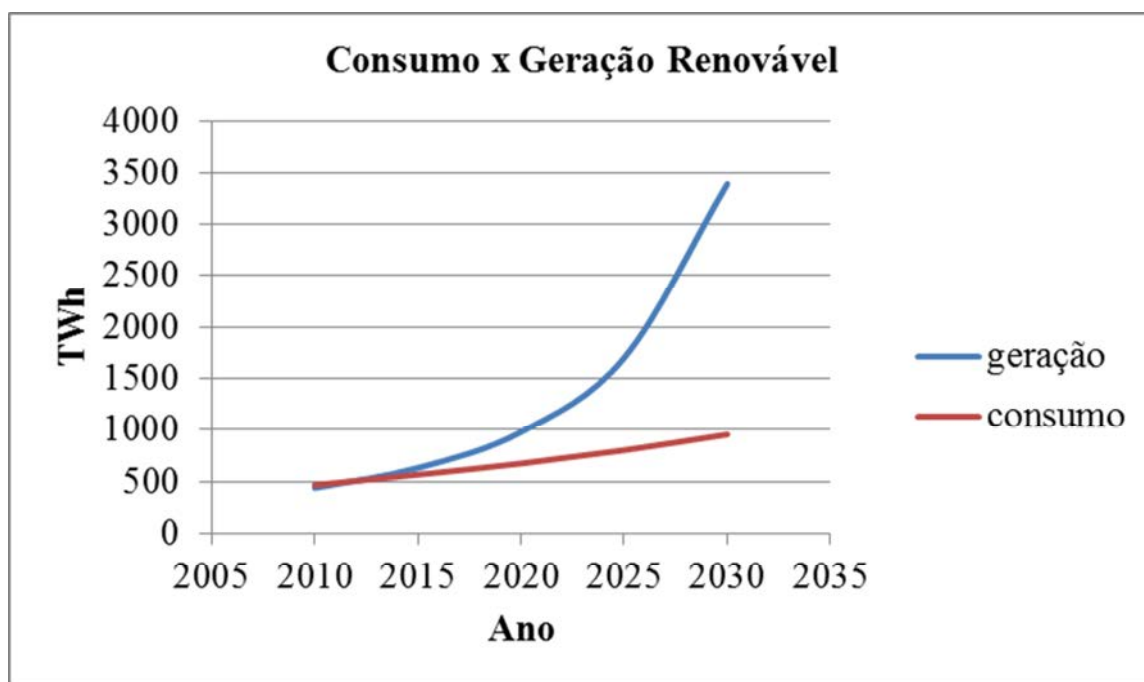
Figura 3.14 ó Comparação entre a projeção do consumo e a geração hidrelétrica (TWh).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

A Figura 3.15 mostra a comparação da projeção do consumo de energia elétrica no Brasil, com a possibilidade da inserção intensiva de outras fontes renováveis na matriz elétrica nacional. Pode-se observar que a margem entre a energia produzida e a consumida seria excelente, proporcionando segurança no atendimento da demanda. Isso só seria possível se a variação anual atual da capacidade instalada de outras fontes renováveis (8,9%) acompanhasse a variação da geração (23%), pois produziria 3390 TWh em 2030 somados à geração hidrelétrica. Caso contrário, ou seja, acompanhando a projeção da capacidade instalada a produção de eletricidade seria apenas de 420 TWh em 2030, considerando ainda a condição teórica ideal, ou seja, rendimento de 100%.

Figura 3.15 ó Comparação entre a projeção do consumo e a geração renovável (TWh).



Fonte: Elaboração própria com base no anuário estatístico de energia elétrica, 2013.

### 3.5 Conclusões Preliminares

Com o estudo desse capítulo pode-se concluir que no cenário mundial, os países desenvolvidos, onde o consumo de energia elétrica está praticamente estabilizado, os investimentos em empreendimentos para a geração de energia por fontes renováveis destacam-se, isso significa um avanço no objetivo de obter uma matriz elétrica cada vez mais limpa e renovável.

Ainda no cenário internacional, os países em desenvolvimento como a China, a Índia e a Coreia do Sul, onde o consumo de energia elétrica é crescente, apesar do aumento da geração renovável, são também dependentes no cenário atual, da ampliação da geração termelétrica para atenderem suas respectivas demandas. No caso particular, a China tem investido também na geração nuclear.

No cenário nacional, com o crescimento do consumo anual de aproximadamente 3,5%, o país é dependente da crescente geração hidrelétrica, de outras fontes renováveis (eólica e biomassa) e termelétricas. Pode-se destacar que o crescimento do consumo no setor industrial pode ser suprido pela autoprodução, principalmente com a utilização da produção distribuída de

energia elétrica através de fontes renováveis como: solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. No setor residencial, vale ressaltar a questão do chuveiro elétrico que é responsável por praticamente 25% do consumo residencial em três regiões do país (Centro-Oeste, Sudeste e Sul). Tal informação destaca a importância do estudo e utilização de sistemas alternativos para o aquecimento de água nas residências, tais como os sistemas termossolares que fazem uso da energia do sol.



## **4 ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

Esse capítulo tem por objetivo mostrar os investimentos destinados à geração de eletricidade por fontes renováveis de energia, bem como fazer um estudo sobre os custos, impactos ambientais, tempo e complexidade para a execução da obra das usinas relacionadas à geração hidrelétrica, termelétrica, eólica e solar.

### **4.1 Investimentos em Energias Renováveis para Geração de Eletricidade**

Dois encargos destacam-se no cálculo da tarifa de eletricidade, a conta de consumo de combustíveis (CCC) e a conta de desenvolvimento energético (CDE). A CCC é administrada pela Eletrobrás e atualmente é aplicada no sistema isolado, com a finalidade de reembolsar os custos de geração de eletricidade. Como a fonte de energia mais utilizada no sistema isolado são os combustíveis fósseis, a CCC tem subsidiado a geração de energia por fontes não renováveis e prejudiciais ao meio ambiente [17].

A eletricidade contratada pelo Proinfa é paga com recursos da CDE, porém apenas uma pequena parte é destinada para subsidiar programas de incentivo às fontes renováveis, pois a CDE também é destinada a promover o desenvolvimento elétrico dos estados, a universalização dos serviços de energia elétrica, a expansão da malha de gás natural canalizado e o custo do carvão mineral utilizado em termelétricas. O país possui cinco usinas movidas a carvão mineral que recebem subsídios da CDE. Um dado interessante é que no ano de 2009, R\$ 127,50 por MWh foram destinados a essas usinas, caso esse valor fosse direcionado às fontes renováveis, uma revolução energética teria acontecido no país [17].

A Reserva Global de Reversão (RGR) é um encargo do setor elétrico criado com a finalidade de conceder financiamentos para empreendimentos que utilizam as fontes: eólica, solar, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, além de fomentar a utilização de equipamentos de uso individual e coletivo destinado à transformação de energia solar em energia elétrica.

Além dos recursos destinados ao Proinfa, o BNDES possui uma linha de crédito para empreendimentos de geração de energia por fontes renováveis, com financiamento de 80% do total do investimento, taxas de juros de 4,0% ao ano, e prazos que costumam variar de 10 a 14 anos [17].

A exemplo de outros países, o Brasil precisará alcançar sua autonomia energética. Para tanto necessitará estabelecer, reforçar ou acelerar metas que respondam a algumas questões relacionadas, por exemplo, ao uso dos recursos de maneira ambientalmente correta, a utilização do potencial hidrelétrico na Amazônia e os elevados custos financeiros na exploração do pré-sal.

Atualmente, a eletricidade consumida em nosso país depende basicamente da geração hidrelétrica que muitas vezes com a diminuição dos níveis dos reservatórios é suprida por termelétricas, que por sua vez utilizam combustíveis fósseis importados. Isto gera aumento no custo da energia, além de causar impactos ambientais com a emissão de gases que provocam o efeito estufa.

Diante desse cenário, torna-se urgente uma política que incentive o uso de outras fontes de energia renováveis, além da hidrelétrica, explorando principalmente o potencial eólico e solar de maneira apropriada. Quando observarmos a previsão do governo brasileiro em investir US\$ 147,50 bilhões no pré-sal entre os anos de 2013 e 2017, investimento que poderá aumentar consideravelmente devido a novas medidas de segurança, pensamos no país tornar-se autossuficiente na demanda por combustíveis fósseis, particularmente o petróleo. Mas isto não significa necessariamente auto sustentabilidade com relação à demanda de energia elétrica prevista para 2050, pois o caminho a seguir quando se projeta um desenvolvimento sustentável, seria a utilização de energias renováveis e limpas e não combustíveis fósseis que degradam o meio ambiente [1].

Em 2004, com subsídios do Programa de Incentivo às fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), foram realizados os primeiros investimentos em geração eólica no país. Em 2013 a capacidade instalada era de 2,2 GW, distribuídos em 108 parques eólicos e a meta para 2016 é de 8,4 GW, com previsão de venda de 2 GW por ano em leilões [22].

Atualmente, o custo de instalação de uma hidrelétrica é de R\$ 3.450,00 por KW e de um parque eólico é de R\$ 3.350,00 por KW. Nos próximos anos a tendência é que a energia eólica tenha custo inferior, o que justificaria mais investimentos na área [23].

#### **4.2 Custos na Implantação de Usinas Hidrelétricas**

Como citado anteriormente, o custo de implantação de uma usina hidrelétrica é de R\$ 3.450,00 por KW, tendo a característica de elevados índices de investimento inicial, que são



compensados pelo tempo de retorno desse tipo de empreendimento e ainda um baixo custo operacional, comparado à outra fonte energética.

A decomposição dos custos permite ao investidor avaliar o empreendimento e tomar decisões para reduzir os custos de implantação de uma hidrelétrica. Dentre os custos envolvidos na construção de uma usina hidrelétrica, podemos destacar [23]:

- custos de projeto: custos com a elaboração dos projetos necessários para os estudos de viabilidade e execução do empreendimento, projeto pré-básico, básico e executivo de engenharia e meio ambiente.
- custos com obras civis: custos com os construtores e prestadores de serviços diretamente relacionados com a execução das obras, correspondem a 45% do custo total, podem ser reduzidos de acordo com a geografia local para reduzir o tamanho dos reservatórios e com menor distância para o transporte dos materiais usados na construção.
- custos com equipamentos: destaque principal para turbinas, geradores, transformadores e comportas.
- custos financeiros: são os custos com tributos, taxas e contribuições decorrentes de empréstimos bancários e de multas e encargos pagos a fornecedores.
- custos ambientais: custos relacionados à aquisição de áreas rurais e urbanas necessárias para a instalação do canteiro de obras e formação do reservatório, relocação de animais, vegetais e até mesmo pessoas. Custo difícil de ser determinado anteriormente, pois depende acima de tudo da localização da usina hidrelétrica.
- custos com estudos de viabilidade e instalação: custos com levantamentos prévios, com estudos de viabilidade técnica do aproveitamento hidrelétrico e a instalação da estrutura necessária para o início da obra.
- custos com linhas de transmissão: custo na transmissão das centrais geradoras aos consumidores.
- custos operacionais: custos compostos pela operação da usina propriamente dita, manutenção de equipamentos, administração, transporte e outros.

A Tabela 4.1 representa a decomposição de custos para implantação de uma usina hidrelétrica.

Tabela 4.1 ó Decomposição dos Custos ó Usina Hidrelétrica.

| <b>Custos</b>                | <b>Participação no Custo Total (%)</b> | <b>Custo em R\$/KW</b> |
|------------------------------|--|------------------------|
| Projeto                      | 3,0                                    | 103,50                 |
| Obras Cíveis                 | 45,0                                   | 1552,50                |
| Equipamentos                 | 25,0                                   | 862,50                 |
| Ambientais                   | 10,0                                   | 345,00                 |
| Viabilidade e Infraestrutura | 2,0                                    | 69,00                  |
| Transmissão                  | 7,0                                    | 241,50                 |
| Financeiros                  | 8,0                                    | 276,00                 |
| <b>Total</b>                 | <b>100,0</b>                           | <b>3450,00</b>         |

Fonte: Dissertação: Estrutura de Custos para Implantação das Usinas de Geração de Energia Elétrica no Brasil, 2011.

#### **4.2.1 Impactos Ambientais Relacionados à Geração Hidrelétrica**

As hidrelétricas, vistas por muitos como uma fonte de energia limpa, do ponto de vista ambiental não podem ser consideradas uma ótima solução ecológica. Elas interferem drasticamente no meio ambiente devido à construção das represas, que provocam inundações em imensas áreas de matas, interfere no fluxo de rios, destroem espécies vegetais, prejudicam a fauna e interferem na ocupação humana. As inundações fazem com que a vegetação encoberta entre em decomposição, alterando a biodiversidade e provocando a liberação de metano, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e pela rarefação da camada de ozônio [24].

A implantação de hidrelétricas pode gerar impactos ambientais na hidrologia, clima, erosão e assoreamento, sismologia, flora, fauna e alteração da paisagem. Na hidrologia impacta com a alteração do fluxo de corrente, alteração de vazão, alargamento do leito, aumento da profundidade, elevação do nível do lençol freático e geração de pântanos. Impacta no clima alterando temperatura, umidade relativa, evaporação (aumento em regiões secas), precipitação e ventos (formação de rampa extensa). Impacta também através da erosão marginal com perda do

solo e árvores, assoreamento provocando a diminuição da vida útil do reservatório, comprometimento de locais de desova de peixes, e perda da função de geração de energia elétrica. Na sismologia, pode causar pequenos tremores de terra, com a acomodação de placas. Na flora provoca perda da biodiversidade, perda de volume útil, eleva concentração de matéria orgânica e conseqüentemente diminuição do oxigênio, produz gás sulfídrico e metano provocando odores e elevação de carbono na atmosfera. Na fauna, provoca perda da biodiversidade, implicam em resgate e realocação de animais, somente animais de grande porte conseguem ser salvos, aves e invertebrados dificilmente são incluídos nos resgates, e provoca migração de peixes.

A quantificação e caracterização dos impactos ambientais provenientes da implantação de hidrelétricas podem ser avaliadas através de indicadores de impacto como [24]:

- Hierarquia Fluvial: ordem observada na área de drenagem do reservatório/ordem máxima observada na subárea;
- Perda de Lagoas Marginais: área das lagoas marginais impactadas pelo aproveitamento/área total de lagoas marginais;
- Comprometimento de Rotas Migratórias: número de rotas migratórias impactadas pela construção do barramento/número total de possíveis rotas de migração;
- Espécies Exclusivas: extensão dos ambientes de elevada energia hidrodinâmica/extensão total destes ambientes;
- Alteração da Vegetação: extensão da vegetação marginal perdida/extensão total de vegetação marginal;
- Qualidade da Água: valor resultante da aplicação de um modelo simplificado de prospecção de qualidade da água dos futuros reservatórios;
- Perda de Vegetação Marginal: extensão de vegetação marginal perdida/extensão total da vegetação marginal;
- Taxa de cobertura Vegetal: superfície florestada afetada/superfície florestada total;
- Relevância da Fauna: número de espécies ameaçadas de extinção utilizada como indicadores ocorrentes/número total de espécies dos grupos considerados.

A construção e o processamento do combustível (incluindo armazenamento) de uma usina hidrelétrica são considerados difíceis, devido à necessidade de construir barragens no curso do rio

e armazenar grandes volumes de água. Essas usinas ainda apresentam alta complexidade para a ampliação da potência instalada.

Além do estudo dos custos e impactos ambientais, é essencial fazer uma projeção do tempo necessário para o empreendimento entrar em operação. Para a compreensão desse processo, pode-se tomar como exemplo a hidrelétrica de Belo Monte, localizada no rio Xingu. As ações ligadas a esse empreendimento se iniciaram em 1975 e a geração comercial está prevista para 2019.

Em 1975 teve início os estudos do inventário da bacia hidrográfica do rio Xingu, entre os anos 1980 e 2009 foram feitas projeções sobre a viabilidade do empreendimento e apenas em 2011 o IBAMA concedeu a Licença de Instalação para a Usina Hidrelétrica de Belo Monte, ou seja, após 36 anos de estudos foi iniciada a construção da usina, com obra prevista para ser concluída em 8 anos [24].

As atividades construtivas de uma usina hidrelétrica só podem ser realizadas no local, com exceção da montagem eletromecânica, que é a única que pode ser pré-fabricada, mesmo assim são unidades de porte muito elevado e de grande dificuldade de transporte.

Com o exemplo da Usina de Belo Monte, pode-se concluir que a complexidade construtiva e o tempo para uma usina hidrelétrica entrar em operação são muito relevantes para a decisão de direcionar investimentos para empreendimentos desse tipo, além da análise de custos e impactos ambientais citados anteriormente.

### **4.3 Custos na Implantação de Usinas Termelétricas**

A geração termelétrica aparece no cenário nacional como ação de suprir a demanda de energia elétrica, não atingida na geração hidrelétrica. A grande vantagem da usina termelétrica é a possibilidade de gerar energia nas proximidades do consumo e a grande desvantagem é o impacto ambiental causado pela emissão de gases, além do custo dos combustíveis.

Cabe ressaltar que os custos de cada empreendimento estão estreitamente ligados às alternativas tecnológicas (combustível, equipamentos, transporte), sendo assim o ponto de partida para a execução de um projeto é a definição do combustível que será utilizado para ver sua disponibilidade e viabilidade econômica.

A decomposição dos custos permite ao investidor reduzi-los. É necessário ressaltar que os equipamentos utilizados: caldeiras, turbinas, geradores correspondem a aproximadamente 60% do custo total do empreendimento [23].

- custos de projeto: a fase do projeto é muito importante, pois determinará a viabilidade da construção da usina. Para isso algumas variáveis são muito significativas como: o tamanho do empreendimento, o tipo de combustível, a conexão ao sistema de transmissão, os custos da energia térmica no mercado, o regime de operação da usina entre outros.

- custos com infraestrutura: os custos não são elevados, pois a construção é simples e rápida, além das instalações serem próximas aos centros de consumo, o que dispensam linhas de transmissão de longo percurso. Caso o combustível utilizado seja o gás, o custo aumenta devido à construção da malha de gasoduto.

- custos com equipamentos: em geral os custos correspondem a 60% do empreendimento, é viável de acordo com o tipo de equipamento utilizado, modo de instalação, detalhes construtivos, dimensões e faixas de operação. Os principais componentes de uma instalação termelétrica são: turbinas (gás ou vapor), motores a combustão, geradores, caldeiras e demais equipamentos auxiliares. No Brasil, o custo está diretamente ligado às variações cambiais, devido a maior parte dos equipamentos serem importados.

- custos financeiros: para o investidor o custo financeiro, é um elemento muito importante no processo de viabilização custo/benefício, onde são estudadas as taxas de juros, as garantias e as condições de liberação do financiamento.

- custos ambientais: como as termelétricas são empreendimentos poluidores, principalmente devido à queima de combustíveis e fazem uso de água para os sistemas de refrigeração e condensação, na grande maioria das implantações faz-se necessário medidas atenuadoras para a diminuição de poluentes e um estudo preciso para a localização da usina para reduzir o impacto ambiental, medidas que conseqüentemente aumentam o custo do empreendimento.

- custos com linhas de transmissão: existe a possibilidade de construir uma usina térmica próxima ao local em que ela será consumida, o que é chamada de geração distribuída, amortecendo a necessidade de linhas de transmissão, porém estudos devem ser realizados para viabilizar o empreendimento.

- custos operacionais: são os custos relacionados a consertos nas instalações, manutenções de rotina, eventuais danos causados ao meio ambiente e pela energia elétrica não gerada durante as

manutenções. Um ponto positivo é que atualmente o nível tecnológico das usinas tem aumentado, portanto os custos operacionais são decrescentes.

- custos com combustíveis: é o custo que gera grande desvantagem competitiva na implantação de usinas de geração térmica, por ser comumente indexado ao dólar. Para o empreendedor é de fundamental importância o custo do combustível, a coleta, o transporte, a estocagem e o manuseio residual.

A Tabela 4.2 representa a decomposição de custos para implantação de uma usina termelétrica.

Tabela 4.2 ó Decomposição dos Custos ó Usina Termelétrica.

| <b>Custos</b>  | <b>Participação no Custo Total (%)</b> | <b>Custo em R\$/KW</b> |
|----------------|--|------------------------|
| Projeto        | 5                                      | 107,35                 |
| Infraestrutura | 15                                     | 322,05                 |
| Equipamentos   | 60                                     | 1288,20                |
| Financeiro     | 10                                     | 214,70                 |
| Ambientais     | 5                                      | 107,35                 |
| Transmissão    | 5                                      | 107,35                 |
| <b>Total</b>   | <b>100</b>                             | <b>2147,00</b>         |

Fonte: Dissertação: Estrutura de Custos para Implantação das Usinas de Geração de Energia Elétrica no Brasil, 2011.

#### **4.3.1 Impactos Ambientais Relacionados à Geração Termelétrica**

A utilização maciça dessa fonte de energia, além de provocar o esgotamento desses recursos, é a maior responsável pela emissão de gases tóxicos e poluentes, que alteram o clima mundial, acidificam águas e causam danos à saúde. A obtenção de eletricidade por meio de combustíveis fósseis é a principal fonte de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>,SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>, NO e NO<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO) e particulados (entre eles o chumbo) [24].

O aquecimento global é um dos principais impactos das emissões de gases na atmosfera. Gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ozônio troposférico

(O<sub>3</sub>), e clorofluorcarbonos (CFCs). A emissão de gás carbônico aumentou muito a partir de 1950 com a combustão de combustíveis fósseis.

A acidificação das águas é proveniente da presença de ácidos como o sulfídrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e o nítrico (HNO<sub>3</sub>) formados na atmosfera, em função da queima de combustíveis fósseis e os elementos liberados: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). Esses podem ser levados pelo vento a distâncias de até mil quilômetros do emissor, e causar chuvas ácidas em locais bem distantes da fonte, sendo considerado então um problema regional. A chuva ácida impacta ambientes, colheitas, e materiais florestais e aquáticos, ou seja, lagos possui dificuldade para manter a pesca, retarda o crescimento de árvores e causam danos ao solo, além do imensurável dano ao ser humano.

A quantificação dos impactos gerados pelos gases do efeito estufa está relacionada ao tempo de vida desses gases na atmosfera e suas interações com outros gases e com o vapor d'água. Tal medição é efetuada através do indicador Potencial de Aquecimento Global (GPW), que fornece a contribuição relativa decorrente da emissão na atmosfera de 1 kg de determinado gás comparada com a emissão de 1 kg de CO<sub>2</sub>. O GPW calculado para diferentes horizontes de tempo mostra a influência da vida média do gás na atmosfera. Já a acidez é medida pela concentração de íons de hidrogênio em unidades de pH.

A construção e o processamento do combustível (incluindo transporte e armazenamento) de uma usina termelétrica são considerados de média dificuldade, devido à necessidade de fazer uso de equipamentos de grande porte para gerar energia e no caso de usinas a gás natural e petróleo a construção de gasodutos e/ou oleodutos ligando os poços de extração dos insumos as mesmas.

Além do estudo dos custos e impactos ambientais, é essencial fazer uma projeção do tempo necessário para o empreendimento entrar em operação. No caso de usinas que utilizam gás natural no processo de geração de energia, normalmente possuem potência média instalada de 0,6 GW e o tempo de construção fica em torno de 24 meses [23].

Com o exemplo de usinas alimentadas a gás natural, pode-se concluir que a média complexidade construtiva e o tempo reduzido para a uma usina termelétrica entrar em operação são muito relevantes para a decisão de direcionar investimentos para empreendimentos desse tipo, além da análise de custos e impactos ambientais citados anteriormente.

#### 4.4 Custos na Implantação de Usinas Eólicas

Os dados de custos para a implantação de um parque eólico no Brasil são praticamente indisponíveis, portanto para esse trabalho foram considerados dados do Proinfa e dos últimos leilões de energia eólica. Em 2006, o custo para implantação de um parque eólico era de 7.500,00 R\$/KW, em 2014 esse valor foi reduzido para 3.350,00 R\$/KW, esse decréscimo deve-se a programas de incentivo, como o Proinfa, ganhos de escala na fabricação de aero geradores, desenvolvimento tecnológico e por ser um meio de geração menos agressivo ao meio ambiente [23].

Apesar do custo de instalação ser atraente, a produção de energia eólica ainda não é competitiva, pois seu regime operacional é intermitente, dependente de um fluxo da natureza (ventos), essa variabilidade na produção faz com que uma planta eólica necessite de geração complementar, agregando mais custo.

Os custos para a construção de um parque eólico estão decompostos simplificada da seguinte forma:

- custos de projeto: esses custos estão relacionados ao levantamento necessário para o empreendimento, estudo do terreno e sua influência no comportamento do vento, estudo da disposição dos aero geradores na fazenda eólica e estudo da conexão da fazenda eólica com a rede elétrica.
- custos com infraestrutura: são basicamente os custos com os acessos (estradas) e as obras civis para a base dos aero geradores, uma das vantagens econômicas dos parques eólicos é o de permitirem que o terreno seja utilizado para outros fins.
- custos com equipamentos: diz respeito a maior parte dos custos em uma planta eólica, que é aquisição dos aero geradores. Esforços em pesquisas para desenvolvimentos tecnológicos podem reduzir esses custos.
- custos financeiros: como em outros empreendimentos, são taxas de juros dos financiamentos utilizados na fase de construção do projeto, onde normalmente refere-se a 80% do investimento.
- custos com linhas de transmissão: a disponibilidade de transmissão é decisiva na viabilização do empreendimento, pois a necessidade de construção de grandes linhas de transmissão e de subestações aumenta muito o custo do projeto, no sistema brasileiro a distancia média do projeto



para a conexão ao sistema de distribuição é de 30 km, o que gera um custo aproximado de 7% de todo o empreendimento.

- custos operacionais: são elevados comparados a outras formas de geração, podem ser reduzidos com a manutenção preventiva e programados em períodos de ventos mais fracos, reduzindo assim perda de produção.

- custos ambientais: os custos são baixos comparados a outras fontes energéticas, pois tem pequeno impacto ambiental. Não tem alagamento de áreas, não emitem gases poluentes, não tem deslocamento de população, animais ou plantação e ainda permite que a área da fazenda eólica seja utilizada para agricultura ou pecuária.

A Tabela 4.3 representa a decomposição de custos de uma usina eólica.

Tabela 4.3 ó Decomposição dos Custos ó Usina Eólica.

| <b>Custos</b>         | <b>Participação no Custo Total (%)</b> | <b>Custo em R\$/KW</b> |
|-----------------------|--|------------------------|
| Projeto               | 5,0                                    | 167,50                 |
| Infraestrutura        | 15,0                                   | 502,50                 |
| Equipamentos          | 60,0                                   | 2010,00                |
| Financeiros           | 13,0                                   | 435,50                 |
| Linhas de Transmissão | 7,0                                    | 234,50                 |
| <b>Total</b>          | <b>100,0</b>                           | <b>3350,00</b>         |

Fonte: Dissertação: Estrutura de Custos para Implantação das Usinas de Geração de Energia Elétrica no Brasil, 2011.

#### **4.4.1 Impactos Ambientais Relacionados à Geração Eólica**

A energia eólica não polui durante sua operação, portanto é vista como uma contribuição para a redução de emissão de gases de efeito estufa e na redução da concentração de gás carbônico. Então os impactos ambientais estão relacionados principalmente a ruídos, ao impacto visual e ao impacto sobre a fauna.

A tecnologia atual mostra que é possível à construção de turbinas eólicas com níveis de ruído bem menores, visto que as engrenagens utilizadas para multiplicar a rotação do gerador podem ser eliminadas caso seja empregado um gerador elétrico que funciona em baixas rotações.

O ruído de origem aerodinâmica é função da velocidade do vento sobre a turbina eólica, e a sua redução relaciona-se ao design das pás e da própria torre.

As turbinas eólicas geram um impacto visual de difícil quantificação, porém com certeza, as turbinas de 50 metros de altura e hélices de 20 metros, impactam a paisagem. Outro aspecto do impacto visual é referente às movimentações das sombras provocadas pelas hélices, que deve ser considerado quando da implantação próxima a áreas habitadas. Planejamentos devem maximizar a potencialidade do uso de terras [24].

O impacto sobre a fauna é devido à colisão de pássaros com as estruturas, no entanto estudos comprovam que a instalação das turbinas fora das rotas de migração elimina quase completamente o problema [24].

As turbinas eólicas em algumas áreas podem refletir em ondas eletromagnéticas, interferindo em sistemas de comunicação eletromagnéticos, por exemplo, em transmissões televisivas.

A quantificação dos impactos provenientes de energia eólica em parte pode ser avaliada pela quantidade de gás carbônico não emitido na atmosfera. A emissão de ruídos é quantificada em decibéis, considerando a distância das fazendas eólicas a áreas habitadas, e velocidade do vento. Impactos sobre o uso de terras é quantificado pela área ocupada.

A quantificação dos impactos sobre a fauna pode ser realizado através de estudos sobre rotas migratórias de aves, e comportamento da fauna da região, já os impactos visuais podem ser previstos e evitados com implantação cuidadosa, evitando efeitos de sombras, que podem incomodar mais que os efeitos acústicos. A interferência eletromagnética também pode ser evitada mantendo-se determinada distância dos eixos de passagem das conexões.

A construção de uma usina eólica é considerada fácil, pois seus componentes são modulares, apenas devem ser instaladas em regiões de maior potencial, possibilitando ainda certa facilidade na ampliação da capacidade instalada. Outro fator a ser considerado nas usinas eólicas é a inexistência do processo, transporte e armazenamento de combustível.

Geradores eólicos são fabricados em larga escala, com potência e componentes padronizados, viabilizando-se a produção em série. Este é um dos motivos pelo qual usinas eólicas são normalmente chamadas de fazendas, já que os geradores são plantados um ao lado do outro formando uma fazenda de geração de eletricidade.

Além do estudo dos custos e impactos ambientais é essencial fazer uma projeção do tempo necessário para o empreendimento entrar em operação. No caso de uma usina eólica com potência média instalada de 0,15 GW e o tempo de construção fica em torno de 20 meses [22].

Com o exemplo de uma usina eólica com 0,15 GW de potência instalada, pode-se concluir que a facilidade construtiva e o tempo reduzido para a uma usina eólica entrar em operação são muito relevantes para a decisão de direcionar investimentos para empreendimentos desse tipo, além da análise de custos e impactos ambientais citados anteriormente.

#### **4.5 Custos na Implantação de Usinas Fotovoltaicas**

Em 2013 o valor estimado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), era da ordem de 6510 R\$/KW, valor ainda não competitivo com outras fontes de energia. Porém, incentivos podem reduzir o custo na implantação de painéis fotovoltaicos. Na maioria dos empreendimentos ocorre o financiamento de 80% do projeto à taxa de 4,5% ao ano e amortização de 16 anos, estudos comprovam que a taxa poderia ser reduzida para 3% ao ano, apenas com essa medida o valor da energia gerada seria de 6054 R\$/KW [16,25].

A ANEEL em 17/04/2012, através da Resolução Normativa nº481, estipulou um desconto de 80% por dez anos sobre tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição (TUST e TUSD) para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31/12/2017 e de 50% após o décimo ano de operação da usina [26,27].

Podemos ter também incentivos fiscais nos equipamentos, na instalação e na montagem. No caso específico da geração centralizada, uma série de fatores pode reduzir o preço final, por exemplo, em locais onde a irradiação solar é mais favorável, pode-se aplicar um fator de capacidade de 20% ao invés do adotado (18%), medida que reduziria o preço da energia em 10%. Ainda outras medidas poderiam ser tomadas para incentivar a inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira, pois a irradiação solar no Brasil é maior que o dobro da média mundial, e o aproveitamento dessa energia no país pode ser considerado desprezível, mesmo possuindo alguns empreendedores do setor privado investindo em novas plantas, como é o caso das que estão sendo construídas nos municípios de Lins e Dracena, com potência instalada de 30 MW cada [28].

#### **4.5.1 Impactos Ambientais Relacionados à Geração Fotovoltaica**

O sistema fotovoltaico não emite poluentes durante sua operação e é muito promissor como uma alternativa energética sustentável, entretanto gera impactos ambientais a serem considerados. O impacto ambiental mais significativo do sistema fotovoltaico para geração de energia solar é provocado durante a fabricação de seus materiais e construção, e também relacionado a questões de área de implantação.

De forma geral o sistema fotovoltaico apresenta os seguintes impactos ambientais negativos [24]:

- Emissões e outros impactos associados à produção de energia necessária para os processos de fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção e dimensionamento dos sistemas;
- Emissões de produtos tóxicos durante o processo da matéria-prima para a produção dos módulos e componentes periféricos, tais como ácidos e produtos cancerígenos, além de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, e particulados;
- Ocupação de área para implantação do projeto e possível perda de habitat (crítico em áreas especiais), no entanto, sistema fotovoltaico pode utilizar-se de áreas e estruturas já existentes como telhados, fachadas e outras;
- Impactos visuais, que podem ser minimizados em função da escolha de áreas não sensíveis;
- Riscos associados aos materiais tóxicos utilizados nos módulos fotovoltaicos (arsênico, gálio e cádmio) e outros componentes, ácido sulfúrico das baterias (incêndio, derramamento de ácido, contato com partes sensíveis do corpo);
- Necessidade de se dispor e reciclar corretamente as baterias (geralmente do tipo chumbo-ácido, e com vida média de quatro a cinco anos) e outros materiais tóxicos contidos nos módulos fotovoltaicos e demais componentes elétricos e eletrônicos, sendo a vida média dos componentes estimada entre 20 e 30 anos;

A quantificação dos impactos ambientais em função da obtenção de energia solar podem ser segundo:

- gases poluentes não emitidos na atmosfera;
- área ocupada x produção de energia (GWh/ha) ó aplicável a estações centrais fotovoltaicas;
- riscos de acidentes em manutenção por KWh;
- riscos de incêndio x produção de energia;

- ciclo de vida dos componentes dos sistemas;
- emissão de poluentes no processo de fabricação dos componentes dos sistemas;
- emissão de poluentes x riscos de acidentes.

A construção de uma usina solar é considerada fácil, pois seus componentes são modulares, apenas deve ser instalada em regiões de maior potencial, possibilitando ainda certa facilidade na ampliação da capacidade instalada. Outro fator a ser considerado nas usinas solares é a inexistência do processo, transporte e armazenamento de combustível.

Painéis fotovoltaicos são fabricados em larga escala, com potência e componentes padronizados, viabilizando-se a produção em série. Este é um dos motivos pelo qual usinas solares são normalmente chamadas de *fazendas*, já que as placas são *plantadas* uma ao lado da outra formando uma fazenda de geração de eletricidade.

Além do estudo dos custos e impactos ambientais, é essencial fazer uma projeção do tempo necessário para o empreendimento entrar em operação. No caso de uma usina solar com potência média instalada de 0,005 GW e o tempo de construção fica em torno de 10 meses [18].

Com o exemplo de uma usina solar com 0,005 GW de potência instalada, pode-se concluir que a facilidade construtiva e o tempo reduzido para a uma usina solar entrar em operação são muito relevantes para a decisão de direcionar investimentos para empreendimentos desse tipo, além da análise de custos e impactos ambientais citados anteriormente.

#### **4.6 Análises Comparativas**

Com os dados levantados nesse tópico, é possível realizar um estudo comparativo entre a geração hidrelétrica, termelétrica, eólica e solar, observando os custos do projeto, impactos ambientais envolvidos, complexidade construtiva e de processo dos combustíveis e o tempo para execução do empreendimento. A Tabela 4.4 representa a comparação entre as diferentes fontes geradoras de energia elétrica, facilitando a visualização da viabilidade do uso das diferentes fontes diante da necessidade de aumentar a geração de eletricidade no país.

Tabela 4.4 ó Estudo comparativo.

|         | Custo Projeto | Impacto Ambiental | Complexidade Construtiva | Complexidade Processo | Custo Insumo | Tempo p/ Execução |
|---------|---------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|
| Hidro   | Médio         | Médio             | Alta                     | Alto                  | Inexistente  | Alto              |
| Térmica | Baixo         | Alto              | Média                    | Médio                 | Variável     | Baixo             |
| Eólica  | Médio         | Baixo             | Baixa                    | Inexistente           | Inexistente  | Baixo             |
| Solar   | Alto          | Baixo             | Baixa                    | Inexistente           | Inexistente  | Baixo             |

Fonte: Elaboração própria com base na Dissertação: Estrutura de Custos para Implantação das Usinas de Geração de Energia Elétrica no Brasil, 2011.

#### 4.7 Conclusões Preliminares

Com o estudo desse capítulo, pode-se concluir que é necessário e viável ampliar a participação das energias renováveis na matriz energética nacional, principalmente com uso das fontes eólica e solar. E mesmo com poucas ações governamentais sendo fomentadas no momento para empreendimentos na geração de energia fotovoltaica (provavelmente devido ao seu custo elevado e a complexidade de gerenciamento de pequenas instalações geradoras ó no contexto de microrredes inteligentes de energia), é preciso destacar que no início do Proinfa os custos para geração eólica também eram inviáveis, no entanto, hoje são bastante competitivos.

Cabe ressaltar ainda que as primeiras instalações fotovoltaicas na Europa foram residenciais, é só depois essa tecnologia migrou para sistemas de grande porte. No Brasil, isto ainda se encontra atrasado devido à falta de incentivos públicos por meio do governo. No Estado de São Paulo, por exemplo, onde o potencial solar é enorme, acredita-se que uma grande parte da população não apresenta poder aquisitivo para fazer uso destes sistemas.

Outra conclusão relevante é que se a produção de energia de fontes como o vento e o sol fossem inseridas extensivamente no sistema, além da redução dos custos com a evolução da tecnologia, estas dariam mais flexibilidade à geração hidrelétrica, permitindo novas técnicas de otimização do nível de água de seus reservatórios ao longo do ano. Ressaltando que os períodos de maior escassez de água, em algumas regiões, estão relacionados com os períodos de maior vento e irradiação solar. Admitindo o consumo previsto de 1050 TWh para 2030, o objetivo de manter a matriz elétrica cada vez mais limpa e diante do potencial existente no país, a inserção das fontes renováveis (além da hidrelétrica) na matriz elétrica nacional, para a geração de

eletricidade de maneira extensiva e não apenas para suprir a demanda não atendida pela geração hidrelétrica, faz-se urgente, tendo em vista que caso o país mantenha as projeções de crescimento de geração, teria em 2030 a capacidade de gerar mais de 2000 TWh de energia elétrica através de outras fontes renováveis, além das hidrelétricas.

É preciso destacar também que o tempo e a complexidade construtiva para a execução de plantas eólicas, solares e térmicas devem ser considerados, pois possibilitam viabilidade nos empreendimentos.





## 5 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS COMO EXEMPLOS PARA O BRASIL

Esse capítulo tem por objetivo apresentar e discutir as principais leis e incentivos destinados ao crescimento da utilização das fontes renováveis de energia para a geração de eletricidade na China, na Alemanha e no Brasil. A China foi escolhida como exemplo por ser o maior consumidor de energia do planeta e também o maior investidor em fontes renováveis. Já a Alemanha será citada por ter o consumo de energia elétrica praticamente estagnado e mesmo assim ser destaque em programas governamentais e incentivos para o crescimento de renováveis em sua matriz energética.

O Brasil é citado por ser o foco do estudo desse trabalho, e possuir grande necessidade de fazer uso da experiência internacional, buscando caminhos para a inserção relevante das fontes renováveis de energia na matriz elétrica brasileira.

### 5.1 China

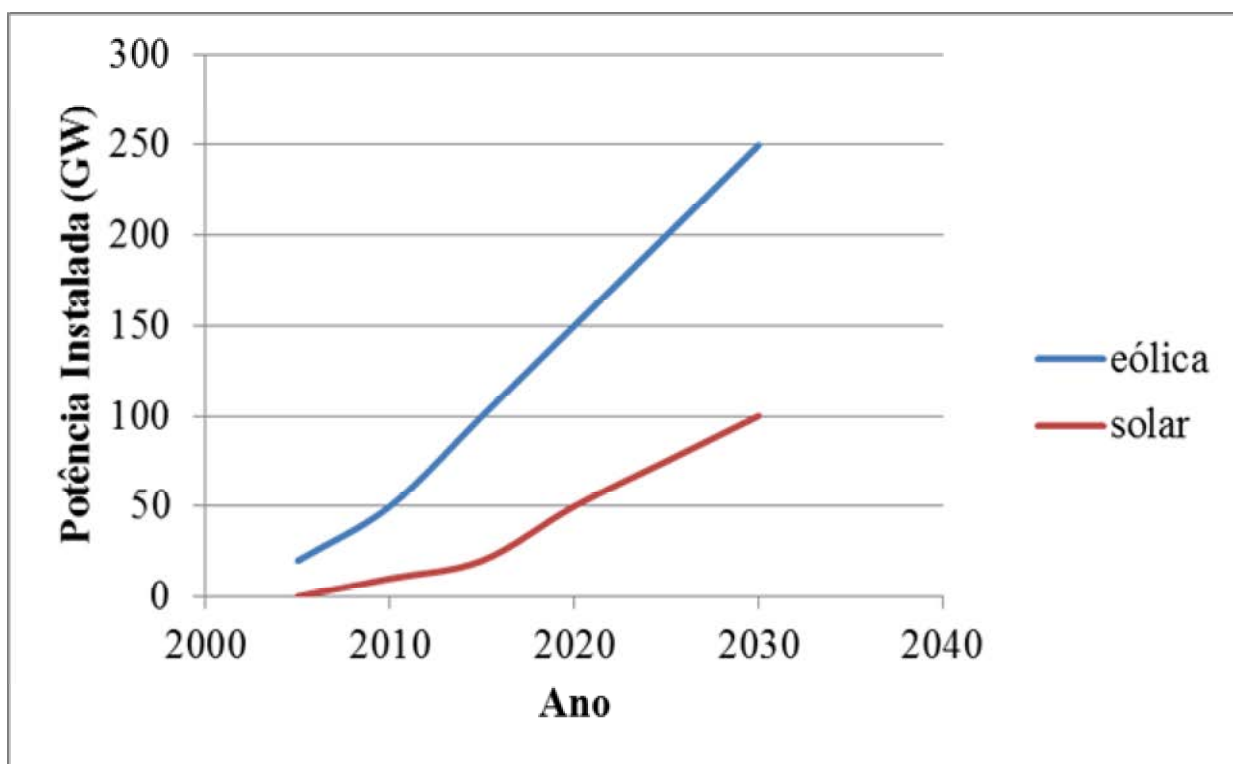
Desde 2011 a China é o maior consumidor de energia do planeta. Na estrutura da matriz energética chinesa, observa-se ainda a predominância da utilização do carvão mineral, no entanto o país é o maior produtor de energia hidrelétrica, eólica e solar térmica para o aquecimento de água no mundo, sendo esta 27 vezes superior à capacidade instalada brasileira. Recentemente, a China passou a ser o maior fabricante de painéis fotovoltaicos, alcançando uma participação de 47% do mercado mundial.

Quanto à política energética, ressalta-se que, a partir de 2006, passou a vigorar a Lei de Energia Renovável, posteriormente revisada em 2009. De acordo com essa lei, os geradores de energia elétrica deverão obter uma licença administrativa para implantar os projetos. No caso de haver mais de uma solicitação de licença para o mesmo projeto, realizar-se-á um processo licitatório aberto. Uma vez obtida a licença, o empreendedor terá garantidas a conexão à rede elétrica e a venda da energia produzida à distribuidora, a preços pré-definidos.

As distribuidoras de eletricidade estarão também obrigadas a garantir a compra de uma parcela mínima de eletricidade a partir de fontes renováveis. Essas empresas também deverão contribuir para um fundo destinado a subsidiar as energias renováveis, pagando um valor fixo por quilowatt-hora que comercializarem. Foram também previstas tarifas *feed-in* para energia elétrica proveniente da biomassa, e sistemas fotovoltaicos foram beneficiados com subvenções diretas.

O 12º Plano Quinquenal de Desenvolvimento Econômico e Social da República Popular da China inclui metas compulsórias relacionadas ao setor energético, com a previsão de que os combustíveis não fósseis atinjam 11,5% do consumo primário de energia em 2015. Foi também aprovado no país o 12º Plano Quinquenal para Energia Renovável, que inclui metas para diversas fontes renováveis. A meta para a energia eólica é atingir 100 GW de capacidade instalada em 2015 e 150 GW de capacidade instalada em 2020. Mesmo devido à desaceleração do crescimento econômico global, onde a China sofreu perdas significativas na exportação de painéis fotovoltaicos principalmente para a União Europeia e os Estados Unidos, o mercado interno deverá crescer menos nos próximos anos. Assim a meta do 12º Plano Quinquenal do país é atingir em 2015, 21 GW de capacidade solar instalada e 50 GW até 2020. A Figura 5.1 representa o crescimento da capacidade instalada das energias eólica e solar na China.

Figura 5.1 ó Crescimento da capacidade instalada de energia eólica e solar na China.



Fonte: Elaboração própria com base na Agencia Internacional de Energia (AIE).

A China é um dos maiores responsáveis pelo impacto ambiental, devido à intensiva utilização de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica, por outro lado é o país que

mais cresce no uso das energias renováveis e no desenvolvimento tecnológico. A rápida expansão das energias limpas na China tem proporcionado à redução dos custos das tecnologias utilizadas em todo o mundo. Esse fato faz com que outros países emergentes, como é o caso do Brasil, possam progredir na produção de energias renováveis, principalmente eólica e solar.

## 5.2 Alemanha

A matriz energética do país apresenta predomínio na utilização de combustíveis fósseis, principalmente petróleo, gás natural e carvão mineral, no entanto a Alemanha é um dos países que mais tem se empenhado em elevar a participação das fontes renováveis em sua matriz energética. No setor elétrico, as energias renováveis são responsáveis por 20% da energia consumida no país, com destaque para eólica, biomassa, hidrelétrica e solar fotovoltaica.

O grande crescimento da utilização das fontes renováveis na Alemanha deve-se a legislação pioneira implantada no país, Lei da Venda de Eletricidade à Rede (1991) que se tornou referência para todo o mundo. Já no ano 2000 a lei supracitada foi substituída pela Lei de Fontes Renováveis de Energia (EEG), que definiu o objetivo de, pelo menos, dobrar a participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica até 2010, como forma de minimizar o aquecimento global e proteger o meio ambiente. Para atingir o objetivo a Lei relacionou algumas condições como:

- inclusão de definições, com a finalidade de elevar a segurança da norma;
- previsão de pagamento pela energia gerada por hidrelétricas de até 0,15 GW;
- ajustes nas tarifas, como a elevação do valor pago pela energia geotérmica, solar e eletricidade derivada da biomassa;
- estabelecimento de percentuais de decréscimo anual das tarifas para todas as fontes;
- estabelecimento de tarifas diferenciadas para os cinco primeiros anos de operação das plantas eólicas;
- introdução de uma limitação da participação das indústrias eletro intensivas na cobertura dos custos decorrentes das tarifas *feed-in* previstas na Lei.

Em 2011 a Lei de Fontes Renováveis foi revisada [23], passou a vigorar em 2012, e foram definidas metas de participação das fontes renováveis no suprimento da energia elétrica de 35% até 2020, 50% até 2030 e 80% até 2050.

Essa legislação, somada a outros programas governamentais, levou a Alemanha a expressiva liderança mundial em termos de capacidade instalada em energia fotovoltaica. O país também ocupa a terceira posição em energia eólica e segunda colocação no que se refere à eletricidade da biomassa. Quanto à energia solar fotovoltaica, cabe ressaltar que os incentivos concedidos e a acelerada queda nos preços dos módulos fotovoltaicos ocasionaram acréscimos de capacidade em ritmo muito acelerado nos últimos anos.

A Alemanha estipulou na Lei de Energias Renováveis que os novos edifícios, residenciais ou não, deverão atender parte de sua demanda por calor ou frio por meio de fontes renováveis de energia. Essa parcela obrigatória varia de 15% a 50%, de acordo com a fonte utilizada, que pode ser escolhida pelo proprietário. O setor público também deverá cumprir essas exigências para edifícios já existentes que venham sofrer reformas importantes. O governo também fornece apoio financeiro para que os proprietários de edifícios já existentes instalem sistemas de aquecimento e resfriamento baseado em fontes renováveis.

Com a prática da lei vigente o governo alemão tem alcançado a independência energética, além de observar um crescimento econômico relevante devido à geração de novos empregos e à venda de tecnologias para o mercado interno e externo. Em relação aos benefícios ambientais, estima-se que a Alemanha evita atualmente a emissão de 115 milhões de toneladas de gás carbônico, o que corresponde a 8,4 bilhões de euros economizados com a redução de efeitos nocivos causados pela poluição do ar [23].

### **5.3 Brasil**

Atualmente o país possui alguns dispositivos legais que procuram incentivar as fontes alternativas renováveis, além das grandes hidrelétricas. Inicialmente pode-se ressaltar a Lei nº 5655, de 20 de maio de 1971, que prevê a destinação de recursos da Reserva Global de Reversão (RGR), para instalações de produção a partir de fontes eólica, solar, biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas.

A Lei nº 9427, de 26 de dezembro de 1996, inclui diversas disposições que favorecem as fontes renováveis. Além de permitir a utilização do regime de autorização para o aproveitamento de potencial hidrelétrico de potência entre 0,001 e 0,03 GW, a mesma lei institui descontos nas tarifas de transmissão e distribuição para os empreendimentos hidrelétricos com potência

instalada igual ou inferior a 0,001 GW, para as fontes solar, eólica e biomassa com potência máxima instalada de 0,03 GW.

A Lei nº 9648, de 27 de maio de 1998, prevê que a geração de energia elétrica a partir de pequenas centrais hidrelétricas, fontes eólica, solar, biomassa e gás natural que venha ser implantada em sistema elétrico isolado e substitua a geração termelétrica que utilize derivado de petróleo ou desloque sua operação para atender ao incremento do mercado poderá receber recursos da Conta de Consumo de Combustíveis (CCC).

Outra medida apresentada para fomentar as energias renováveis é a Lei nº 10438, de 26 de abril de 2002, que criou o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e também a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que tem como objetivo aumentar a competitividade da energia produzida a partir de fontes renováveis.

Disposições importantes acerca das fontes alternativas renováveis de energia elétrica também constam na Lei nº 10848/04, que prevê a participação de fontes alternativas nas licitações para suprimento das distribuidoras atendidas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) e permite que essas empresas adquiram energia elétrica proveniente de geração distribuída.

Quanto à utilização da energia solar para o aquecimento de água, a Lei nº 11077, de 7 de julho de 2009, que dispõe sobre o Programa Minha Casa Minha Vida, autoriza o custeio, no âmbito do programa, da aquisição e instalação de equipamentos de energia solar. É importante ressaltar que o principal mecanismo utilizado internacionalmente para promover a expansão de aquecimento solar de água é a exigência de implantação desses sistemas por meio de normas de edificação. No Brasil, entretanto, semelhantes medidas envolvem normas de caráter local, cuja legislação é de competência municipal, de acordo com a Constituição Federal. Portanto, para incentivar essa fonte limpa e viável economicamente no país, a legislação federal precisará adotar outros instrumentos, como a oferta de financiamento para aquisição de equipamentos, além de outros incentivos, como, por exemplo, a concessão de descontos nas tarifas de energia elétrica, em função dos benefícios que os aquecedores solares trazem para o sistema elétrico.

No que se refere ao financiamento das fontes alternativas de energia no Brasil, verifica-se a carência de linhas de financiamento adequadas para a geração descentralizada em pequena escala. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) possui uma linha de apoio às energias renováveis, mas o valor mínimo de financiamento é de 10 milhões ou menor em condições especiais [29].

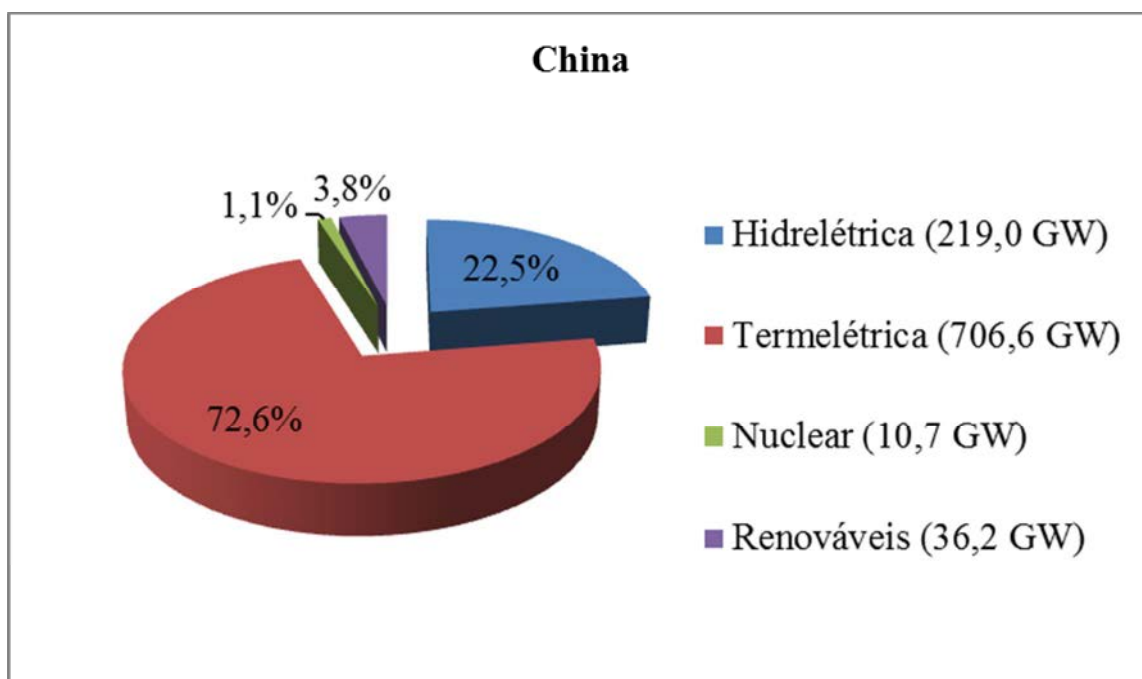
Para a produção de energia elétrica descentralizada em instalações de pequeno porte, recentemente a Aneel aprovou a Resolução nº 482/2012, que cria sistema de compensação de energia elétrica. Por meio desse mecanismo, os consumidores que instalarem pequenas unidades de produção de energia elétrica, de até 0,001 GW de capacidade, utilizando fontes renováveis ou cogeração qualificada, poderão abater a energia que injetarem na rede elétrica, sendo que o excedente não compensado gerará créditos válidos por 3 anos. Para a execução dessa norma faz-se necessário à adequação do sistema de medição, e os custos provenientes dessa adequação serão repassados para os consumidores e cada fatura mensal deverá apresentar um valor positivo mínimo, o que corresponderia a um custo de disponibilidade.

Pode-se considerar que a Resolução nº 482/2012 é um avanço no incentivo à geração distribuída, porém não apresenta os mesmos benefícios que já são oferecidos pela legislação internacional, onde a energia excedente exportada para a rede é efetivamente vendida gerando uma receita para a fonte geradora (consumidor), e no caso da norma citada ao expirar o prazo de 3 anos dos créditos acumulados, as distribuidoras poderão se apropriar da energia e vender sem repassar nada para o consumidor (gerador) e dono da receita adquirida [30].

#### **5.4 Análises Comparativas**

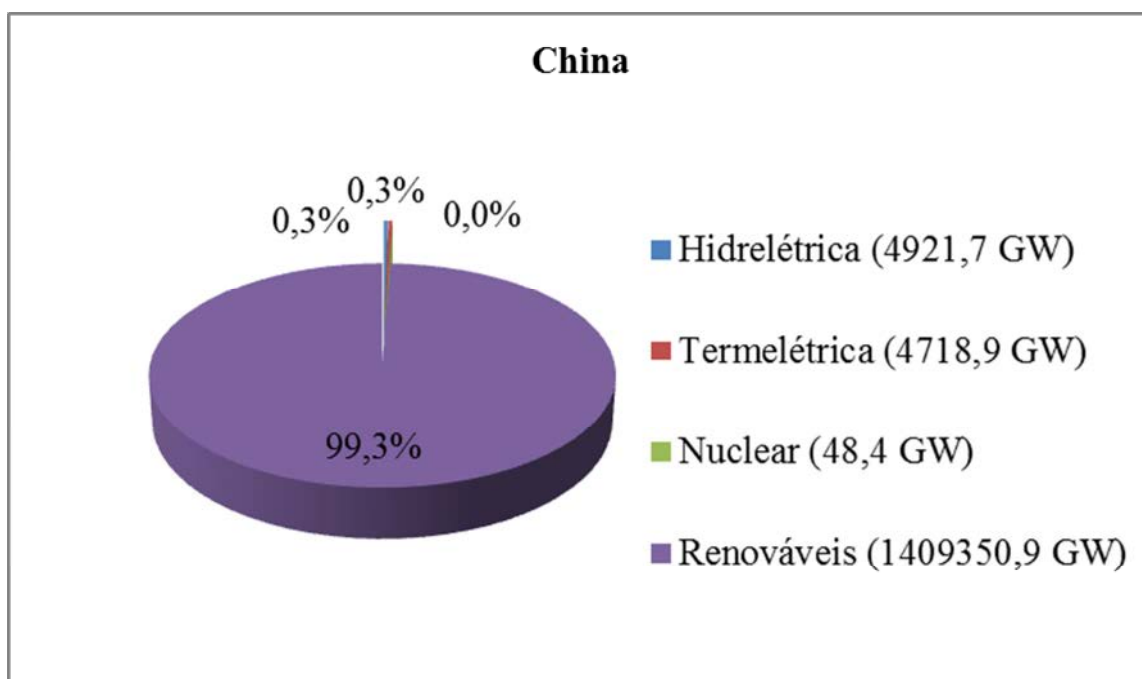
Com os dados levantados anteriormente e as metas apresentadas nesse capítulo, é possível realizar um estudo comparativo entre as matrizes elétricas da China, da Alemanha e do Brasil, bem como uma projeção para 2030, de como ficarão as respectivas matrizes, considerando o crescimento da capacidade instalada descrita no capítulo 2. As Figuras 5.2, 5.4 e 5.6 representam a composição da matriz elétrica dos países em 2010, considerando a geração hidrelétrica, outras fontes renováveis (das marés, das ondas, biomassa, eólica e solar), nuclear e termelétrica. Diante das variações das capacidades instaladas para as mesmas fontes, as Figuras 5.3, 5.5 e 5.7 representam a projeção da composição das matrizes elétricas da China, da Alemanha e do Brasil para 2030.

Figura 5.2 ó Composição da matriz elétrica da China (2010).



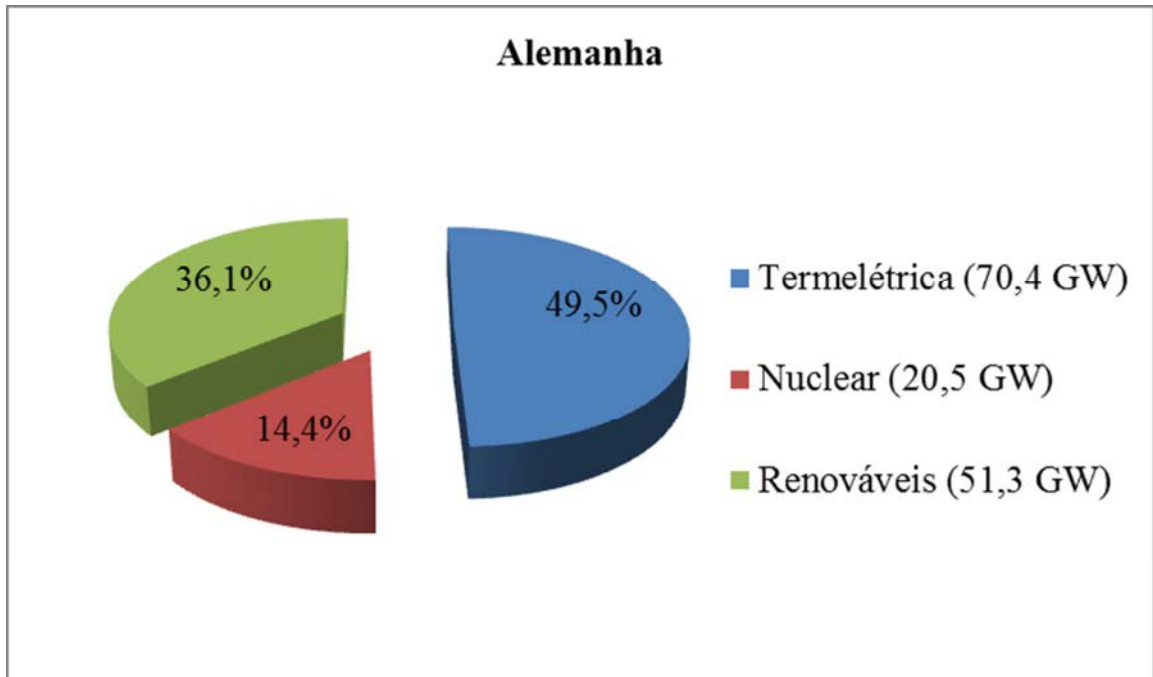
Fonte: Elaboração própria com base na Agencia Internacional de Energia (AIE).

Figura 5.3 ó Projeção para a composição da matriz elétrica da China (2030).



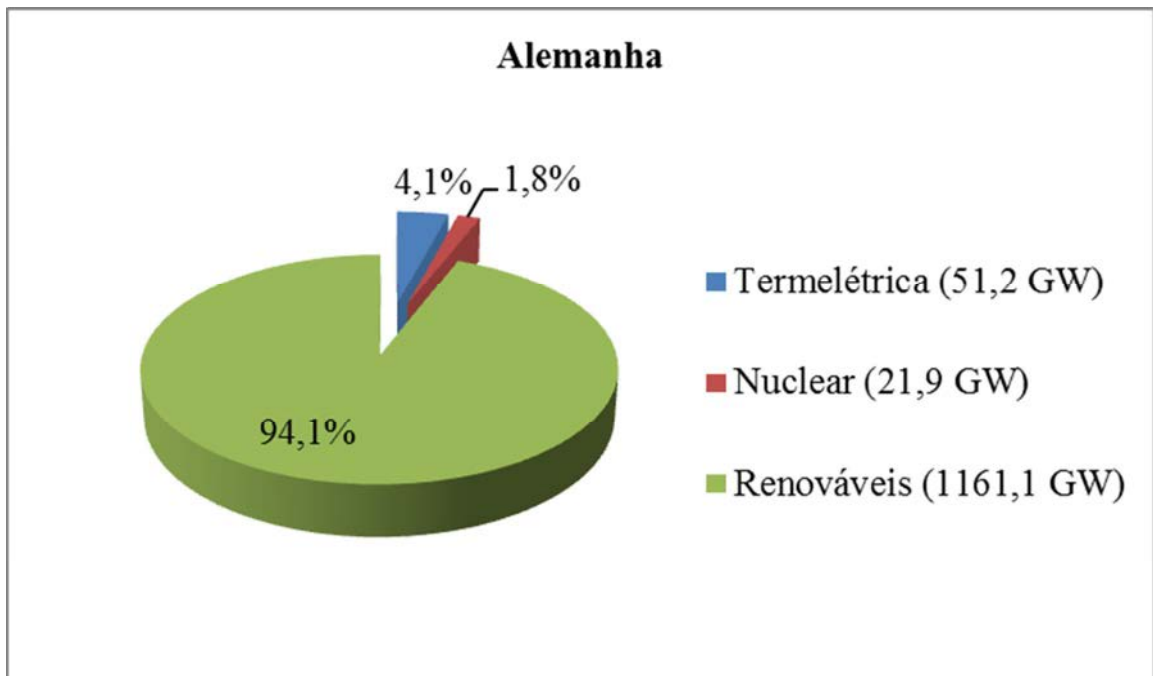
Fonte: Elaboração própria com base na Agencia Internacional de Energia (AIE).

Figura 5.4 ó Composição da matriz elétrica da Alemanha (2010).



Fonte: Elaboração própria com base na Agencia Internacional de Energia (AIE).

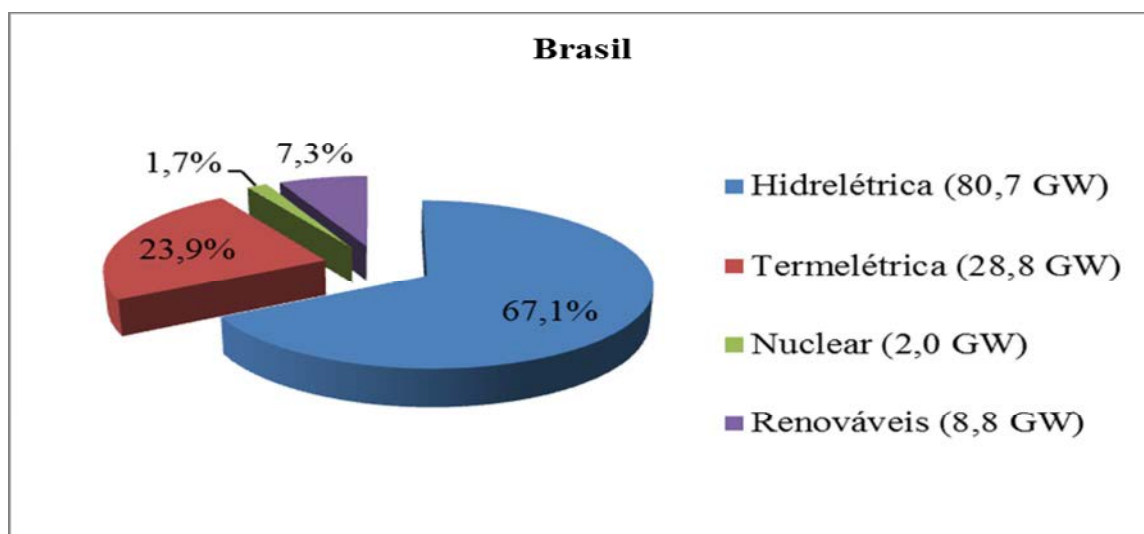
Figura 5.5 ó Projeção para a composição da matriz elétrica da Alemanha (2030).



Fonte: Elaboração própria com base na Agencia Internacional de Energia (AIE).

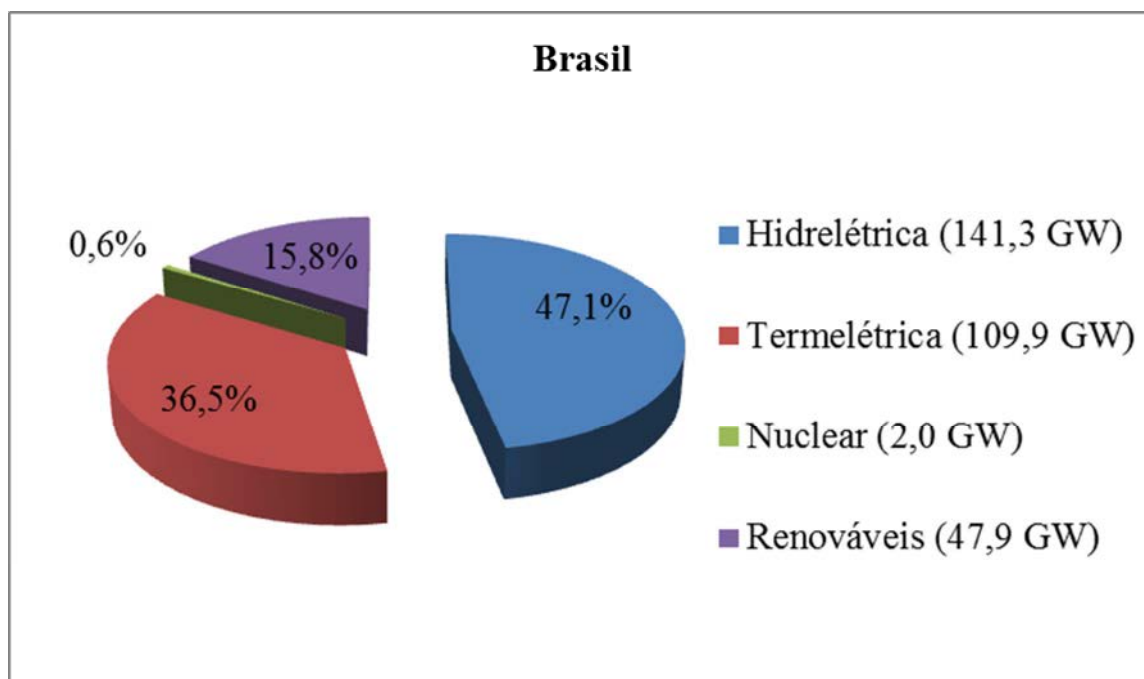


Figura 5.6 ó Composição da matriz elétrica do Brasil (2010).



Fonte: Elaboração própria com base na Agencia Internacional de Energia (AIE).

Figura 5.7 ó Projeção para a composição da matriz elétrica do Brasil (2030).



Fonte: Elaboração própria com base na Agencia Internacional de Energia (AIE).

As projeções realizadas para a China e a Alemanha estão baseadas nos percentuais de variação das capacidades instaladas para as diferentes fontes, porém deverão sofrer alterações devido à necessidade da demanda de cada país e os potenciais existentes para a composição das

respectivas matrizes energéticas, porém observa-se uma mudança relevante no cenário. No caso do Brasil, o cenário para 2030, fica limitado a programas/leis/incentivos adequados para o crescimento da oferta de energia elétrica por outras fontes renováveis, além da hidrelétrica, pois existe necessidade diante da crescente demanda e o potencial das fontes renováveis é enorme, comparado ao percentual projetado para 2030. Cabe ressaltar também que as matrizes elétricas no cenário internacional tendem à maior dependência da geração renovável, com participação superior a 90%, enquanto que no cenário nacional, se as projeções permanecerem as atuais, a matriz elétrica nacional será composta por apenas 15,8% de geração renovável (além das hidrelétricas) e ainda 36,5% de geração termelétrica em 2030.

### **5.5 Conclusões Preliminares**

Os programas de incentivos para o crescimento da utilização das fontes renováveis de energia na China e na Alemanha atingiram números surpreendentes e continuam alcançando seus objetivos. Isso significa que são programas confiáveis, as leis/normas estabelecidas pelos países são seguras, aplicáveis e cada revisão que sofreram acrescentaram benefícios para suas respectivas matrizes energéticas.

Para o Brasil, conclui-se que é necessário planejar melhor os investimentos para a utilização dos recursos energéticos do país, por exemplo, ainda há uma carência de incentivos governamentais que possibilitem que o custo de instalação e manutenção de sistemas termossolares e fotovoltaicos sejam mais acessíveis a uma parcela mais abrangente da população.

## 6 CONCLUSÕES FINAIS

Considerando os recursos energéticos presentes na matriz energética brasileira e a projeção do crescimento anual da demanda por energia elétrica apresentada nesse trabalho, abre-se caminhos para discussões, estudos, propostas e principalmente, evidencia e a necessidade de reflexão e tomadas de decisão para o crescimento da oferta de energia.

Nesse contexto, visando trazer contribuições para o desenvolvimento do panorama energético nacional, este trabalho buscou levantar questões e recomendações que auxiliem na superação dos desafios existentes, principalmente nas questões de planejamento para o melhor aproveitamento de outras fontes renováveis, além das grandes hidrelétricas. Como demonstrado, o Brasil consome pouca energia elétrica comparada a outros países, como por exemplo, a China, e mesmo assim vivencia com certa frequência crises de fornecimento e ameaças de racionamento. Se a economia tivesse crescido em 2014, o que de fato não ocorreu, provavelmente a oferta de energia elétrica não teria sido suficiente para atender a demanda.

Diante da realidade nacional, que possui alto potencial eólico, solar e outros, recomenda-se a opção pelo uso dessas fontes. Assim faz-se necessário observar o imenso território brasileiro e identificar onde esses recursos podem ser melhor aproveitados. Por exemplo, no Estado de São Paulo, se for aproveitado o potencial fotovoltaico na região de maior incidência solar, seria possível abastecer 4,6 milhões de residências por ano, o que corresponde a aproximadamente 30% do consumo residencial do Estado. A existência de políticas e de iniciativas públicas que obrigassem a instalação e utilização de sistemas termosolares e/ou fotovoltaicos em novas construções ou em reformas (como no caso da Alemanha) faria com que houvesse uma maior disseminação destes sistemas de modo mais abrangente e significativo. Particularmente a cidade de São Paulo, através do decreto nº 49148/2008, apresenta a exigência legal de instalação de sistemas de aquecimento de água em novas edificações destinadas ao uso residencial, porém mesmo assim existe um pequeno número de obras que atendem a essas exigências.

Enquanto não são tomadas medidas para o crescimento do uso das fontes renováveis, o país deixa em seus canaviais um potencial de geração de eletricidade de 28 mil MW, o que corresponde à produção de duas hidrelétricas de Itaipu.

Conclui-se com esse estudo que é preciso planejar melhor os investimentos para a utilização dos recursos e incentivar através de políticas que possibilitem a exploração dos mesmos, como o exemplo da China, que dentre os maiores consumidores de combustíveis fósseis

do mundo, depois de incentivos adequados passou a ser o primeiro país na utilização de energia eólica, superando recentemente os norte-americanos.

Relacionado a esse trabalho, foi publicado o artigo com o tema: Cenário Sobre a Utilização de Energia Solar no Brasil: Legislação, políticas Públicas e Desafios, no Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos de 2014 e na revista O Setor Elétrico de 2014, e também foi publicado o artigo com o tema: Desafios prospecções sobre oferta e demanda de energia elétrica no Brasil para um cenário de 2050, no Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos de 2014.

Como proposta para trabalhos futuros, a sugestão é realizar estudos para propor aperfeiçoamento nas normas existentes, ou ainda a criação de novas, para a disseminação da inserção das fontes renováveis na matriz elétrica nacional.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G1 Economia. (2013, Set. 25). Pré-sal vai receber 30% do investimento em exploração da Petrobrás. [Online]. Disponível em: <http://m.g1.globo.com/economia/noticia/2013/09/pre-sal>.
- [2] Agência Brasil. (2012, Ago. 29). Investimentos em energia eólica devem chegar a R\$ 40 bilhões até 2020. [online]. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/20112-08-29>.
- [3] REN 21 ó Renewable Energy Policy Network Century, óRenewables Global Futures Report,ö 2013.
- [4] ANEEL. Atlas de Energia Eólica do Brasil. Aneel ó Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002.
- [5] IEA ó International Energy Agency, öKey World Statistics,ö 2012.
- [6] Jornal O Globo. (2013, Mai. 27). Um milhão de lares brasileiros não tem energia elétrica. [Online]. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/ciencia/revista-amanha/energia-eolica-cresce-busca-mais-investiemnto>.
- [7] TESKE, Sven; LINS, Christine; MUTH, Josche. **Revolução Energética a Caminho do Desenvolvimento Limpo**. 1. ed. São Paulo: Greenpeace, 2010.
- [8] ALVES, Rex Nazaré. **Agenda Rumos da Política Brasileira 2011 ó 2012: Panorama Energético Internacional**. Rio de Janeiro: Senado Federal, 2011.
- [9] Nota Técnica Dea 22/12, Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2013 ó 2022). Empresa de Pesquisa Energética, 2012.
- [10] PAIS, Paloma Santana Moreira. Demanda de Energia Elétrica no Brasil no Período Pós-Racionamento. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) ó Universidade Federal de Viçosa, Viçosa ó MG, 2012.
- [11] NETA, Hildeberto Barroso. Avaliação do Processo de Implementação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia ó Proinfa, no Estado do Ceará: a Utilização da Fonte Eólica. 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Avaliação de Políticas Públicas) ó Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- [12] O. Machado. (2012, Jan. 4). Informe à Imprensa: Demanda de Energia Elétrica ó 10 anos. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, RJ.
- [13] A. J. C. Araújo, A. B. Moreira e V. S. C. Teixeira, öEficiência Energética a partir de Sistema de Aquecimento Solar,ö in *Proc. 2012 IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*.

- [14] Ministério de Minas e Energia, *o*Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2013,*o* EPE *ó* Empresa de Pesquisa Energética, 2013, pp. 57-66 e pp. 79-99.
- [15] LAVADO, Ana Luísa Catarré. Os Actuais Desafios da Energia. Implementação e Utilização das Energias Renováveis. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente) *ó* Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.
- [16] Sua Pesquisa.Com. (2014, Out 31). Matriz Energética do Brasil. [Online]. Disponível em: [http://www.sua.pesquisa.com/energia/matriz\\_energetica\\_brasil.htm](http://www.sua.pesquisa.com/energia/matriz_energetica_brasil.htm).
- [17] WWF *ó* Brasil. **Além de Grandes Hidrelétricas**. Ed. Revisada. São Paulo: Políticas para fontes renováveis de energia elétrica no Brasil, 2012.
- [18] Associação da Indústria de Cogeração de Energia, *o*Inserção da Energia Solar no Brasil *ó* Relatório Final,*o* São Paulo, SP, Relatório Técnico Mai. 2012.
- [19] Banco de Informação de Geração. (2014, Set.). Fontes de energia explorada no Brasil, ANEEL. [Online]. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp?>.
- [20] M. V. P. Alcântara, *o*Agenda Pesquisa em Rede Inteligente no Programa de P&D da ANEEL,*o* in *Proc. 2012 IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Eléctricos*.
- [21] LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia**. vol. 2. Florianópolis, 2010, 18 p.
- [22] F. M. C. Ferreira, L. Guedes e L. Gomes, *o*Leilões de Geração Eólica e a Transmissão Associada,*o* in *Proc, 2012 IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Eléctricos*.
- [23] OLIVEIRA, Cláudia Braga Jacques Foss de. Análise do Setor de Energias Renováveis utilizando a Prospecção Tecnológica. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) *ó* Faculdade de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- [24] QUEIROZ, R.; GRASSI, P.; LAZZARE, K.; KOPPE, E.; TARTAS, B.; KEMERICH, P. Geração de Energia Elétrica através da Energia Hidráulica e seus impactos ambientais. **Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 13, n. 13, p. 2774 *ó* 2784, Ago. 2013.
- [25] F. A. S. Fontes e P. R. F. M. A. Bastos, *o*Experiência com Geração Fotovoltaica no Estado da Bahia,*o* in *Proc. 2012 IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Eléctricos*.
- [26] *Estabelecimento das condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica*, Resolução Normativa N° 482, Abr. 2012.

[27] *Regulamentação de sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B*, Resolução Normativa N° 502, ago. 2012.

[28] Portal Brasil. (2013, Out. 31). Mais de 183 mil casas do Minha Casa Minha Vida têm Aquecimento Solar. [Online]. Disponível em: [http://correiobrasiliense.lugarcerto.com.br/app/noticia/ultimas/2013/09/25/interna\\_ultimas,47415/mais-de-183-mil-casas-do-minha-casa-minha-vida-tem-aquecimento-solar.shtml](http://correiobrasiliense.lugarcerto.com.br/app/noticia/ultimas/2013/09/25/interna_ultimas,47415/mais-de-183-mil-casas-do-minha-casa-minha-vida-tem-aquecimento-solar.shtml).

