



Universidade Federal  
de Campina Grande

## **Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

MATHEUS DANTAS DE LUCENA

# ANÁLISE HISTÓRICA DAS MATRIZES ENERGÉTICAS DO BRASIL E SUAS PROJEÇÕES

Campina Grande, Paraíba  
Agosto de 2017

MATHEUS DANTAS DE LUCENA

# ANÁLISE HISTÓRICA DAS MATRIZES ENERGÉTICAS DO BRASIL E SUAS PROJEÇÕES

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor, Washington Luiz Araújo Neves, Ph.D

Campina Grande, Paraíba  
Agosto de 2017

MATHEUS DANTAS DE LUCENA

# ANÁLISE HISTÓRICA DAS MATRIZES ENERGÉTICAS DO BRASIL E SUAS PROJEÇÕES

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade  
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor, Washington Luiz Araújo Neves, Ph.D**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família e, em especial aos meus pais e irmão.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que permitiu que este momento fosse vivido por mim, trazendo alegria aos meus pais, me dando saúde e inteligência para superar todas as dificuldades e conseguir chegar onde hoje estou.

À minha mãe Maria do Socorro, que apesar de todas as dificuldades, me fortaleceu, sendo uma heroína a todo o tempo, me dando apoio e incentivo nas horas difíceis, desânimo e cansaço.

Ao meu pai José Florentino, que sempre me deu suporte e conselhos de como crescer e se tornar um homem e um bom profissional.

Ao meu irmão João Pedro, pela amizade, companheirismo, apoio e confiança.

Agradeço também a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço à minha namorada Catarina, que tem entendido minhas ausências, por mais que menores, que me incentiva e acredita em mim, até mais do que eu mesmo. Por todo amor, carinho e compreensão, sem discernir momentos fáceis de difíceis, sempre estando ao meu lado. Obrigado por me mostrar que sou capaz de tudo isso muito mais.

Agradeço aos meus professores do curso de Engenharia Elétrica, em especial ao professor Tarso, que hoje se encontra lecionando na UFS, por ter me acolhido no Laboratório de Alta Tensão (LAT) e me orientado sempre que possível.

Agradeço ao meu amigo Leonardo, que desde 2001 tem sido um amigo de verdade, sendo solícito e companheiro em todos os momentos, compartilhando felicidades e me ajudando em tempos difíceis.

Aos meus amigos Danilo Pequeno, Matheus Leal e Matheus Vitoriano que fiz ainda em colégio, que me acompanharam na escolha do curso e, continuando nele ou não, estão sempre presentes em minha vida.

Aos amigos que fiz em curso e que levo para a vida, Felipe Barros, Glauber Almino e Hiago Richard que, como “cabeças digeló”, tem acompanhado toda a minha trajetória, dividindo comigo felicidades e frustrações.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Não faço ideia de onde estarei amanhã,  
Mas aceito o fato de que o amanhã vai chegar.  
E quando ele chegar,  
Eu vou me erguer para o enfrentar!”*

Diana Prince.

## RESUMO

O potencial emergente do Brasil, oriundo de uma economia dinâmica e produtiva, tem demandado estudos cada vez mais incisivos acerca de suas matrizes energéticas. A partir de um levantamento histórico, se faz possível avaliações mais precisas e concisas, de modo gerar resultados mais fiéis e próximos da realidade. A atual situação energética do país tem inspirado maior atenção e cuidados, uma vez que a matriz da energia elétrica predominante, a geração hídrica, tem apresentado dados preocupantes como a falta e a irregularidade das chuvas. Uma melhor avaliação e planejamento do setor energético garante uma melhor produção e o uso adequado da energia produzida, haja vista uma posição de destaque ocupada pelo Brasil no que diz respeito às opções de recursos e tecnologias capazes de transformar essa riqueza natural em energia. A inserção das modalidades alternativas de geração de energia permite um rearranjo da matriz brasileira, permitindo que ela se torne mais independente da geração hídrica e apresente mais soluções ao uso das matrizes que utilizam como fonte de energia o calor oriundo da queima de combustíveis fósseis. Apesar de serem um investimento alto, a longo prazo as fontes alternativas de energias tem retornado seus valores investidos em períodos cada vez menores, aumentando a atratividade desses investimentos e o interesse no desenvolvimento e ampliação de pesquisas na área. A extensão do território brasileiro, bem como sua localização geográfica e seu amplo litoral, favorecem o uso de aerogeradores e painéis fotovoltaicos, fazendo com que suas respectivas parcelas da geração de energia total do país tenham crescido exponencialmente nos últimos anos. Houve a oportunidade de, durante o TCC, inteirar-se do potencial energético brasileiro e suas fontes de geração de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Potencial, matriz energética, matriz da energia elétrica, geração hídrica, planejamento, fontes alternativas.

## ABSTRACT

The emerging potential of Brazil, from a dynamic and productive economy, has demanded increasingly incisive studies about its energy matrices. From a historical survey, it is possible to make more precise and concise evaluations, in order to generate results that are more faithful and close to reality. The current energy situation in the country has inspired greater attention and care, since the matrix of the predominant electric energy, the water generation, has presented worrying data as the lack and the irregularity of the rains. A better evaluation and planning of the energy sector guarantees a better production and the appropriate use of the energy produced, given a prominent position occupied by Brazil regarding the options of resources and technologies capable of transforming this natural wealth into energy. The insertion of the alternative forms of energy generation allows a rearrangement of the Brazilian matrix, allowing it to become more independent of the hydro generation and to present more solutions to the use of the matrices that use as heat source the heat from the burning of fossil fuels. Although they are a high investment, in the long term the alternative sources of energy have returned their invested values in shorter periods, increasing the attractiveness of these investments and the interest in the development and expansion of researches in the area. The extension of the Brazilian territory, as well as its geographical location and its wide coastline, favor the use of wind turbines and photovoltaic panels, making their respective portions of the country's total energy generation have grown exponentially in recent years. During the CBT, there was the opportunity to learn about Brazil's energy potential and its sources of electricity generation.

**Keywords:** Potential, energy matrix, electric energy matrix, hydro generation, planning, alternative sources.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução na Quantidade de Pontos de Iluminação Pública a Gás e a Energia Elétrica no Rio de Janeiro (de 1857 a 1933) .....	17
Figura 2 - Matrizes Energéticas no Brasil e no Mundo em 2006 .....	26
Figura 3 - Produção Nacional de Petróleo por Unidade da Federação e Localização (Terra e Mar) - 2011-2016 .....	27
Figura 4 - Produção Nacional de Gás Natural por Unidade da Federação e Localização (Terra e Mar) - 2011-2016 (Bep).....	28
Figura 5 - Maiores Produtores de Eletricidade .....	33
Figura 6 - Capacidade Instalada em Usinas Hidrelétricas no Mundo em 2015 .....	34
Figura 7 - Matriz Energética na Geração.....	36
Figura 8 - Geração Nuclear no Brasil .....	39
Figura 9 - Capacidade de Geração a partir de Renováveis – Exceto Hidro .....	40
Figura 10 - Geração Eólica no Mundo .....	41
Figura 11 - Potência Instalada em Alguns Países por ano em Gigawatt.....	43
Figura 12 - Geração de Energia Elétrica pela Matriz Hidráulica no Brasil .....	45
Figura 13 - Geração de Energia Elétrica pela Matriz Térmica no Brasil.....	48
Figura 14 - Geração de Energia Elétrica pela Matriz Eólica no Brasil.....	51
Figura 15 - Tecnologias de Conversão de Fontes de Energias Alternativas para Interconexão .....	56
Figura 16 - Integração de Fontes de Energia pelo Método CC.....	57
Figura 17 - Integração de Fontes de Energia pelo Método CA .....	58
Figura 18 - Intercâmbio entre as Regiões - Importações do Nordeste .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parcelas que Compõem a Geração por Estado, em MW Médio e % (12/2016).....	46
Tabela 2 - Parcelas que Compõem a Geração por Estado, em MW Médio e % (12/2016).....	47
Tabela 3 - Parcelas que Compõem a Geração por Estado, em MW Médio e % (12/2016).....	51
Tabela 4 - Instalações Solares no Brasil.....	52
Tabela 5 - Consumo de Eletricidade na Rede por Subistema.....	54
Tabela 6 - Evolução da Capacidade Instalada por Fonte de Geração.....	60
Tabela 7 - Percentual de MWmed Importado pelo Nordeste em 2016.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
BEM	Banco Energético Nacional
CBEE	Companhia Brasileira de Energia Elétrica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Elétricas
CGISE	Comitê de Gestão Integrada de Empreendimentos de Geração do Setor Elétrico
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNA	Companhia Nacional de Álcalis
CNAAA	Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CT-GN	Comitê Técnico para o Desenvolvimento da Indústria do Gás Natural
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
ELETRONUCLEAR	Eletrobrás Termonuclear S.A.
ELETROSUL	Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FURNAS	Furnas Centrais Elétricas S.A.
GCE	Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica

GCOI	Grupo Coordenador para Operação Interligada
GTON	Grupo Tecnológico Operacional da Região Norte
MAE	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MME	Ministério das Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDEE	Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica
PIB	Produto Interno Bruto
PND	Programa Nacional de Desestatização
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINTREL	Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica
UEE	Usina de Energia Eólica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termelétrica

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	15
2	Histórico da Eletricidade no Brasil.....	16
2.1	Brasil Imperial (1879-1889).....	16
2.2	Brasil República (1889-1930).....	17
2.3	Era Vargas (1930-1945).....	18
2.4	Anos 1946 a 1962 .....	19
2.5	Anos 60 e 70 .....	20
2.6	Década de 80.....	21
2.7	Anos 90.....	21
2.8	Anos 2000 – Privatizações e Reformas.....	22
3	Matrizes Energéticas .....	25
3.1	As Diferentes Matrizes Energéticas .....	25
3.2	Matrizes Energéticas Não renováveis .....	26
3.2.1	Petróleo e Derivados.....	26
3.2.2	Gás Natural .....	27
3.3	Matrizes Energéticas Renováveis .....	28
3.3.1	Hidrelétrica .....	28
3.3.2	Nuclear .....	29
3.3.3	Solar.....	30
3.3.3.1	Energia Solar Térmica.....	30
3.3.3.2	Coletor Solar - Aquecedor de Água Solar .....	31
3.3.3.3	Energia Solar Heliotérmica .....	31
3.3.3.4	Energia Solar Fotovoltaica - Conversão Direta da Radiação Solar em Energia Elétrica..	31
3.3.4	Outras Matrizes Energéticas .....	31
4	Matrizes da Energia Elétrica.....	32
4.1	Hidrelétrica .....	33
4.1.1	Informes Gerais .....	33
4.1.2	Panorama Brasileiro .....	34
4.2	Termelétrica .....	35
4.3	Nuclear.....	37
4.3.1	Panorama Geral .....	37
4.3.2	Panorama Brasileiro .....	38
4.4	Fontes Alternativas .....	39
4.4.1	Eólica.....	40
4.4.1.1	Panorama Geral .....	40
4.4.1.2	Panorama Brasileiro .....	41
4.4.2	Fotovoltaica .....	42

5	Panorama Atual da Matriz da Energia Elétrica do Brasil .....	43
5.1	Panorama atual da Hidroeletricidade .....	44
5.1.1	Algumas Definições .....	47
5.2	Panorama atual da Termoeletricidade .....	47
5.3	Panorama Atual da Energia Eólica .....	50
5.4	Panorama atual da Energia Solar .....	52
6	Projeções das Matrizes energéticas .....	53
6.1	Integração das Fontes de Energia.....	54
6.1.1	Método CC .....	56
6.1.2	Método CA .....	57
6.2	Expansão Hidrelétrica .....	58
6.3	Expansão Termelétrica.....	58
6.4	Expansão de Fontes Renováveis .....	59
6.5	Soluções para um Melhor Aproveitamento das Matrizes Energéticas .....	61
7	Conclusão .....	63
8	Referências Bibliográficas.....	64

# 1 INTRODUÇÃO

Diversas análises sobre o Brasil apontam para o potencial emergente do país, decorrente de uma economia mais forte e produtiva, e a possibilidade de diminuição das disparidades sociais, através de medidas de inserção social oriundas do governo, e de maior distribuição de renda. Um dos fatores principais a possibilitar o sucesso brasileiro no futuro é justamente a capacidade de o sistema energético sustentar o aumento da demanda necessária e dar suporte ao desenvolvimento, pois o melhor posicionamento em relação ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e pouco impacto ambiental possibilita importantes vantagens na competitividade global. Por isso, a situação energética atual do Brasil inspira cuidados, principalmente quando vemos algumas matrizes com dados preocupantes, como os fatos recentes, que demonstraram que a crise hídrica afetou diretamente a produção de energia elétrica, responsável pelo abastecimento doméstico e de indústrias.

Nesse período, emerge a necessidade da análise da matriz energética brasileira, pois ela é fundamental para a orientação do planejamento do setor energético, que deve garantir a produção e o uso adequado da energia produzida. É importante salientar, no que se refere ao potencial energético do Brasil, pois o país se coloca em uma posição de destaque, devido ao seu amplo leque de opções de recursos energéticos e tecnologias capaz de transformar essa riqueza natural em energia, possibilitando a produção de riquezas que gerem desenvolvimento ao país.

Este trabalho tem como objetivo fazer um levantamento histórico da evolução das matrizes energéticas do Brasil, com ênfase na geração de energia elétrica, suas modalidades em panorama atual e em projeções de desenvolvimento ou declínio dadas suas respectivas parcelas de participação na produção energética do país, que foi possível por meio da oportunidade de inteirar-se do potencial energético brasileiro e suas fontes de geração de energia elétrica.

## 2 HISTÓRICO DA ELETRICIDADE NO BRASIL

### 2.1 BRASIL IMPERIAL (1879-1889)

O emprego da energia elétrica no país teve como marco pioneiro a concessão em 1879, por parte de Dom Pedro II, a Thomas Edison do privilégio de introduzir no país aparelhos e processos de sua invenção destinados à utilização da eletricidade na iluminação pública (CEMIG, 2017). O sistema de corrente contínua foi então instalado no país, sistema esse que viria a ser substituído pela de corrente alternada, devido à facilidade relativa que esta apresenta para ter o valor de tensão alternada por intermédio de transformadores elevadores de tensão. Foi então inaugurada na Estação Central da Estrada de Ferro Dom Pedro II, atual Central do Brasil, a primeira instalação de iluminação elétrica permanente. No ano de 1881, a Diretoria Geral dos Telégrafos instalou, na cidade do Rio de Janeiro, a primeira iluminação externa pública do país em trecho da atual Praça da República. Em 1883, entrou em operação a Usina Hidrelétrica Ribeirão do Inferno, destinada ao fornecimento de força motriz a serviços de mineração em Diamantina, Minas Gerais (CEMIG, 2017).

A primeira usina considerada de porte para "força e luz", expressão corrente para denominar os serviços de força motriz e iluminação, viabilizados pela energia elétrica, foi a hidrelétrica de Marmelos, erguida pelo industrial Bernardo Mascarenhas, considerada o marco zero na história da energia elétrica no Brasil e na América Latina, que seria construída em 1889, às margens do rio Paraíba, em Juiz de Fora (MG) (CMEB, 2017).

Os primeiros concessionários dos serviços de eletricidade constituíam-se de pequenos produtores e distribuidores, organizados como empresas de âmbito municipal por fazendeiros, empresários e comerciantes locais. Eram frequentes as instalações autoprodutoras nas indústrias e em unidades de consumo doméstico, no setor agrícola.

Essas empresas municipais constituíram-se como resultado da iniciativa do empresariado nacional ligado à agricultura de exportação, aos serviços urbanos, principalmente iluminação e transportes, e à indústria.

## 2.2 BRASIL REPÚBLICA (1889-1930)

A necessidade de atender à crescente demanda por iluminação, abastecimento de água, esgoto, transportes e telefonia, e a impossibilidade de seu atendimento diretamente por parte da administração pública, levou à instituição definitiva do regime de concessões para a prestação dos serviços públicos.

Nas instalações privadas, a lâmpada incandescente substituiu gradativamente a iluminação a querosene ou a gás canalizado. O gás persistiria apenas para fins de aquecimento. A lâmpada incandescente, desde sua invenção, em 1879, viria a passar por uma série de aperfeiçoamentos que a fariam tecnologia quase que absoluta para iluminação durante a primeira metade do século XX.

Na Figura 1 é apresentada a evolução dos sistemas a gás e a energia elétrica, de 1857 a 1933, onde se pode observar como os sistemas a gás tiveram um pico de utilização em 1912 e que depois sua utilização foi se reduzindo até sua substituição total pelos sistemas a energia elétrica, por volta de 1933.

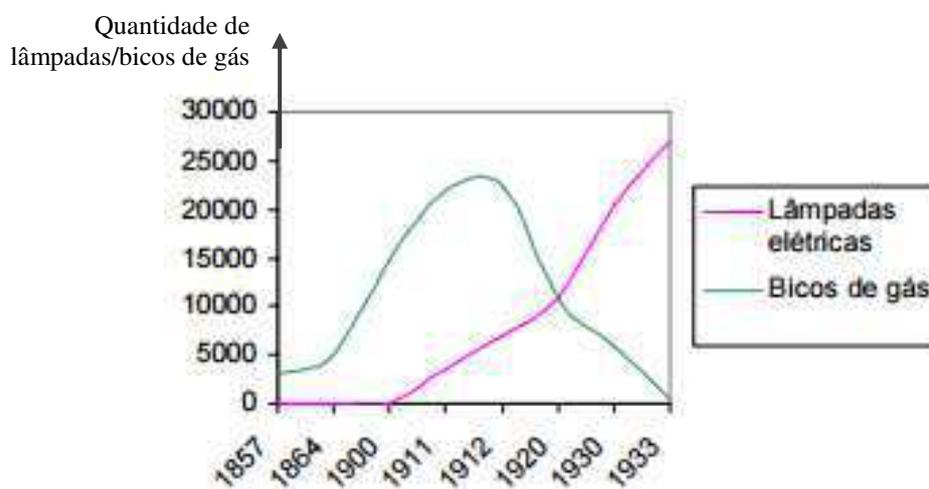


Figura 1 - Evolução na Quantidade de Pontos de Iluminação Pública a Gás e a Energia Elétrica no Rio de Janeiro (de 1857 a 1933)

Fonte: Elaboração própria com dados de MEMÓRIA, 2004

Desde meados da primeira década do século, especialmente no estado de São Paulo, os pequenos produtores e distribuidores de energia elétrica haviam se inserido gradativamente num movimento de concentração, em geral capitaneado por empresas situadas em municípios economicamente mais fortes, formando grupos que passaram a controlar áreas mais extensas nos territórios estaduais.

Dois exemplos desse processo foram a criação da Companhia Brasileira de Energia Elétrica (CBEE), em 1909, e a criação da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), em 1912.

Assistiu-se naquele momento ao aumento do número de usinas instaladas, num processo de crescimento constante, iniciado na virada do século. Em especial, as usinas construídas pelos grupos estrangeiros passaram a contar com uma capacidade instalada bastante superior às unidades instaladas por iniciativa das concessionárias nacionais (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

Neste período, a hidroeletricidade tornou-se predominante, principalmente na região Sudeste do país. As usinas termelétricas, mais numerosas na fase pioneira do setor, restringiram-se a áreas economicamente menos ativas e com menos abundância de recursos hídricos.

### 2.3 ERA VARGAS (1930-1945)

Na década de 1930, foram instituídas agências específicas voltadas para a solução dos problemas relacionados à produção industrial de energia elétrica. Assim, em 1933, no bojo da reforma administrativa empreendida no governo provisório de Getúlio Vargas, foi criada na órbita do Ministério da Agricultura a Divisão de Águas.

Em maio de 1939, foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), com o escopo de atuar em todos os assuntos pertinentes ao setor elétrico, desde questões tributárias até planos de interligação de usinas geradoras, e que viria a se configurar como o principal órgão do governo federal para a política setorial até a criação do Ministério das Minas e Energia (MME) e da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), no início da década de 1960 (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

Datam também desse período, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN, 1941), a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD, 1942), a Companhia Nacional de Álcalis (CNA, 1943) e a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF, 1945) (CMEB, 2017).

Consagrou-se uma nova caracterização jurídica para a propriedade das águas, a partir de então distintas dos bens e terrenos circundantes, e a União passou a ser o único poder concedente para o estabelecimento dos serviços, tendo o Código de Águas definido, também, o regime de concessões para os aproveitamentos.

Prenunciava-se, com a medida, uma intervenção ainda mais direta do que a que seria possível realizar no período, já que, ao definir a propriedade da União sobre os chamados recursos estratégicos, tornar-se-ia possível a constituição do Estado-empresário em áreas fundamentais para o projeto de industrialização.

Vale salientar que, ao longo do período, a estruturação das instalações geradoras existentes quanto à fonte energética manteve-se inalterada, isto é, em torno de 80 % da potência instalada tinha origem hidráulica e 20 % origem térmica.

## 2.4 ANOS 1946 A 1962

Da década de 50 destacam-se, de abril de 1954, os projetos de lei da mesma Assessoria concernentes ao Plano Nacional de Eletrificação e à criação das Centrais Elétricas Brasileira S.A. (Eletrobrás). O Plano Nacional de Eletrificação delineava uma grande reestruturação setorial, prevendo expansão da geração no país a partir de programas de exploração do potencial hidráulico e a intervenção maciça do Estado nas áreas de geração e transmissão (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

A propriedade das novas instalações geradoras passaria a concentrar-se em empresas controladas pelo governo federal e pelos governos estaduais, as quais se tornariam responsáveis pelo suprimento às empresas.

O projeto de criação da Eletrobrás seria concretizado apenas com a Lei n.º 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no governo de Jânio Quadros, sendo que a empresa seria definitivamente instalada em 11 de junho de 1962, na gestão de João Goulart (1961-1964) (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

Verificou-se um incremento até então inédito com relação aos índices de crescimento da produção industrial, destacando-se os setores de equipamentos de transporte, de material elétrico e de comunicações, mecânico e siderúrgico como os setores mais modernos e dinâmicos da indústria brasileira.

No setor público federal, destaca-se a constituição da Central Elétrica de Furnas S.A. em 1957 – posteriormente denominada Furnas Centrais Elétricas S.A. (Furnas) -, responsável pela construção da Usina Hidrelétrica Furnas (CMEB, 2017).

Ao final do período, configurou-se uma alteração radical no perfil do setor de energia elétrica brasileiro, verificando-se o aumento do peso das empresas federais e estaduais na geração, em termos percentuais, de 6,80 % para 31,30%, entre 1952 e 1962.

A participação das concessionárias privadas, com predominância dos investimentos estrangeiros, caiu no mesmo período de 82,40% para 55,20%.

## 2.5 ANOS 60 E 70

Os primeiros anos da década de 1960 assistiram ao início de um ciclo econômico depressivo. Verificou-se também uma ampla paralisação dos investimentos privados, determinada em parte pelas condições específicas da conjuntura econômica e pelo temor da desestabilização política, que então se anunciava.

O acelerado processo de desenvolvimento econômico atingido entre 1968 e 1974 caracterizou o período denominado “milagre brasileiro”, quando se registraram índices inéditos de crescimento da economia brasileira, de cerca de 11 %, e realizaram-se investimentos vultosos em obras de infraestrutura (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

O processo de nacionalização e estatização do setor de energia elétrica brasileiro teve continuidade no período, com a organização efetiva da Eletrobrás, em 1964, que passou a atuar como empresa holding das concessionárias públicas de energia elétrica do governo federal e no planejamento setorial, responsabilizando-se pela definição dos programas de expansão do sistema elétrico brasileiro.

Dentre suas atribuições, incluíram-se a realização de estudos e projetos e a construção e operação de usinas e de linhas de transmissão.

Posteriormente, iria se proceder a formação do sistema de empresas controladas atuantes em âmbito regional, responsáveis pela geração em grosso e pela operação do sistema elétrico e hídrico interligado, a saber, Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf), Furnas Centrais Elétricas S.A. (Furnas), Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. (Eletrosul), organizada em 1968, e Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (Eletronorte), organizada em 1972 (CEMIG, 2017).

As ações de planejamento da expansão e os investimentos setoriais nas áreas de geração e transmissão foram implementados, desde 1964, sob a égide do Ministério da das Minas e Energia e do Ministério da Fazenda, tendo sido executadas fundamentalmente pela Eletrobrás, em face de suas funções de holding estatal e de coordenadora do programa de investimentos e da operação dos sistemas interligados.

O crescimento do consumo anual de energia elétrica, entre 1970 e 1980, atingiu o índice de 10%. Nesse contexto, foram implementados projetos de construção de grandes

centrais elétricas, com a Usina Hidrelétrica Tucuruí, sob a responsabilidade da Eletronorte, e a Usina Hidrelétrica Itaipu, executada pelos governos do Brasil e do Paraguai por meio da Itaipu Binacional.

A aceleração do consumo levou, também, à implementação do campo da geração térmica nuclear no país e à assinatura do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, em 27 de junho de 1975.

O segmento de distribuição, também majoritariamente estatal, passou a ser controlado por empresas estaduais, cujas áreas de concessão correspondiam, na maior parte casos, aos limites geográficos de cada estado.

O modelo setorial pautado pela organização do sistema Eletrobrás garantiu a expansão expressiva dos segmentos de geração e transmissão de energia elétrica ao longo dos anos 1960 e 1970, tendência que viria a ser revertida, na década de 1980, tanto como reflexo das mudanças nas regras dos mercados financeiros internacionais, como dos obstáculos à continuidade da captação interna de recursos.

## 2.6 DÉCADA DE 80

As questões políticas, econômicas e sociais do desenvolvimento econômico brasileiro e do ciclo dos governos militares foram intensificadas na primeira metade da década de 1980. O início do ano de 1984 assistiu a uma intensa mobilização popular em favor da aprovação da Emenda Dante de Oliveira, que previa a realização imediata de eleições diretas para a Presidência da República (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

Com a derrota da proposta pela Câmara dos Deputados, em abril, tiveram início os entendimentos que culminaram, em janeiro do ano seguinte, na eleição da chapa formada por Tancredo Neves e José Sarney, da frente de oposição denominada Aliança Democrática, pelo Colégio Eleitoral.

A posse de José Sarney (1985-1990) em 15 de março de 1985, determinada pela doença do presidente eleito, e marcou a consolidação do processo de transição democrática no país, com o retorno de um civil à presidência da República.

## 2.7 ANOS 90

Em 1990 o presidente Fernando Collor de Mello sancionou a Lei nº 8.031 criando o Programa Nacional de Desestatização – PND. Também foram criados o Grupo Tecnológico Operacional da Região Norte – GTON, órgão responsável pelo apoio às atividades dos Sistemas Isolados da Região Norte e regiões vizinhas, bem como o Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica – SINTREL para viabilizar a competição na geração, distribuição e comercialização de energia (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

As empresas controladas pela Eletrobrás foram incluídas no Programa Nacional de Desestatização que orientava a privatização dos segmentos de geração e distribuição em 1995, ano que também foi realizado o leilão de privatização da Escelsa, inaugurando nova fase do setor de energia elétrica brasileiro em consonância com a política de privatização do Governo Federal.

Em 1997 foi criada a Eletrobrás Termonuclear S.A. – ELETRONUCLEAR, empresa que passou a ser a responsável pelos projetos das usinas termonucleares brasileiras. Foi constituído o novo órgão regulador do setor de energia elétrica sob a denominação de Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (CMEB, 2017).

A Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, institui a ANEEL, autarquia sob regime especial, vinculada ao Ministério das Minas e Energia, com sede e foro no Distrito Federal, com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as Políticas e Diretrizes do Governo Federal.

E em 28 de dezembro de 1997, foi aprovado o Regimento Interno da ANEEL, que exercerá as suas competências segundo as normas específicas do Código de Águas.

Em 1998 o Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE foi regulamentado, consolidando a distinção entre as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Também foram estabelecidas as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, para substituir o Grupo Coordenador para Operação Interligada – GCOI.

A primeira etapa da Interligação Norte-Sul entrou em operação em 1999, representando um passo fundamental para a integração elétrica do país.

## 2.8 ANOS 2000 – PRIVATIZAÇÕES E REFORMAS

O presidente Fernando Henrique Cardoso lançou o Programa Prioritário de Termelétricas visando a implantação no país de diversas usinas a gás natural, no ano 2000.

Foi instituído, no mês de agosto, pela Lei nº 9.478, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Efetivamente instalado em outubro, o Conselho assumiu a atribuição de formular e propor ao presidente da República as diretrizes da política energética nacional.

No ano de 2001, o Brasil vivenciou sua maior crise de energia elétrica, acentuada pelas condições hidrológicas extremamente desfavoráveis nas regiões Sudeste e Nordeste. Com a gravidade da situação, o governo federal criou, em maio, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), com o objetivo de “propor e implementar medidas de natureza emergencial para compatibilizar a demanda e a oferta de energia elétrica, de forma a evitar interrupções intempestivas ou imprevistas do suprimento de energia elétrica”. Em junho, foi implantado o programa de racionamento nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste e, em agosto, em parte da região Norte (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

Ainda no âmbito da crise de energia elétrica, no mês de agosto, o governo criou a empresa Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial para realizar a contratação das térmicas emergenciais.

O Governo Federal lançou em novembro de 2003 o programa Luz para todos, objetivando levar, até 2008, energia aos 12 milhões de brasileiros que não têm acesso ao serviço. Deste total, 10 milhões estão na área rural. A gestão do programa será compartilhada entre estados, municípios, agentes do setor elétrico e comunidades.

Entrou em operação comercial em novembro a 15ª unidade geradora hidráulica da Usina Hidrelétrica Tucuruí.

O novo modelo do setor elétrico foi aprovado com a promulgação, em março de 2004, das Leis nº 10.847 e nº 10.848, que definiram as regras de comercialização de energia elétrica e criaram a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com a função de subsidiar o planejamento técnico, econômico e sócio ambiental dos empreendimentos de energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e fontes energéticas renováveis. O novo modelo definiu a oferta de menor tarifa como critério para participação nas licitações de empreendimentos, estabeleceu contratos de venda de energia de longo prazo e condicionou a licitação dos projetos de geração às licenças ambientais prévias.

No âmbito desta nova legislação, foram criados a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) e o

Comitê de Gestão Integrada de Empreendimentos de Geração do Setor Elétrico (CGISE), a Eletrobrás e suas controladas foram retiradas do PND e a Eletrosul foi autorizada a retomar a atividade de geração. A empresa mudou sua denominação para Eletrosul Centrais Elétricas S.A.

Em 2005 foram assinados os contratos de concessão para a implantação de 2.747 quilômetros de 10 novas linhas de transmissão. As obras significarão investimentos de R\$2,06 bilhões e deverão estar concluídas até 2007.

A EPE concluiu em março de 2006, os estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – PDEE 2006-2015, propondo diretrizes, metas e recomendações para a expansão dos sistemas de geração e transmissão do país até 2015 (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

Em 10 de dezembro de 2007, o consórcio Madeira Energia vence o leilão da usina hidrelétrica Santo Antônio promovido pela ANEEL na construção da primeira das duas usinas do Complexo do Rio Madeira, em Rondônia, que vai fornecer mais de 6.000 megawatts para o sistema interligado nacional, energia suficiente para atender 25 milhões de pessoas.

O MME aprovou, em 3 de agosto de 2009, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017 que, além de consubstanciar as políticas públicas para o setor emanadas pelo Conselho Nacional de Política Energética, é utilizada na elaboração do Programa de Licitações de Usinas e de Linhas de Transmissão. Segundo o MME, o novo Plano Decenal leva em consideração as contribuições recebidas em processo de consulta pública, introduzindo ajustes e definindo melhorias para o próximo ciclo de planejamento.

Os governos do Brasil e Paraguai assinaram, em 1º de setembro de 2009, em Assunção, acordo sobre a venda da energia gerada por Itaipu.

O governo federal editou, no dia 30 de dezembro de 2009, o Decreto nº 7.058, alterando artigo do Decreto nº 93.872, de 1986, e liderando as autarquias federais, empresas públicas, sociedade de economia mista, fundações e entidades sob controle acionário da União para conceder aval, fiança ou garantia de qualquer espécie a obrigações contraída por pessoa física ou jurídica. Com a medida, as empresas estatais do setor de energia elétrica, que possuam concorrentes privados, passam a poder conceder garantias financeiras para as operações de suas controladas ou subsidiárias (CMEB, 2017).

## 3 MATRIZES ENERGÉTICAS

Matriz energética é toda energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos. É uma representação da oferta de energia, quantificando seus recursos energéticos, sejam eles oferecidos por um país ou uma região. O estudo das matrizes energéticas se mostra cada vez mais importante para a compreensão das possibilidades de melhorias econômicas e sociais do Brasil.

### 3.1 AS DIFERENTES MATRIZES ENERGÉTICAS

A demanda energética de um país está intrinsecamente ligada à sua capacidade econômica, de modo que, quanto mais robusta for sua economia, maior será a necessidade de produção de energia, principalmente por causa da necessidade de suprir alguns fatores, como o aumento da população, ascensão econômica de pessoas de classes baixas, aumento da produção industrial e também aumento do número de veículos automotivos.

É possível identificar no Brasil uma diversificação da sua produção de energia, ainda mais quando se faz um comparativo com anos anteriores, segundo dados da EPE. Em 1970, duas fontes de energia (petróleo e lenha) correspondiam a 78% do consumo. Em 2000, três fontes de energia (petróleo, lenha e hidráulica) correspondiam a 74% do consumo (NEOENERGIA, 2017).

Sobre a produção energética, é de destaque o papel das energias ditas como “limpas” ou “renováveis”, que pouco agredem o meio ambiente e “se renovam” em um período de tempo viável para algumas gerações. O Figura 1 apresenta as matrizes energéticas no mundo e no Brasil, com suas respectivas participações percentuais do total.

Dados de 2006 do MME e do BEN (Banco Energético Nacional) já indicavam o Brasil numa situação bem superior à média mundial da produção de energia limpa.

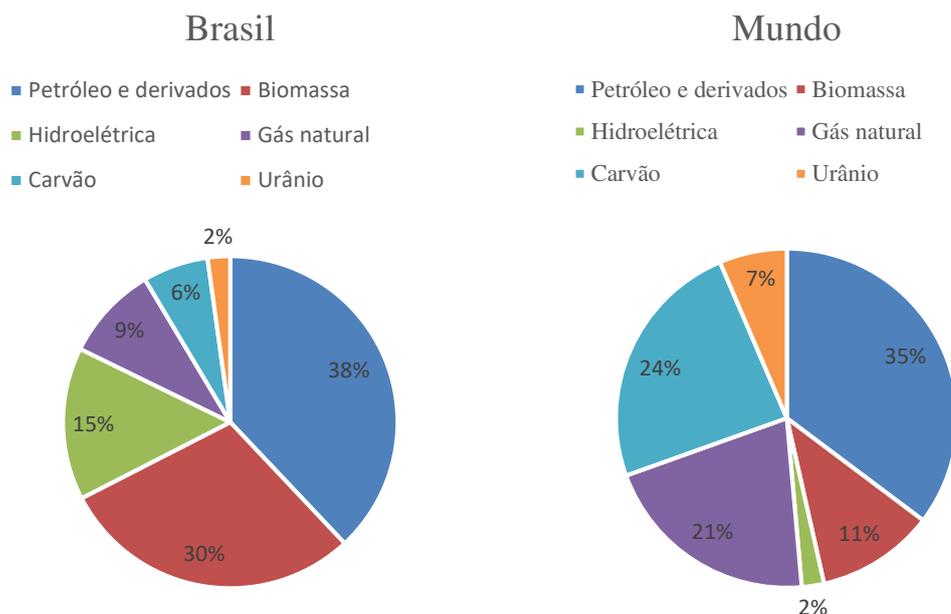


Figura 2 - Matrizes Energéticas no Brasil e no Mundo em 2006

Fonte: MME/BEM (2006)

## 3.2 MATRIZES ENERGÉTICAS NÃO RENOVÁVEIS

### 3.2.1 PETRÓLEO E DERIVADOS

O petróleo é a principal matriz energética do Brasil, com 38,4% do total produzido. É utilizado principalmente no setor de transporte. A sua produção pode ser um fator determinante para a economia brasileira, com destaque para a exploração do pré-sal. A estimativa do setor é que alcancemos em 2020 uma produção de 3 milhões de barris de petróleo por dia (EPE, 2017).

Apesar da importância dessa matriz energética brasileira, a queda dos preços do barril de petróleo e a exploração do xisto por parte dos Estados Unidos são uma ameaça ao futuro do pré-sal, primeiro porque o alto custo da extração desse petróleo impossibilita o sucesso da operação caso o preço esteja abaixo do valor que possibilite lucro na sua exploração; além disso, a partir da chamada “revolução do xisto”, as previsões apontam um crescimento mais forte do Produto Interno Bruto (PIB), maior geração de empregos, mais receitas para os cofres públicos e um impulso importante à reindustrialização nos EUA, ao baratear o custo da energia, impactando diretamente no preço do barril de petróleo e prejudicando as perspectivas futuras do pré-sal.

A Petrobras anunciou os dados de produção de 2016 e também do mês de dezembro, o qual gerou novos recordes. No acumulado do ano, porém, a companhia fechou no mesmo patamar que em 2015 nos volumes de óleo e gás no Brasil e no exterior. Ainda assim, a estatal destaca que em 2016 atingiu sua meta de produção pelo segundo ano consecutivo.

A produção média de petróleo no Brasil alcançou em 2016 recorde histórico anual, com 2.144.256 barris por dia (bpd), 0,75% maior que em 2015 e em linha com a meta de 2,145 milhões bpd prevista para o período. Pelo segundo ano consecutivo, a Petrobras cumpre o planejamento previsto, reforçando o compromisso com a previsibilidade de suas projeções (ANP, 2017).

No pré-sal, a média anual também foi recorde, de 1,02 milhão de barris de óleo por dia, 33% acima de 2015. Em gás natural, a produção própria ficou em "inéditos" 77 milhões m3 diários.

Assim, a produção total no Brasil fechou o ano em 2,63 milhões de barris de óleo equivalente por dia (boed), 1% acima de 2015, e novo recorde histórico. O Figura 2 apresenta os dados da produção nacional de petróleo por unidade de federação, dispostos mensalmente, por um período verificado de 6 anos.

Quantidade de barris

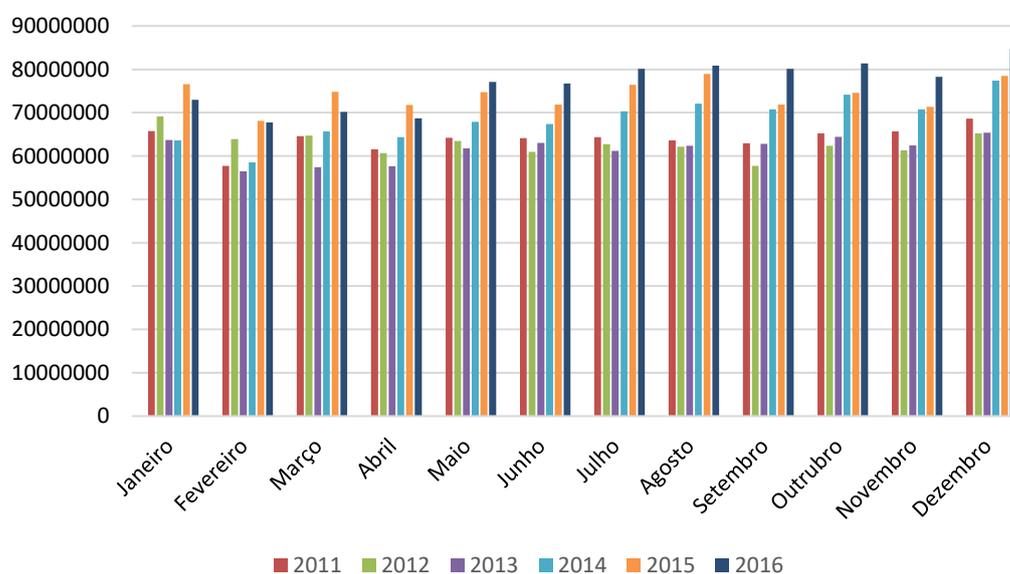


Figura 3 - Produção Nacional de Petróleo por Unidade da Federação e Localização (Terra e Mar) - 2011-2016

Fonte: ANP - Boletim Mensal de Produção, conforme o Decreto n.º 2.705/98.

### 3.2.2 GÁS NATURAL

O Brasil tem hoje uma oferta de gás inferior à demanda. O gás natural assumiu um papel de destaque e estratégico na política energética brasileira, a partir do momento em que a energia elétrica das usinas hidrelétricas deixou de ser uma “zona de conforto” de baixo custo e atendimento à demanda sem dificuldades. Com a escassez das chuvas e o aumento da demanda, novas fontes energéticas passaram a ser consideradas.

As grandes reservas brasileiras de gás natural se encontram nas bacias de Campos e Santos. Atualmente, o Brasil consegue produzir até 96 milhões de metros cúbicos de gás por dia. Com a exploração do pré-sal e a continuidade dos investimentos no setor, é possível que esse número chegue à casa dos 250 milhões de metros cúbicos em 2030, demonstrando o potencial energético dessa matriz e as múltiplas oportunidades que esse aumento pode proporcionar na economia brasileira, principalmente com o aumento do uso por parte dos veículos e a ampliação de usinas térmicas a gás (ANP, 2017).

O Figura 3 apresenta os dados da produção nacional de gás natural por unidade de federação, dispostos mensalmente, por um período verificado de 6 anos.

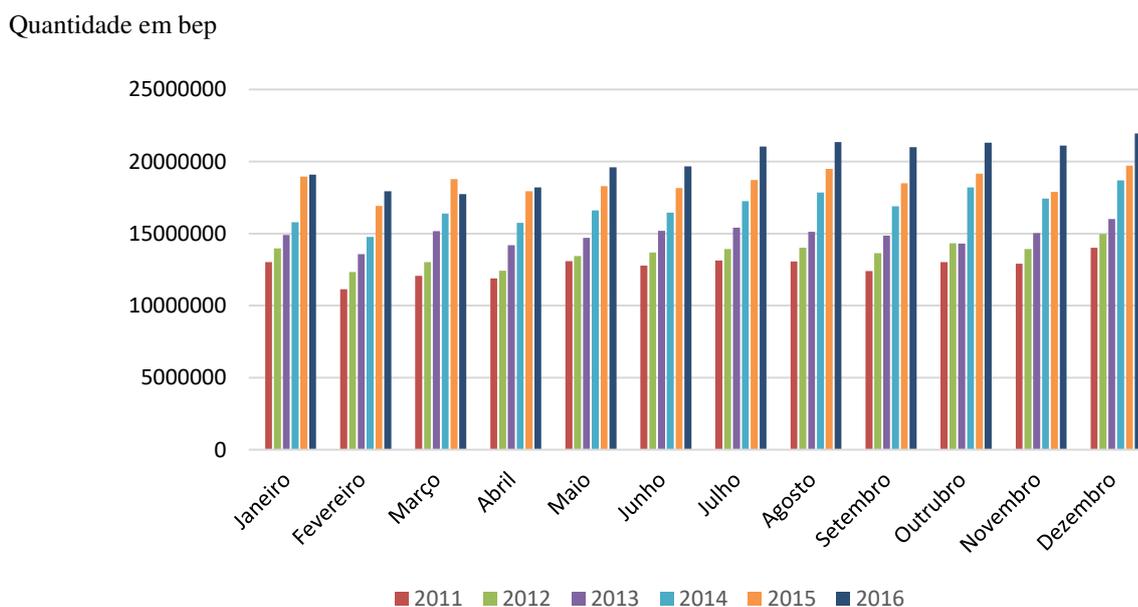


Figura 4 - Produção Nacional de Gás Natural por Unidade da Federação e Localização (Terra e Mar) - 2011-2016 (Bep)

Fonte: ANP - Boletim Mensal de Produção, conforme o Decreto n.º 2.705/98.

### 3.3 MATRIZES ENERGÉTICAS RENOVÁVEIS

#### 3.3.1 HIDRELÉTRICA

O uso da energia hidráulica foi uma das primeiras formas de substituição do trabalho animal pelo mecânico, particularmente para bombeamento de água e moagem de grãos.

A energia hidráulica é proveniente da irradiação solar e da energia potencial gravitacional, através da evaporação, condensação e precipitação da água sobre a superfície terrestre. Já representa uma parcela significativa da matriz energética mundial e possui tecnologias devidamente consolidadas, ao contrário das demais fontes renováveis.

Principal matriz fornecedora de energia elétrica do país, responsável por 68,4% da energia que abastece casas, indústrias, entre outros setores, a hidrelétrica sempre foi fundamental no setor energético, por ser uma energia barata, limpa e com grande disponibilidade, pela abundância de rios no território brasileiro. As novas hidrelétricas miram futuras instalações na região norte com o intuito de aproveitar o potencial amazônico, uma vez que o potencial hidráulico do centro-sul já está sendo quase todo aproveitado.

Em relação à potencialidade atual e à demanda futura, dados de 2005 indicavam o consumo brasileiro em 405 TWh/ano (TeraWatts/hora), com previsão de aumento em 2030 para 950 a 1250 TWh/ano, indicando a necessidade de intensos investimentos para comportar esse aumento expressivo. Esse aumento expressivo da demanda de energia elétrica expressa a possibilidade de crescimento econômico e maior distribuição de renda futura (ANEEL, 2017).

O problema desse novo foco são os impactos ambientais graves que são produzidos na construção de usinas hidrelétricas, que demanda um alagamento de grandes áreas, atingindo diretamente a flora e fauna desses locais, além das populações tradicionais dessas áreas.

### 3.3.2 NUCLEAR

A energia nuclear é proveniente da fissão do urânio em reator nuclear. Apesar da complexidade de uma usina nuclear, seu princípio de funcionamento é similar ao de uma termelétrica convencional, onde o calor gerado pela queima de um combustível produz vapor, que aciona uma turbina, acoplada a um gerador de corrente elétrica. Na usina nuclear, o calor é produzido pela fissão do urânio no reator, cujo sistema mais empregado (PWR – Pressurized Water Reactor) é constituído de três circuitos, a saber: primário,

secundário e de refrigeração. No primeiro, a água é aquecida a uma temperatura de aproximadamente 320 °C, sob uma pressão de 157 atmosferas. Em seguida, essa água passa por tubulações e vai até o gerador de vapor, onde vaporiza a água do circuito secundário, sem que haja contato físico entre os dois circuitos. O vapor gerado aciona uma turbina, que movimenta o gerador e produz corrente elétrica (Eletronuclear, 2001).

A maior vantagem ambiental da geração elétrica através de usinas nucleares é a não utilização de combustíveis fósseis, evitando o lançamento na atmosfera dos gases responsáveis pelo aumento do aquecimento global e outros produtos tóxicos. Usinas nucleares ocupam áreas relativamente pequenas, podem ser instaladas próximas aos centros consumidores e não dependem de fatores climáticos (chuva, vento, etc.) para o seu funcionamento.

Além disso, o urânio utilizado em usinas nucleares é um combustível de baixo custo, uma vez que as quantidades mundiais exploráveis são muito grandes e não oferecem risco de escassez em médio prazo. Pesquisas de opinião realizadas na Europa, nos Estados Unidos e na Ásia demonstram que a população aceita a construção de novas usinas nucleares e a substituição de plantas antigas por novas. Ambientalistas prestigiados como James Lovelock e Patrick Moore (fundador do Green Peace) são unânimes em declarar que não se pode abdicar da energia nuclear se pretendemos reduzir os riscos do aquecimento global e de todos os problemas relacionados a ele.

### 3.3.3 SOLAR

A energia solar é a energia eletromagnética cuja fonte é o sol. Ela pode ser transformada em energia térmica ou elétrica e aplicada em diversos usos. As duas principais formas de aproveitamento da energia solar são a geração de energia elétrica e o aquecimento solar de água.

Existem as mais variadas formas de aproveitar a energia solar como uma fonte de energia renovável. As principais tecnologias utilizadas são as seguintes:

#### 3.3.3.1 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

É uma forma de energia alternativa e, uma tecnologia, para o aproveitamento da energia solar para gerar energia térmica ou energia elétrica para uso na indústria e ou residências. A primeira instalação de equipamentos de energia solar térmica ocorreu no

deserto do Saara, aproximadamente em 1910, quando um motor foi alimentado pelo vapor produzido através do aquecimento d'água utilizando-se a luz solar.

#### 3.3.3.2 COLETOR SOLAR - AQUECEDOR DE ÁGUA SOLAR

É a forma mais conhecida de aproveitamento da energia solar térmica e é utilizado para aquecer água para banho em residências (os famosos aquecedores solares) e também para gerar água quente para uso industrial.

#### 3.3.3.3 ENERGIA SOLAR HELIOTÉRMICA

Esta é uma outra forma de se utilizar o calor da energia solar para gerar energia elétrica. Na maioria das vezes utilizam-se concentradores, como espelhos, para focar a energia em um ponto específico, seja no topo de uma torre ou em um tubo a vácuo, para aquecer o líquido que há dentro e usar este líquido para gerar vapor e alimentar uma turbina elétrica a vapor.

#### 3.3.3.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - CONVERSÃO DIRETA DA RADIAÇÃO SOLAR EM ENERGIA ELÉTRICA

Além dos processos térmicos descritos acima, a energia solar pode ser diretamente convertida em energia elétrica. A energia fotovoltaica é hoje a fonte de energia limpa que mais cresce no mundo. Ela usa materiais semicondutores como o silício cristalino para converter a luz solar em energia fotovoltaica (Energia solar elétrica). A energia fotovoltaica existe a mais de 100 anos e hoje é utilizada para gerar energia elétrica para milhares de residências e indústrias no mundo todo. Para ela ser aproveitada para gerar energia elétrica para casas e empresas as células fotovoltaicas (foto à direita) precisam ser montadas dentro de um painel solar visando proteção e durabilidade e por sua vez, este painel solar, será conectado em outros painéis em um sistema solar fotovoltaico. O sistema solar fotovoltaico é composto por: Painéis solares, inversor solar, sistema de fixação das placas solares, cabeamentos, conectores e outros materiais elétricos padrões.

#### 3.3.4 OUTRAS MATRIZES ENERGÉTICAS

Podemos destacar o papel que outras matrizes, como biocombustíveis, eólica e biomassa (energia que é gerada por meio da decomposição de materiais orgânicos como esterco, restos de alimentos, resíduos agrícolas que produzem o gás metano, é utilizado para a geração de energia), podem assumir frente aos desafios de crescimento econômico, principalmente por se tratar de fontes de energias limpas, fator cada vez mais preponderante nas discussões sobre crescimento de produção de forma sustentável. A substituição da gasolina por biocombustíveis como o etanol e o biodiesel pode se tornar importante matriz no abastecimento de automóveis, caso as medidas de redução de impactos ambientais com a emissão de poluentes se tornem mais efetivas.

## 4 MATRIZES DA ENERGIA ELÉTRICA

A reunião de informações sobre disponibilidade de recursos energéticos, tecnologias e sistemas de geração, transmissão, distribuição e uso final de eletricidade, é fundamental para a elaboração e cumprimento das políticas e diretrizes do setor elétrico brasileiro. Igualmente importantes são as informações socioeconômicas e ambientais de interesse do setor. O mapeamento sistematizado dessas informações auxilia na identificação, análise e solução de problemas relacionados ao suprimento e (ou) à demanda de eletricidade.

A eletricidade é a fonte de uso final que mais cresce no mundo. A razão disso é a sua versatilidade em poder ser transformada em calor, luz, movimento e ser indispensável a todos os equipamentos eletrônicos. A energia elétrica pode ser gerada por meio de fontes renováveis de energia (a força das águas e dos ventos, o sol e a biomassa), ou não-renováveis (combustíveis fósseis e nucleares). No Brasil, onde é grande o número de rios, a opção hidráulica é mais utilizada e apenas uma pequena parte é gerada a partir de combustíveis fósseis, em usinas termelétricas.

Os EUA e a China são responsáveis por cerca de 40% da energia elétrica produzida e em 2013, pela primeira vez na história, a China passou a ser o maior produtor de eletricidade do mundo. O Brasil é o nono maior produtor e, entre os BRICs, está em último. A Figura 4 apresenta os maiores produtores de energia elétrica no mundo, com dados de TWh gerados e suas respectivas participações na energia total gerada.

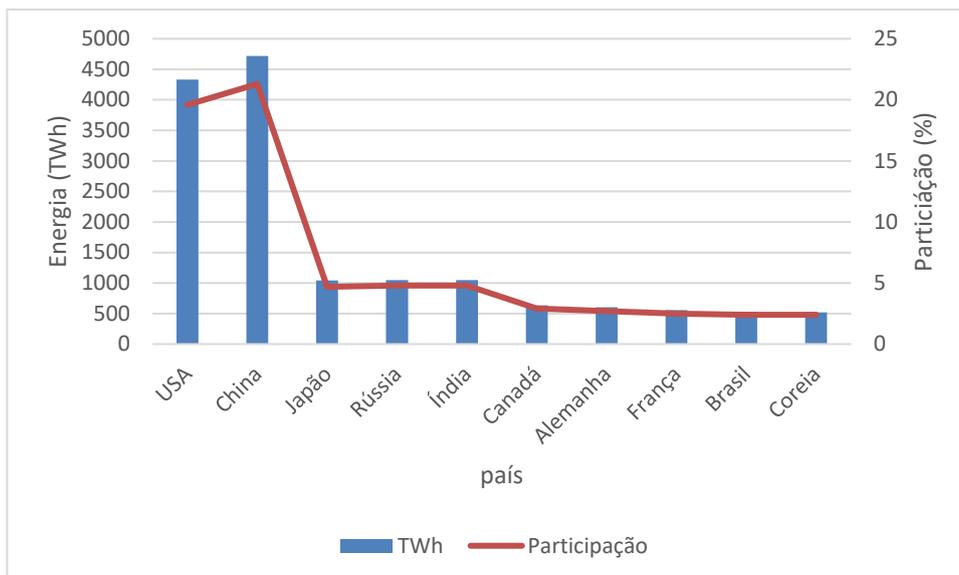


Figura 5 - Maiores Produtores de Eletricidade

Fonte: IEA – Electricity Information 2013

## 4.1 HIDRELÉTRICA

### 4.1.1 INFORMES GERAIS

A água é o recurso natural mais abundante na Terra: com um volume estimado de 1,36 bilhão de quilômetros cúbicos (km<sup>3</sup>) recobre 2/3 da superfície do planeta sob a forma de oceanos, calotas polares, rios e lagos. Além disso, pode ser encontrada em aquíferos subterrâneos, como o Guarani, no Sudeste brasileiro. A água também é uma das poucas fontes para produção de energia que não contribui para o aquecimento global – o principal problema ambiental da atualidade. E, ainda, é renovável: pelos efeitos da energia solar e da força da gravidade, de líquido transforma-se em vapor que se condensa em nuvens, que retornam à superfície terrestre sob a forma de chuva. Mesmo assim, a participação da água na matriz energética mundial é pouco expressiva e, na matriz da energia elétrica, decrescente.

A precipitação anual na Terra é na ordem de 1039 L e a altura média da superfície terrestre é de 800 m, de modo que a energia hidráulica potencial é na ordem de 200 mil TWh por ano, o que equivale a duas vezes o consumo médio anual de energia primária no mundo (BOYLE, 1996).

A Figura 6 mostra a capacidade instalada em usinas hidroelétricas no mundo em 2015, com dados em MW.

De todo o volume de água, apenas um quarto do referido volume precipitado está efetivamente disponível para o aproveitamento hidráulico. Assim, a energia disponível, numa estimativa mais realística é de, aproximadamente, 50.000 TWh por ano, o que corresponde a cerca de duas vezes a quantidade de energia elétrica gerada no mundo (energia gerada no mundo em 2015 foi de aproximadamente 22.000 TWh) (ANEEL, 2017).

Essa quantia supostamente disponível de energia hidráulica, também denominada recurso total, é ainda irrealística do ponto de vista técnico. A quantidade efetivamente disponível depende das condições locais do aproveitamento, tais como topografia, clima, tipo de chuva e do tempo efetivo de operação do sistema. Teoricamente, uma usina poderia operar continuamente 8.760 horas por ano, considerando um fator de capacidade de 100%. Na prática, porém, esse índice é da ordem de 40%, principalmente em funções de problemas operacionais e a necessidade de manutenção, seja ela preventiva ou corretiva (BOYLE, 1996).

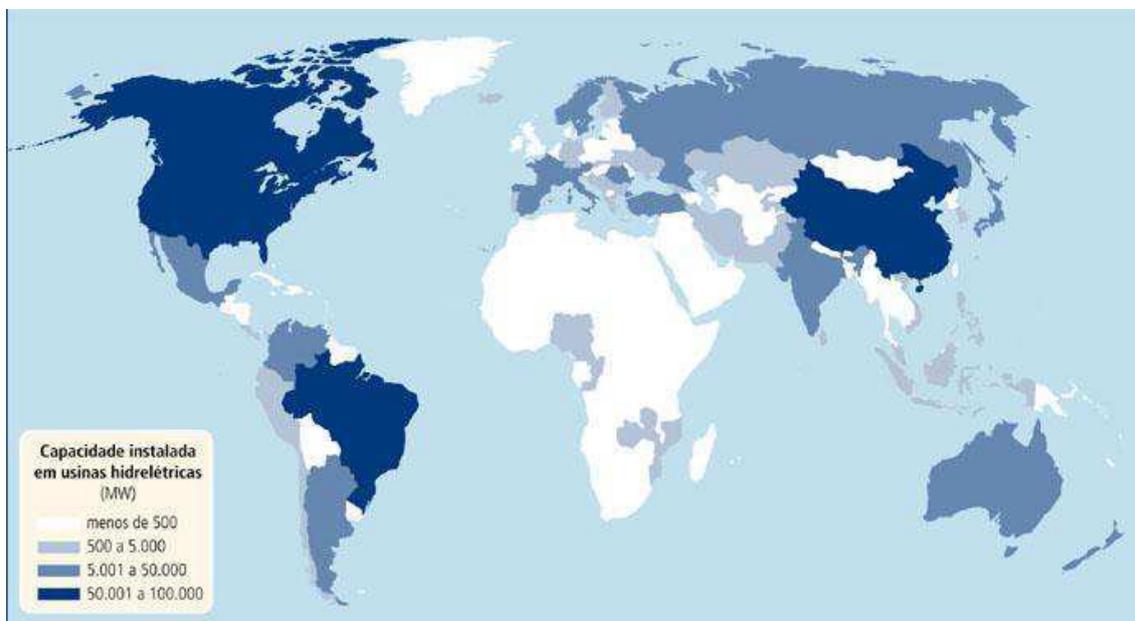


Figura 6 - Capacidade Instalada em Usinas Hidrelétricas no Mundo em 2015

Fonte: [www2.aneel.gov.br](http://www2.aneel.gov.br)

#### 4.1.2 PANORAMA BRASILEIRO

O grande potencial hidrelétrico apresentado pelo Brasil representa uma indiscutível vantagem comparativa em relação às matrizes elétricas adotadas por outros países, que utilizam principalmente os combustíveis fósseis e/ou centrais nucleares para geração de energia elétrica. Deste potencial, é estimado em cerca de 260 GW, dos quais 40,5% estão localizados na Bacia Hidrográfica do Amazonas. Entre as demais bacias, destacam-se a do Paraná, com 23% desse potencial, a do Tocantins (10,6%) e a do São Francisco (10%). As bacias do Uruguai e do Atlântico Leste representam cerca de 5% cada uma e as demais (Atlântico Sudeste e Atlântico Norte/Nordeste) somam juntas apenas 5% do referido potencial. Contudo, apenas 63% desse potencial foi inventariado, de modo que essas proporções mudam significativamente em termos de potencial conhecido. Já a Bacia do Amazonas representa apenas 19,4% do potencial inventariado, subindo substancialmente os índices relativos às bacias do Paraná, São Francisco e Tocantins.

O parque gerador de energia elétrica no território Brasileiro é constituído basicamente por usinas hidrelétricas, devido à vasta quantidade de rios ao longo do seu território. Desta forma, o conhecimento dos mecanismos estruturais de um empreendimento hidrelétrico e o aproveitamento do potencial citado, constitui um dos principais fatores que classificam este trabalho de pesquisa.

Segundo o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Elétricas (CERPCH), o Brasil ocupa hoje, terceiro maior potencial hidráulico do mundo. Posição essa conquistada devido às suas características físicas e geográficas. Baseado nessas informações e no intuito de obter um maior conhecimento a respeito do aproveitamento desse potencial, o presente trabalho teve como objetivo principal, buscar algumas formas de se avaliar o potencial hidráulico de uma dada região ou país, com base nas suas grandezas geoclimáticas.

## 4.2 TERMELÉTRICA

As usinas termoelétricas (ou termelétricas) são grandes instalações, que geram energia elétrica a partir da queima (ou combustão) de materiais não renováveis como: carvão, petróleo e gás natural, e também de fontes renováveis como a lenha, o bagaço de cana, etc.

As usinas Termoeletricas são fontes primárias consideradas em sua maioria não renováveis dependendo do combustível. O movimento dos geradores se dá através da queima de gás natural, carvão ou óleo combustível em uma caldeira. Esta gera vapor a partir da água que é conduzido a uma alta pressão por uma extensa rede de tubos até chegar às pás da turbina. A função do vapor é movimentar as pás de uma determinada turbina, onde o rotor gira juntamente com o eixo de um gerador produzindo a energia elétrica.

Do ponto de vista de tecnologia de equipamentos para geração, as termoeletricas são responsáveis por 88% da eletricidade gerada no mundo, tendo em vista também as limitações topográficas e climáticas de cada região, o que dificulta ou até impede o desenvolvimento de outras matrizes (FURNAS, 2017).

O Figura 7 mostra a matriz energética dos principais produtores de eletricidade da geração de energia elétrica.

Observa-se que, com exceção do Brasil, França e Canadá, todos os maiores produtores de eletricidade dependem dos combustíveis fósseis.

Além disso, apenas Brasil e Canadá possuem dependência importante da hidroeletricidade. A França, por sua vez, não depende dos combustíveis fósseis porque utiliza primordialmente a energia nuclear na geração de energia elétrica.

Dos 30 países geradores de energia nuclear, em 16 esta fonte representa pelo menos 25% da energia produzida internacionalmente.

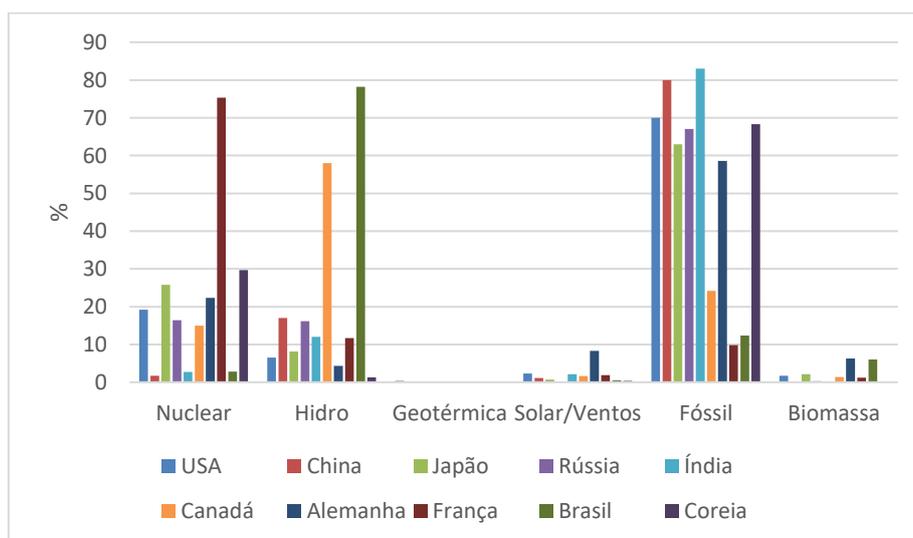


Figura 7 - Matriz Energética na Geração

Fonte: IEA – Electricity Information 2012

A principal vantagem na utilização da termoeletricidade é que suas usinas podem ser construídas onde são mais necessárias, economizando o custo das linhas de transmissão.

O gás natural pode ser usado como matéria prima para gerar calor, eletricidade e força motriz, nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes, com a vantagem de ser menos poluente que os combustíveis derivados do petróleo e o carvão. A descoberta de razoáveis reservas de gás natural permite que o Brasil aumente a participação de termoeletricidade na matriz energética (ANP, 2017).

Além do rendimento térmico do ciclo combinado, que proporciona a produção de energia elétrica com o custo reduzidos. Entretanto, o alto preço do combustível é um fato desfavorável, até porque os preços acompanham as oscilações do mercado internacional. Dependendo do combustível ocorreria impacto ambientais como poluição do ar, aquecimento das águas, impacto da construção de estradas para levar o combustível até a usina.

Uma central nuclear também pode ser considerada uma central termelétrica, onde o combustível é um material radioativo que, em sua fissão, gera a energia necessária para seu funcionamento.

## 4.3 NUCLEAR

### 4.3.1 PANORAMA GERAL

A relevância do papel da energia nuclear no desenvolvimento de matrizes energéticas mais limpas é o motivo central de muitos países não geradores se voltarem na investigação e no desenvolvimento desta tecnologia de geração (transição energética). Contudo, a pressão pelo abandono da geração nucleoeletrica é uma tendência típica da Europa Ocidental e Japão, por razões ligadas à política local e a ainda forte rejeição da sociedade civil.

O início do uso da energia nuclear foi marcado pelo evento bélico de 1945, os bombardeios de Hiroshima e Nagasaki, que ainda repercute na aceitação geral da sociedade por seu aproveitamento. Após uma maior intensificação dos projetos de usinas nucleares nas décadas de 1970 e 1980 nos países desenvolvidos, os anos 90 foram

caracterizados por diversos cancelamentos de projetos nucleares levando a uma estagnação geral no desenvolvimento desta fonte de energia.

Esta tendência foi iniciada por uma desregulamentação do mercado, proporcionando assim um crescimento da demanda pela fonte nuclear, posteriormente, aliado a uma baixa aceitação pública e por fim as reformas econômicas na Rússia e Europa Oriental o crescimento se deu de forma menos intensa pós anos 90.

De maneira geral, os maiores desafios para expansão da geração nuclear são a aceitação pública e o financiamento dos elevados custos de investimento, cujo retorno requer muitos anos para acontecer.

Atualmente, 438 reatores nucleares estão em operação no mundo, distribuídos geograficamente em 30 países, totalizando 381 GW de potência instalada (IAEA, 2016). Esse parque gerador está concentrado principalmente na Europa (34%), América do Norte (31%) e Ásia, notadamente no Japão (11%), Coreia do Sul (6%) e China (5%) (ELETRONUCLEAR, 2016).

#### 4.3.2 PANORAMA BRASILEIRO

As atividades de geração, operação e comercialização da energia nuclear estão sob a responsabilidade da Eletronuclear, empresa subsidiária da Eletrobrás, criada mediante o resultado da fusão da área nuclear de FURNAS Centrais Elétricas pelo Decreto s/nº de 23/12/1997, (responsável pela operação de Angra 1 e Angra 2) com a NUCLEN (empresa de engenharia detentora da tecnologia do projeto de Angra 2 e 3). Estas duas usinas, em conjunto com Angra 3, em construção, constituem a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA localizado em Angra dos Reis - RJ.

A totalidade da energia gerada pelas usinas nucleares Angra 1 e 2 é comercializada com FURNAS Centrais Elétricas por um contrato de compra e venda de energia elétrica. FURNAS é uma empresa criada em 1957 pelo Decreto nº 41.066, com a missão de construir e operar usinas para geração elétrica.

O parque gerador nuclear brasileiro, Figura 8, é composto por duas usinas tipo PWR situadas no município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. Angra 1 (640 MW), de tecnologia Westinghouse, teve sua construção iniciada em 1971 e sua operação comercial iniciada em 1985. Angra 2 (1350 MW) é uma usina também com reator PWR, porém de tecnologia Siemens, adquirida durante a vigência do acordo Brasil-

Alemanha. Sua construção iniciou-se em 1976, tendo entrado em operação comercial em 2001.

A usina de Angra 3 (1405 MW), ora em construção, possui as mesmas características que Angra 2, e foi comprada junto à KWU em 1976 juntamente com Angra 2. Diversos equipamentos foram adquiridos e o início das obras se fez em junho de 1984, tendo se estendido até abril de 1986, quando as obras foram paralisadas. A usina, conforme cronograma divulgado pela Eletrobrás Termonuclear- Eletronuclear (empresa responsável pela construção e operação) entrará em operação em 2019.

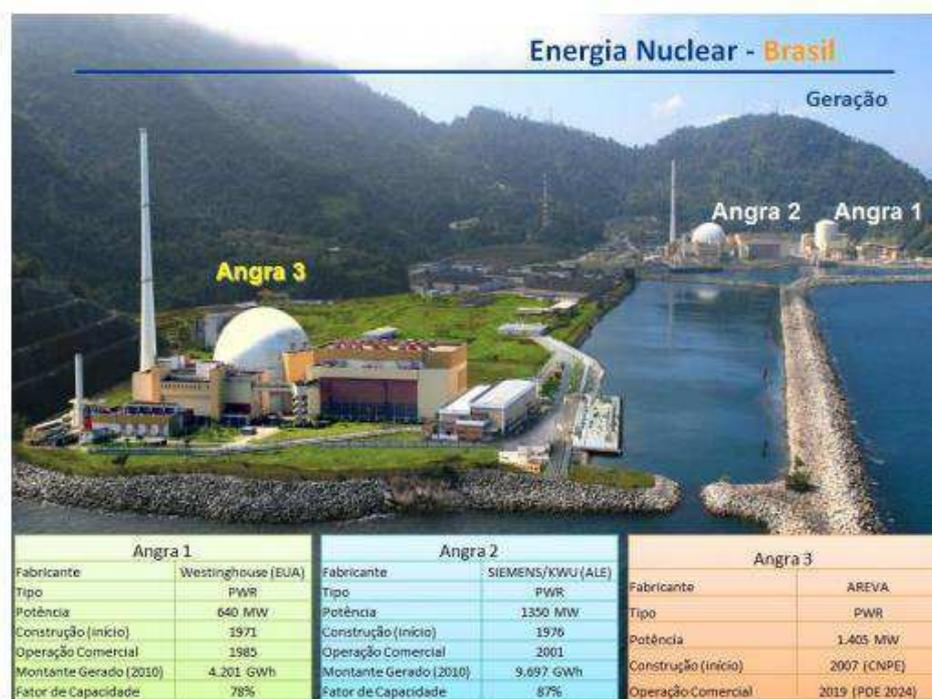


Figura 8 - Geração Nuclear no Brasil

Fonte: Energia Termétrica – Empresa de Pesquisa Energética

#### 4.4 FONTES ALTERNATIVAS

As fontes renováveis são responsáveis por cerca de 19% da eletricidade gerada no mundo. Contudo, energia hidráulica convencional é responsável por 17% e as outras fontes renováveis são responsáveis por apenas 2%.

Portanto, podemos definir fontes alternativas como sendo as fontes de energia ainda não utilizadas comercialmente em larga escala.

O Figura 9 apresenta a evolução da potência instalada das fontes renováveis no mundo sem considerar as hidrelétricas.

Observa-se que a geração eólica é a que mais cresceu nos últimos anos sendo seguida pela biomassa. É importante ressaltar o crescimento da geração fotovoltaica nos últimos anos.

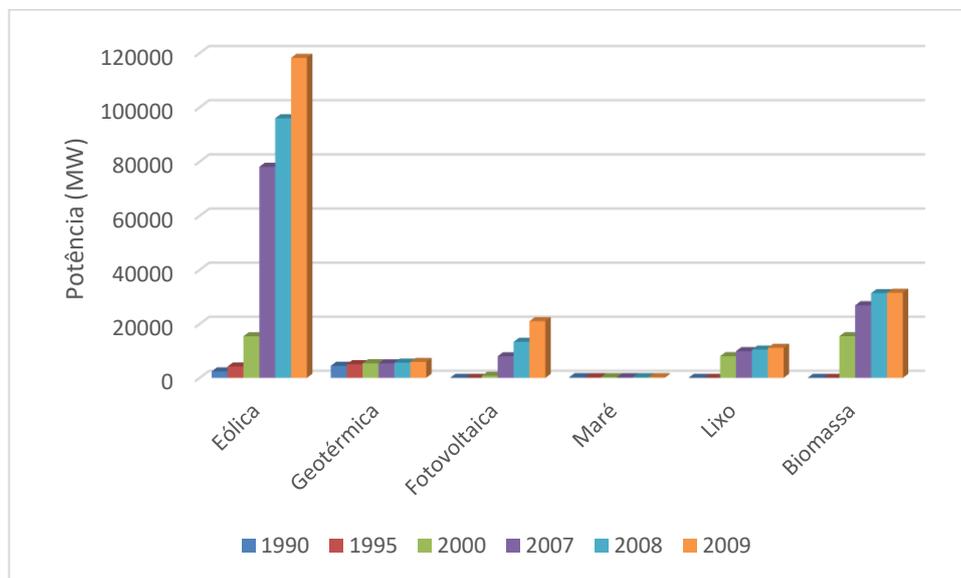


Figura 9 - Capacidade de Geração a partir de Renováveis – Exceto Hidro

Fonte: IEA renew 2011

#### 4.4.1 EÓLICA

A ideia de gerar energia elétrica a partir do vento surgiu no final do século XIX. Portanto, energia eólica na geração de energia elétrica não pode ser considerada uma tecnologia moderna porque surgiu exatamente com o desenvolvimento da eletricidade.

Com o desenvolvimento do carvão e do petróleo, em paralelo com o desenvolvimento da eletricidade, o vento foi abandonado como fonte de energia para a geração de energia elétrica e para todas as outras aplicações.

No entanto, a partir da crise do petróleo em 1970, a energia eólica voltou a ser utilizada na geração de energia elétrica.

A energia eólica é a fonte de energia renovável que mais cresce atualmente no mundo, 25% ao ano, mas responde por apenas 3% da energia renovável mundial.

##### 4.4.1.1 PANORAMA GERAL

Nos países desenvolvidos, a energia eólica é responsável por 8% da eletricidade gerada e o maior crescimento ocorre na Europa devido aos fortes subsídios governamentais.

O Figura 10 mostra a evolução da potência instalada de energia eólica no mundo e a energia gerada associada a estas usinas.

Observa-se que a energia gerada é muito inferior à potência instalada.

As turbinas eólicas geram apenas 20% da sua capacidade máxima devido à variação do vento. Isso se deve à variação da sua velocidade. O vento é provocado principalmente pela energia recebida do sol e pela rotação da terra. Isto significa que ele varia no tempo e de região para região da terra.

Este número, chamado de Fator de Capacidade, é extremamente dependente da localização da usina e da tecnologia dos aerogeradores.

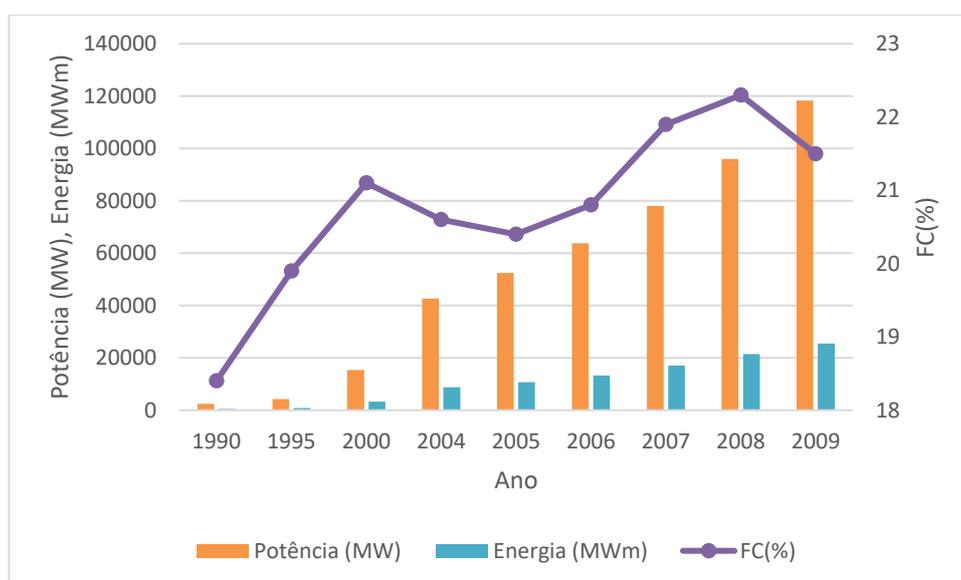


Figura 10 - Geração Eólica no Mundo

Fonte: IEA renew 2011

#### 4.4.1.2 PANORAMA BRASILEIRO

A primeira turbina de energia eólica do Brasil foi instalada em Fernando de Noronha em 1992. Dois anos depois, entrou em operação a primeira usina eólica conectada ao sistema elétrico integrado do país, na cidade de Gouveia - MG, no Vale do Jequitinhonha. Já na próxima década, o governo criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) para incentivar a utilização de outras fontes

renováveis, como eólica, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Estas estações podem usar energia hidrelétrica, o carro-chefe da matriz energética do Brasil, que compreende cerca de três quartos da capacidade energética instalada do Brasil.

O alto custo da produção de energia, juntamente com as vantagens da energia eólica como uma fonte de energia renovável, amplamente disponível, tem levado vários países a estabelecer incentivos regulamentando e dirigindo investimentos financeiros para estimular a geração de energia eólica.

#### 4.4.2 FOTOVOLTAICA

Sabe-se que a fonte solar possui o maior potencial de geração de todas as outras fontes juntas, sejam elas renováveis ou não. Esse potencial é de uma grandeza tal que, a radiação solar que atinge a terra em um dia seria capaz de alimentar nosso consumo elétrico por um ano inteiro.

Por esse e outros motivos é que a grande maioria dos países do mundo inteiro estão apostando cada vez mais no uso da energia solar, visando assim suprir as suas demandas energéticas com uma fonte limpa e renovável.

Alguns desses países, inclusive, por terem feitos altos investimentos e agora possuem setores tão avançados, estão inclusive apresentando um excesso dessa geração, fazendo com que os preços da energia elétrica fiquem negativos em algumas épocas do ano. A Figura 11 apresenta a potência de novas usinas fotovoltaicas instaladas em alguns países no decorrer da última década.

Os EUA, juntamente com a China, são atualmente os líderes na geração de energia solar no mundo. Devido a “corrida solar” existente entre eles, os investimentos feitos por esses países no ano passado foram os grandes responsáveis pelo aumento de 50% na capacidade mundial instalada da tecnologia (BLUESOL, 2017).

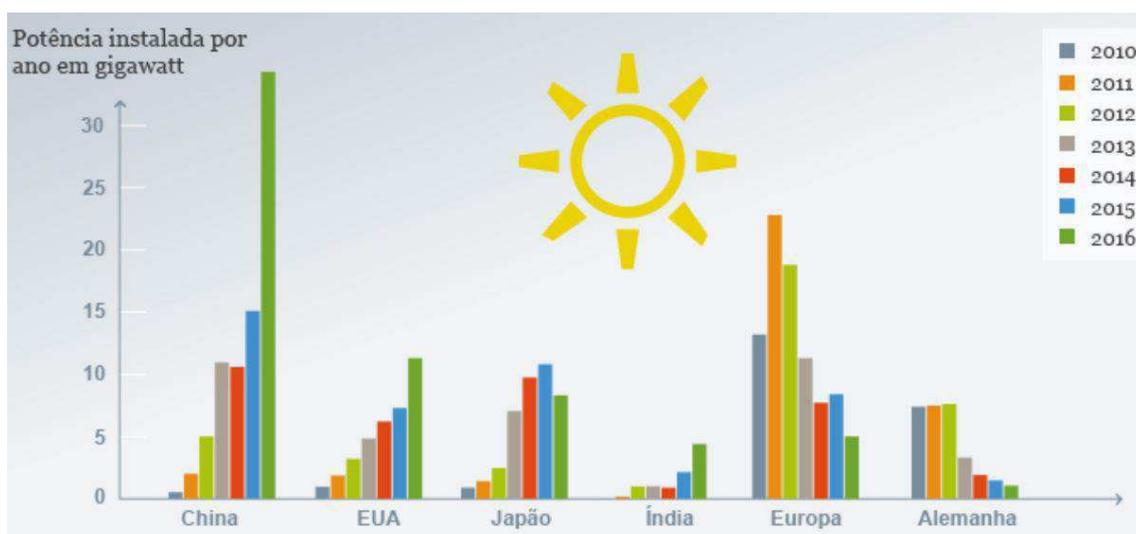


Figura 11 - Potência Instalada em Alguns Países por ano em Gigawatt

Fonte: Mercom Capital Group/Irena

Dentre os estados americanos, cita-se a Califórnia como o pináculo da geração e uso da energia Solar, possuindo quase a metade de toda capacidade solar instalada do país.

No último dia 11 de março, o estado gerou tanta energia através da luz do sol que ela acabou abastecendo, por algumas horas desse dia, mais da metade do consumo elétrico de seus 39 milhões de habitantes, de acordo com o US Energy Information Administration (EIA, ou Administração de Informação de Energia dos EUA) (BLUESOL, 2017).

A EIA estima que, durante as horas de pico de geração desse dia, 4 milhões de kWh (quilowatt-hora) foram gerados, um avanço e tanto para um estado que, apenas 15 anos atrás, não produzia quase nenhuma energia solar.

Isso trouxe grandes efeitos aos preços de energia elétrica por atacado, os quais caíram para quase zero, ou até mesmo ficaram negativos, em algumas partes do estado. Em contraste, nesse mesmo período, durante os anos de 2013 e 2015, esses preços estavam entre U\$14 e U\$45 o MWh (megawatt-hora).

## 5 PANORAMA ATUAL DA MATRIZ DA ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL

Diversas análises sobre o Brasil apontam para o potencial emergente do país, decorrente de uma economia mais forte e produtiva, e a possibilidade de diminuição das disparidades sociais, através de medidas de inserção social oriundas do governo, e de maior distribuição de renda. Um dos fatores principais a possibilitar o sucesso brasileiro no futuro é justamente a capacidade de o sistema energético sustentar o aumento da demanda necessária e dar suporte ao desenvolvimento, pois o melhor posicionamento em relação ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e pouco impacto ambiental possibilita importantes vantagens na competitividade global. Por isso a situação energética atual do Brasil inspira cuidados, principalmente quando vemos algumas matrizes com dados preocupantes, como os fatos recentes, que demonstraram que a crise hídrica afetou diretamente a produção de energia elétrica, responsável pelo abastecimento doméstico e de indústrias.

Nesse interim, emerge a necessidade da análise da matriz energética brasileira, pois ela é fundamental para a orientação do planejamento do setor energético, que deve garantir a produção e o uso adequado da energia produzida. É importante salientar, no que se refere ao potencial energético do Brasil: o país se coloca em uma posição de destaque, devido ao seu amplo leque de opções de recursos energéticos e tecnologias capaz de transformar essa riqueza natural em energia, possibilitando a produção de riquezas que gerem desenvolvimento ao país.

O quadro atual brasileiro aponta para a necessidade de uma ampliação da oferta energética que possibilite dar um salto produtivo e econômico. O consumo per capita de energia no Brasil ainda é baixo. Segundo dados, o país consumiu 1,224 toneladas equivalentes de petróleo por habitantes (tep/hab), número seis vezes menor que o consumido nos EUA, 7,05. Isso demonstra que o crescimento da economia gerará a necessidade de maior investimento na produção de energia, principalmente pelo aumento da demanda da produção industrial e de transporte, principais vetores para o crescimento mundial de energia.

Sabendo das características principais da matriz da energia elétrica do país, tem-se um levantamento atual das modalidades predominantes do Brasil.

## 5.1 PANORAMA ATUAL DA HIDROELETRICIDADE

No Brasil, água e energia têm uma histórica interdependência. A contribuição da energia hidráulica ao desenvolvimento econômico do País tem sido expressiva, seja no atendimento das diversas demandas da economia – atividades industriais, agrícolas, comerciais e de serviços – ou da própria sociedade, seja na melhoria do conforto das habitações e da qualidade de vida das pessoas. Também desempenha papel importante na integração e no desenvolvimento de regiões distantes dos grandes centros urbanos e industriais.

A contribuição da energia hidráulica na matriz de energia elétrica nacional, é da ordem de 79 % de toda a energia elétrica gerada no país. Apesar da tendência de aumento de outras fontes, devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos e aos avanços tecnológicos no aproveitamento de fontes não-convencionais, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil. Embora os maiores potenciais remanescentes estejam localizados em regiões com fortes restrições ambientais e distantes dos principais centros consumidores, estima-se que, nos próximos anos, pelo menos 50% da necessidade de expansão da capacidade de geração seja de origem hídrica.

As políticas de estímulo à geração descentralizada de energia elétrica promovem uma crescente participação de fontes alternativas na matriz energética nacional, e nesse contexto, as pequenas centrais hidrelétricas terão certamente um papel importante a desempenhar.

O Figura 12 apresenta a quantidade de MW médio gerada mensalmente nos últimos anos que, haja vista a sua predominância no mercado, mesmo havendo mudanças consideráveis em seu cenário, ainda não é tão perceptível, quando comparada às outras matrizes.

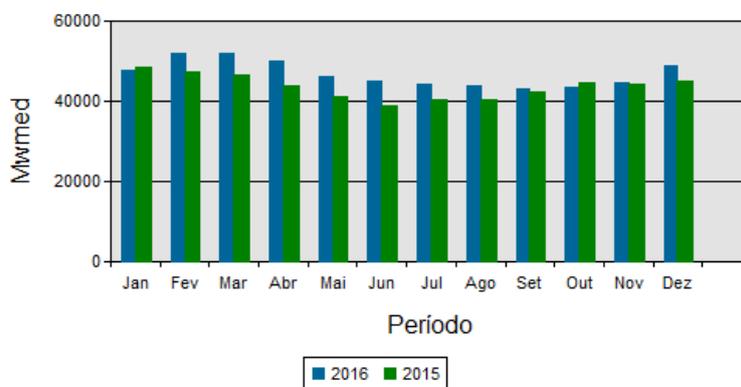


Figura 12 - Geração de Energia Elétrica pela Matriz Hidráulica no Brasil

Fonte: Banco de Informações de Geração de Energia da ONS

A Tabela 1 contém a geração mensal verificada, por estado, em MW médio. Foram consideradas as usinas nas modalidades de operação tipo I, tipo II-A e os conjuntos de usinas individualizadas tipo III (UEE, UHE e UTE), em operação comercial, definidas no Módulo 26, dos Procedimentos de Rede do ONS, homologado pela ANEEL, através da Resolução Normativa 461/11 de 11/Nov/2011.

Tabela 1 - Parcelas que Compõem a Geração por Estado, em MW Médio e % (12/2016)

Estado	Hidráulica		TOTAL
	MW/med	%	MW/med
Acre	0,00	0,0	0
Alagoas	2,23	100,00	2,23
Amapá	84,41	100,00	84,41
Amazonas	60,72	13,7	443,9
Bahia	1023,32	51,8	1976,87
Ceará	0,00	0,0	1362,31
Distrito Federal	0,00	0,0	0
Espírito Santo	179,16	33,5	535,38
Goiás	1335,57	96,7	1380,86
Maranhão	381,63	21,6	1768,14
Mato Grosso	1358,99	98,2	1383,8
Mato Grosso do Sul	0,00	0,0	194,04
Minas Gerais	5945,75	98,4	6043,56
Pará	4051,54	100,0	4051,54
Paraíba	0,00	0,0	100,96
Paraná	15347,48	98,8	15536,94
Pernambuco	322,16	30,0	1074,53
Piauí	94,11	48,0	195,99
Rio de Janeiro	841,54	20,8	4049,74
Rio Grande do Norte	0,00	0,0	1524,39
Rio Grande do Sul	1361,66	66,4	2051,37
Rondônia	2747,54	100,0	2747,54
Santa Catarina	2327,88	82,4	2823,62
São Paulo	8151,49	97,1	8396,79
Sergipe	862,23	100,0	862,23
Tocantins	614,23	100,0	614,23
TOTAL	47093,66	79,54	59207,92

Fonte: [www2.aneel.gov.br](http://www2.aneel.gov.br)

### 5.1.1 ALGUMAS DEFINIÇÕES

Usinas TIPO I: Usinas conectadas na rede básica

Usinas TIPO II: Usinas não classificadas como Tipo I, mas que afetam os processos de planejamento, programação da operação, operação em tempo real, normatização, pré-operação e pós-operação. As usinas deste grupo são classificadas em dois subgrupos: Tipo II-A e Tipo II-B.

Tipo II-A: Usinas Térmicas – UTEs não classificadas como Tipo I e que têm Custo Variável Unitário – CVU declarado.

Tipo II-B: Usinas não classificadas como Tipo I, para as quais se identifica a necessidade de informações ao NOS.

Conjunto de Usinas: Um Conjunto de usinas é composto por usinas Tipo II-C. Um Conjunto de usinas conectadas fora da rede básica será constituído quando um grupo de usinas totalizar uma injeção de potência significativa em uma determinada subestação do SIN ou em um ponto de conexão compartilhado, com impacto na fronteira da rede básica.

## 5.2 PANORAMA ATUAL DA TERMOELETRICIDADE

Atualmente o Brasil possui 2926 usinas termelétricas, responsáveis pela geração de 27,51% da capacidade total do país, totalizando uma potência fiscalizada de 43 GW em operação. Em construção, há 164 unidades, das quais 32 já foram iniciadas que, se comparado aos outros investimentos, representam quase 40% da potência a ser instalada nos próximos anos, totalizando pouco mais de 9 GW de potência. A Tabela 2 contém a geração mensal verificada, por estado, em MW médio, em quanto o Figura 13 apresenta, também em MW médio, a geração de energia elétrica por meio da termoeletricidade.

Tabela 2 - Parcelas que Compõem a Geração por Estado, em MW Médio e % (12/2016)

Estado	Térmica		TOTAL
	MW/med	%	MW/med
Acre	0,00	0,0	0
Alagoas	0,00	0,0	0
Amapá	0,00	0,0	0

Amazonas	383,18	86,3	444,01
Bahia	333,02	16,8	1982,26
Ceará	785,82	57,7	1361,90
Distrito Federal	0,00	0,0	0
Espírito Santo	356,22	66,5	535,67
Goiás	45,29	3,3	1372,42
Maranhão	1386,51	78,4	1768,51
Mato Grosso	24,81	1,8	1378,33
Mato Grosso do Sul	194,04	100,00	194,04
Minas Gerais	97,81	1,6	6113,12
Pará	0,00	0,0	0
Paraíba	100,96	100,0	100,96
Paraná	189,46	1,2	15788,33
Pernambuco	633,38	58,9	1075,35
Piauí	0,03	0,0	0
Rio de Janeiro	3208,20	79,2	4050,50
Rio Grande do Norte	198,59	13,0	1527,61
Rio Grande do Sul	236,25	11,5	2054,38
Rondônia	0,00	0,0	0
Santa Catarina	478,35	16,9	2830,47
São Paulo	245,3	2,9	8458,62
Sergipe	0,00	0,0	0
Tocantins	0,00	0,0	0
TOTAL	8899,75	17,44	51036,48

Fonte: [www2.aneel.gov.br](http://www2.aneel.gov.br)

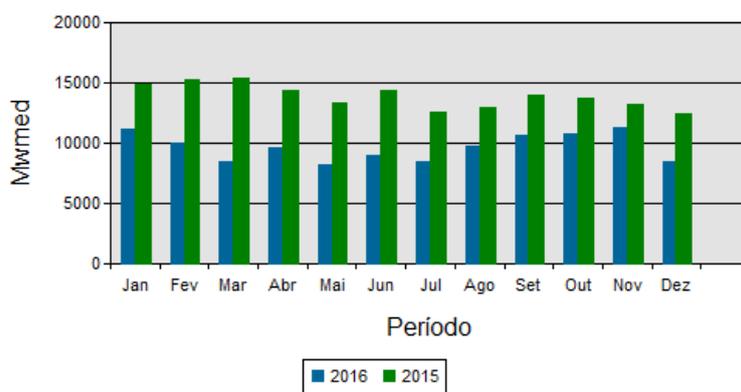


Figura 13 - Geração de Energia Elétrica pela Matriz Térmica no Brasil

Fonte: Banco de Informações de Geração de Energia da ONS

Com o objetivo de reduzir os custos de geração de energia elétrica e aproveitar o aumento da produção de gás natural, o governo começa a estudar a possibilidade de construir termelétricas a gás natural que seriam usadas em operação contínua, como hoje ocorre com as hidrelétricas. No modelo atual, as usinas termelétricas operam apenas quando é necessário preservar o nível dos reservatórios e, por isso, sua energia tem custo mais alto.

O atual contexto do mercado de gás natural brasileiro é de mudança. A redução da presença da Petrobras no segmento, fruto de seus inúmeros desinvestimentos, traz à tona diversas questões e ajustes necessários para adequar o modelo de mercado à nova realidade. De acordo com o MME, o aumento significativo da produção de gás natural nos campos do pré-sal permitirá que o país se torne autossuficiente e até exportador do produto a partir de 2021. Com a perspectiva de aumento de produção, o Brasil deve também reduzir a importação de gás da Bolívia.

Nesse sentido, surge a iniciativa “Gás para crescer” coordenada pelo MME, em conjunto com a EPE e a ANP, que visa discutir a reforma necessária para o setor entre os diversos agentes do mercado, na tentativa de propor medidas de aprimoramento do arcabouço regulatório do setor de gás natural.

A iniciativa teve início em meados de 2016 e, após diversas reuniões com especialistas e interessados no mercado, elaborou o documento que contém as diretrizes e barreiras a serem superadas no setor. Durante o período em consulta pública o MME recebeu diversas contribuições sobre propostas de agentes do mercado. Em dezembro, o CNPE aprovou a criação do Comitê Técnico para o Desenvolvimento da Indústria do Gás Natural – CT-GN, o qual é coordenado pelo Ministério e tem a participação de diversos agentes públicos e privados especializados na indústria de gás natural. O Comitê foi dividido em dez subcomitês responsáveis por criar propostas concretas sobre cada assunto elencado pela iniciativa, que serão submetidas ao Congresso Nacional em 2017.

Apesar de ser uma iniciativa que pode trazer um novo ânimo ao mercado de gás, a complexidade dos problemas existentes pede muita cautela na elaboração de uma reforma. A principal ressalva com relação à iniciativa é a amplitude de questões elencadas que demandariam grande esforço institucional, sem que tenha se definido exatamente uma lista de prioridades.

Dentre as muitas questões discutidas, está a de estímulo à harmonização entre as regulações estaduais e federais. A principal questão diz respeito a criação do mercado livre que, de acordo com a Lei do Gás, deveria ser regulamentada a nível estadual. Além do fato que diversos estados ainda não realizaram tal regulamentação, os que o fizeram criaram condições completamente distintas entre si, gerando assimetrias e distorções importantes no mercado.

### 5.3 PANORAMA ATUAL DA ENERGIA EÓLICA

O primeiro incentivo à fonte eólica ocorreu durante a crise energética de 2001, quando se tentou incentivar a contratação de geração de energia eólica no país, até então insignificante, através do Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA). O programa tinha como objetivo a contratação de 1.050 MW de projetos de energia eólica até dezembro de 2003, contudo, não obteve resultados. Em 2002 o PROINFA, instituído pela Lei nº 10.438/2002, entrou em vigor com o objetivo da diversificação da matriz energética brasileira.

O sucesso da energia eólica se confirma pela contratação de 14.626 MW no ambiente regulado entre 2009 e 2015. Tal sucesso pode ser atribuído à competitividade da fonte eólica que, dado seu relativo baixo custo nos leilões, vem garantindo tanto uma indicação de montante mínimo a ser contratado pelo governo, quanto sua efetiva contratação. Essa competitividade foi fruto de um conjunto de fatores como a qualidade do recurso eólico em determinadas regiões do país e a sinalização, nos planos decenais de expansão de energia, de continuidade de leilões mantendo perspectiva para a expansão da energia eólica, que também acabou por criar um mercado interno.

Atualmente, no sistema hidrotérmico brasileiro, quando ocorrem períodos de condições hidrológicas desfavoráveis as usinas térmicas são despachadas, permitindo uma menor depleção dos reservatórios das usinas hidrelétricas, com o intuito de assegurar o atendimento futuro do sistema. A entrada das usinas eólicas, embora com perfil de oferta variável, apresenta papel importante na segurança operativa do SIN, na medida em que sua geração ajuda no menor esvaziamento dos reservatórios e na redução de usinas térmicas em utilização em períodos de hidrologia desfavorável.

A Tabela 3 contém a geração mensal por usinas eólicas verificada, por estado, em MW médio, em quanto o Figura 14 apresenta, também em MW médio, a geração de energia elétrica por meio da geração eólica.

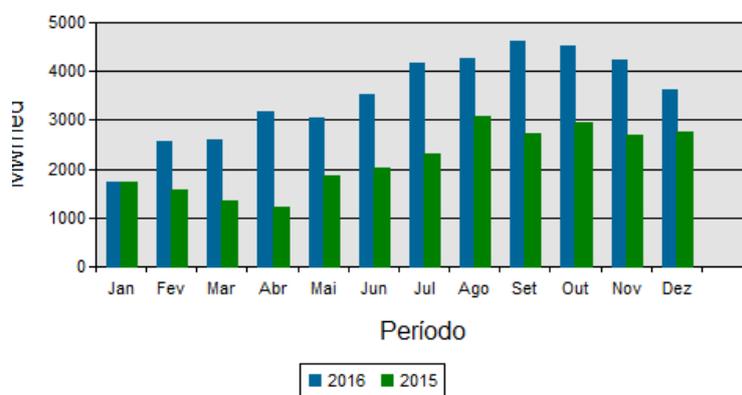


Figura 14 - Geração de Energia Elétrica pela Matriz Eólica no Brasil

Fonte: Banco de Informações de Geração de Energia da ONS

Tabela 3 - Parcelas que Compõem a Geração por Estado, em MW Médio e % (12/2016)

Estado	Térmica		TOTAL
	MW/med	%	MW/med
Acre	0,00	0,0	0
Alagoas	0,00	0,0	0
Amapá	0,00	0,0	0
Amazonas	0,00	0,0	0
Bahia	620,53	31,4	1976,21
Ceará	576,49	42,3	1362,86
Distrito Federal	0,00	0,0	0
Espírito Santo	0,00	0,0	0
Goiás	0,00	0,0	0
Maranhão	0,00	0,0	0
Mato Grosso	0,00	0,0	0
Mato Grosso do Sul	0,00	0,0	0
Minas Gerais	0,00	0,0	0
Pará	0,00	0,0	0
Paraíba	0,00	0,0	0
Paraná	0,00	0,0	0
Pernambuco	118,99	11,1	1071,98
Piauí	101,85	52,0	195,86
Rio de Janeiro	0,00	0,0	0
Rio Grande do Norte	1325,80	87,0	1523,91

Rio Grande do Sul	453,46	22,1	2051,85
Rondônia	0,00	0,0	0
Santa Catarina	17,39	0,6	2898,33
São Paulo	0,00	0,0	0
Sergipe	0,00	0,0	0
Tocantins	0,00	0,0	0
TOTAL	3214,51	29,01	11081

Fonte: [www2.aneel.gov.br](http://www2.aneel.gov.br)

## 5.4 PANORAMA ATUAL DA ENERGIA SOLAR

Em 18/07/2016, o Brasil contava com 51,1 MW de potência instalada de geração solar, correspondentes a 3.851 instalações. Em oito meses o número de instalações triplicou no Brasil. Em 2015, a ANEEL passou a adotar nova forma de contabilizar as usinas, separando-as em “outorgadas com registro” e em “distribuídas”, estas últimas com sistema de informações próprio, e ainda em processo de controle de qualidade dos dados. A Tabela 4 mostra os resultados após ajustes de não conformidades.

Tabela 4 - Instalações Solares no Brasil

Tipo de Registro na ANEEL	MW			Nº de Instalações		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Outorga e Registro na ANEEL	15,0	21,2	23,0	311	24	40
Distribuída (telhado)		10,8	28,1		1250	3811
Total	15,0	32,0	51,1	311	1274	3851

Fonte: Energia Solar no Brasil e no Mundo – Ano de Referência – 2015 – Ministério de Minas e Energia

Do total de 23 MW de “Outorga e Registro” de 2016, 10 MW (44%) estão em Pernambuco e são de propriedade da Enel. Em Santa Catarina, constam 4 MW (17%), sendo 3,1 MW da Tractebel. Na Bahia, constam 2,5 MW (11%). Estes três estados respondem por 72% da potência mencionada.

Na potência “Distribuída”, de 28,1 MW, 80% das instalações são residenciais, com média de 4,6 kW/consumidor. Indústria, serviços e agro ficam com 20% das instalações e média de 18,7 kW. Considerando um indicador médio de 143 W/m<sup>2</sup>, a potência instalada solar registrada em julho de 2016, equivale a um quadrado de 600

metros de lado. A geração estimada é de 67 GWh, ou 0,011% da demanda total de energia elétrica do Brasil de 2015.

Em 2014 houve a primeira contratação de energia solar de geração pública centralizada, de 890 MW, ao preço médio de R\$ 215,50 (US\$ 88,20, pelo câmbio do dia do leilão). Em 2015, mais dois leilões foram realizados, totalizando 2.653 MW contratados, com início de suprimento em 2017 e 2018. Os leilões foram realizados na modalidade de “energia de reserva”, e com o objetivo de promover o uso e o desenvolvimento da indústria solar no Brasil.

## 6 PROJEÇÕES DAS MATRIZES ENERGÉTICAS

Como parte do Planejamento do Setor Elétrico, o MME em parceria com a EPE, elaboraram o Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE, sendo o último elaborado no ano de 2015, estando em vigor até 2024. O relatório apresenta grande quantidade de informações técnicas e indica os rumos do setor elétrico a serem tomados nessa década.

No PDE 2024 estão previstos investimentos globais da ordem de R\$ 1,4 trilhão, dos quais 26,7% correspondem ao segmento de energia elétrica; 70,6% ao de petróleo e gás natural; e 2,6%, ao de biocombustíveis líquidos. Dentre os principais parâmetros físicos, haverá ampliação entre o verificado em 2014 e 2024: da oferta da capacidade instalada para atendimento à carga de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional, de 132,9 GW para 206,4 GW, não incluída a autoprodução; da produção de petróleo, de 2,3 milhões de barris/dia para 5,1 milhões de barris/dia; da produção de gás natural, de 87,4 milhões de m<sup>3</sup>/dia para 171,7 milhões de m<sup>3</sup>/dia; e da produção de etanol, de 28,5 milhões de m<sup>3</sup> para 43,9 milhões de m<sup>3</sup>.

A projeção do consumo de energia elétrica foi realizada de forma desagregada por subsistema elétrico e por classe de consumo, a partir de parâmetros e indicadores típicos do mercado de eletricidade e considerando as premissas demográficas, macroeconômicas, setoriais, de autoprodução e de eficiência energética. A metodologia utilizada, tanto nas projeções do consumo quanto nas da carga de eletricidade, está descrita em maior detalhe em nota técnica específica (EPE, 2014). As premissas econômicas e demográficas adotadas no PDE 2024 e a correspondente projeção do consumo total de energia elétrica resultaram em crescimento continuado do consumo per capita de eletricidade, que registra

expansão em torno de 3,5% no período decenal, concomitantemente a certa estabilidade da intensidade elétrica da economia.

A análise da projeção do consumo por subsistema elétrico, Tabela 5, revela maior crescimento no subsistema Norte, atribuído ao efeito conjugado da instalação de grandes cargas industriais na região e às interligações de Macapá e de Boavista a este subsistema.

Tabela 5 - Consumo de Eletricidade na Rede por Subsistema

Ano	Subsistema				SIN	Sistemas Isolados	Brasil
	Norte	Nordeste	Sudeste/CO	Sul			
GWh							
2015	34177	72617	276678	85070	468542	2377	470918
2019	41625	84839	312820	95992	535276	2117	537393
2024	58598	110954	399410	119706	688668	3468	692137

Fonte: PDE 2024

No que diz respeito à geração de energia elétrica, sua expansão decenal incorpora os resultados dos leilões de compra de energia elétrica promovidos até abril de 2015, resultando em uma configuração de expansão parcialmente definida a priori.

No que se refere à integração energética com outros países latino-americanos, o governo brasileiro, através de suas empresas, vem realizando acordos e participando de estudos em países das Américas Central e do Sul. A integração energética do Brasil com estes países proporcionará diversos benefícios para ambas as partes, como, por exemplo, o aproveitamento da complementaridade dos regimes hidráulicos, o aumento da confiabilidade e da segurança do suprimento, redução da utilização de térmicas e da emissão de CO<sub>2</sub>. Apenas 25% da capacidade hidráulica dos países que fazem fronteira com o Brasil foi aproveitada.

A seguir, tem-se os métodos de integração das fontes de energia ao sistema (sendo analisadas vantagens e desvantagens de cada um, buscando uma integração mais eficiente, tendo em vista a multiplicidade de fontes e suas respectivas conexões), seguidos de projeções das matrizes energéticas no Brasil.

## 6.1 INTEGRAÇÃO DAS FONTES DE ENERGIA

O conceito de integração de fontes de energia é baseado na demanda de uma parte do sistema, que necessita da energia para seus afins, e da oferta dos geradores ou fontes de energia, que a disponibilizam. A composição de um sistema interligado que possibilita uma transmissão da energia desde sua geração ao seu consumo é feita dessa combinação (DAROS, H. B., 2013).

Em se tratando de fontes de energia renováveis, tem-se a característica de que estas não possuem uma saída contínua e regular, havendo a necessidade de armazenamento para que a energia seja utilizada quando houver demanda (FARRET & SIMÕES, 2006). Para que múltiplas fontes de energia renováveis façam parte do sistema, o conceito de *microgrid* é então abordado.

Segundo GLENWRIGHT (2002), *microgrid* é um grupo de cargas interconectadas e de fontes de energia distribuídas com limites elétricos definidos, que atua como uma unidade controlável com relação à rede e pode se conectar e desconectar desta rede para poder atual, seja em contato com à rede ou em um modo isolado.

Deve-se considerar que as fontes alternativas de energia de destaque do Brasil, eólica e fotovoltaica, fazem parte de dois tipos diferentes de geração de energia elétrica: enquanto que os sistemas fotovoltaicos são do tipo estacionário, ou seja, fornecem corrente contínua, os sistemas eólicos, compostos por geradores síncronos ou de indução, fornecem corrente alternada. A Figura 15 apresenta as tecnologias de conversão para as fontes de energias renováveis. Nota-se a possibilidade de isolamento do sistema quanto à interconexão com a rede elétrica.

Caso sejam utilizadas apenas as fontes eólica e hidrelétrica, um controle de tensão alternada de frequência variável deve ser agregado a uma conexão AC através de um sistema de conversão AC-AC. No entanto, caso seja incluída uma outra fonte de energia, fonte fotovoltaica por exemplo, é necessário utilizar também um barramento DC para conectá-la ao sistema.

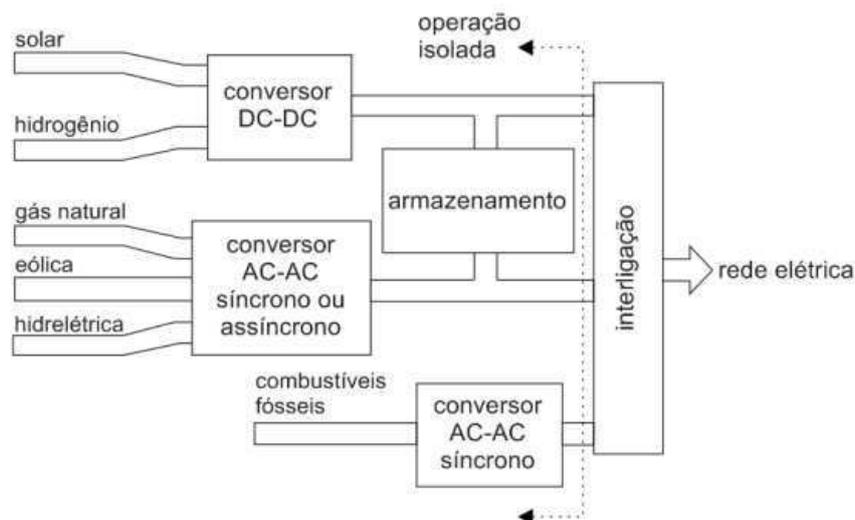


Figura 15 - Tecnologias de Conversão de Fontes de Energias Alternativas para Interconexão

Fonte: FARRET & SIMÕES, 2006, modificado

Deve-se levar em consideração também o armazenamento da energia produzida. Em um sistema de *microgrid* deve haver uma etapa de armazenamento, para quando a oferta de energia seja maior que a demanda, de modo a não haver desperdício do excesso, que pode ser utilizado em um outro momento. A seguir, o método CC e o método CA são abordados.

### 6.1.1 MÉTODO CC

O método CC é a forma mais simples e antiga de integração de energia elétrica (FARRET & SIMÕES, 2006). A capacidade desse método em conexões CA-CC, transmissão e distribuição CC foi ampliada a partir do desenvolvimento de retificadores de potência e retificadores controlados.

A simplicidade desse método se dá pelo fato de não haver obrigatoriedade de sincronismo, além de as perdas em transmissão e distribuição serem menores do que nos outros métodos AC. Outras vantagens do método CC são a viabilidade com que se obtém os conversores e o baixo custo da infraestrutura necessária para a transmissão.

Apenas um sistema com uso de diodos para uma fonte que alimenta a conexão CC deve ser utilizado, evitando os fluxos de corrente para dentro das fontes CC, como vistos nas Figura 16.

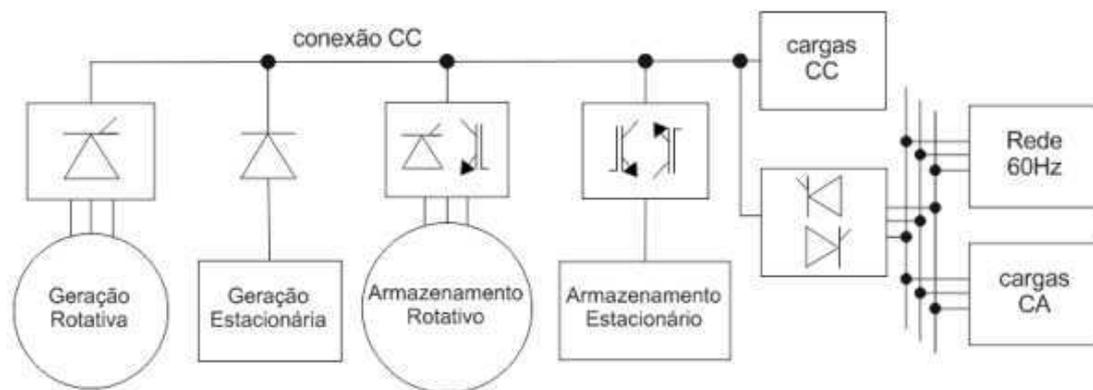


Figura 16 - Integração de Fontes de Energia pelo Método CC

Fonte: FARRET & SIMÕES, 2006, modificado

### 6.1.2 MÉTODO CA

É baseado em um barramento CA que pode operar nas frequências de 50 ou 60Hz, como a própria rede pública ou uma rede local atua em operação isolada (FARRET & SIMÕES, 2006).

Ao utilizar geradores síncronos ou de indução, estes estabelecem seus próprios pontos de operação, o que pode vir a simplificar a conexão pelo método CA através de eliminação de conversores eletrônicos (DAROS, H. B., 2013).

Neste método, a necessidade de sincronismo é rigorosa, além da correspondência dos níveis de tensão e da sequência de fase correta entre as fontes, tanto na conexão como na operação.

A presença de indutâncias e capacitâncias proporcionam perdas, desfavoráveis quando se é feita uma distribuição a longa distância. Os limites reduzidos de transmissão e distribuição, a necessidade da correção do fator de potência e da distorção harmônica, bem como a possibilidade de re-circulação de corrente entre as fontes de energia, são outras das desvantagens desse método.

Quando utilizados geradores de corrente alternada, devido à sua fácil conexão com o sistema, nota-se a vantagem nesse método, como pode ser observado na Figura 17. Para as fontes estacionárias, é necessário um conversor CC-CA, que pode ser substituído por um booster CC-CC seguido de um conversor CC-CA, permitindo uma maior eficiência na conversão.

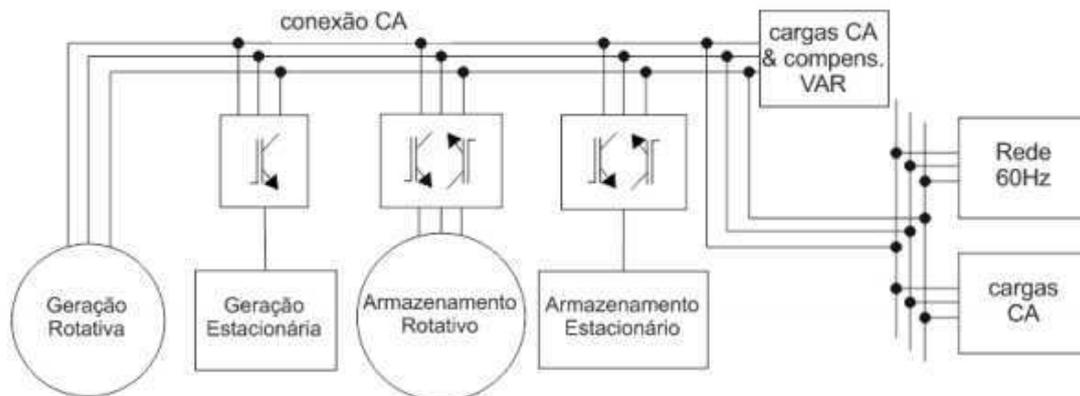


Figura 17 - Integração de Fontes de Energia pelo Método CA

Fonte: FARRET & SIMÕES, 2006, modificado

Para conectar as fontes de energias renováveis ao SEP, deve existir um bloco intermediário que contenha algumas funções necessárias para uma conexão eficiente entre os dois extremos. Nesse bloco, faz-se necessária a presença de estágio de tratamento da energia, como também estágios de comunicação, monitoramento e controle, caracterizando o sistema como uma rede de energia inteligente.

As tecnologias de conexão do SEP com as fontes renováveis de energia dependem do tipo de geradores a serem integrados à rede, tratando-se principalmente da interligação síncrona, por indução e com inversores.

## 6.2 EXPANSÃO HIDRELÉTRICA

A expansão hidrelétrica é composta por projetos já contratados e projetos cujos estudos estão em fase de conclusão. Os projetos hidrelétricos que constam neste Plano somam 28.349 MW. No entanto, devido ao longo período de motorização de alguns empreendimentos de grande porte, esta capacidade total deverá estar disponível para atendimento ao SIN apenas no ano de 2027. A capacidade de geração hidráulica aumentará de 90 GW para 117 GW, aproximadamente, de 2015 até 2024. Na região Norte ocorrerá a maior expansão hidrelétrica, devido à entrada em operação de grandes empreendimentos (LIMA, G. R.).

## 6.3 EXPANSÃO TERMELÉTRICA

Para atender de forma adequada ao crescimento da carga de energia prevista no horizonte deste plano, a expansão do parque gerador termelétrico agregará cerca de 10.500 MW até 2024. Destaca-se que a concretização desta expansão termelétrica está atrelada à disponibilidade de combustível a um preço competitivo para participação dos projetos nos futuros leilões de energia nova. Para efeitos de simulação e apresentação dos resultados deste plano, foram consideradas usinas a gás natural, com custo variável unitário (CVU) igual ao teto de R\$ 250/MWh. Entretanto, em caso de inviabilidade deste combustível, outras fontes, a exceção de óleo diesel e óleo combustível, constituem alternativas para o atendimento à demanda, entre elas as usinas térmicas a carvão (MME, 2017).

No que se refere à geração termonuclear, a expansão no período decenal se dará pela implantação da usina de Angra 3. Esta usina, com capacidade instalada de 1.405 MW, cuja contratação já foi autorizada na modalidade de energia de reserva, tem entrada em operação atualmente prevista para janeiro de 2019, aumentando o parque nuclear existente em aproximadamente 71%, de 1.990 MW para 3.395 MW (MME, 2017).

## 6.4 EXPANSÃO DE FONTES RENOVÁVEIS

Em relação às outras fontes renováveis de geração (eólicas, PCH, termelétricas a biomassa e solar), nota-se uma expansão média anual de cerca de 10%, em percentual da capacidade instalada total dessas fontes. Os projetos que têm seus estudos e processos de construção e licitatórios acompanhados, fiscalizados e sinalizados como “verde” pela ANEEL estão representados nesse montante de expansão. A região Nordeste contribui com a maior participação na expansão dessas fontes ao longo do período de estudo (MME, 2017).

A geração eólica tem apresentado participação crescente nos leilões desde 2009. As contratações dos últimos anos demonstraram que estes empreendimentos atingiram preços bastante competitivos e impulsionaram a instalação de uma indústria nacional de equipamentos para o atendimento deste mercado. Dessa forma, esta fonte, ainda com grande potencial a ser explorado, se consolida como um dos principais componentes para a expansão da matriz de energia elétrica do Brasil.

Quanto à energia solar, atualmente, a capacidade instalada ainda é pouco representativa, incluindo projetos de P&D, usinas instaladas nos estádios da Copa do

Mundo 2014 e usinas enquadradas como mini ou microgeração distribuída. No entanto, a expectativa é de crescimento da participação dessa fonte na capacidade instalada do SIN. Nos leilões promovidos ao longo de 2014 foram comercializados 891 MW de potência instalada fotovoltaica. Deste total, 521 MW estão localizados na região NE e, o restante, na região SE/CO. As centrais geradoras heliotérmicas ainda não estão contempladas no horizonte deste Plano Decenal, porém, deve-se ressaltar as vantagens dessa tecnologia quando associadas a armazenamento térmico de energia. Elas podem servir como complemento às fontes renováveis intermitentes, como eólica e fotovoltaica, além da capacidade de atendimento às demandas máximas requeridas pelo SIN (MME, 2017).

A Tabela 6 resume as projeções de cada fonte de geração para os próximos anos incluídos no PDE 2024, nas quais é possível observar o maior crescimento nas energias renováveis e nas que usam o Gás Natural como fonte de energia a ser convertida em eletricidade.

Tabela 6 - Evolução da Capacidade Instalada por Fonte de Geração

Fonte	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	MW						
<b>Renováveis</b>	142972	145177	145560	151554	158102	165460	173417
Hidro	101354	102040	102115	103549	105137	107335	109972
Importação	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
Biom. + Eólica + PCH + Solar	34618	36137	36445	41005	45965	51125	56445
<b>Não Renováveis</b>	<b>22493</b>	<b>26714</b>	<b>28230</b>	<b>29430</b>	<b>30630</b>	<b>31830</b>	<b>33030</b>
Urânio	1990	3395	3395	3395	3395	3395	3395
Gás Natural	12427	14903	16419	17619	18819	20019	21219
Carvão	3064	3404	3404	3404	3404	3404	3404
Óleo Combust.	3201	3201	3201	3201	3201	3201	3201
Óleo Diesel	1269	1124	1124	1124	1124	1124	1124
Gás de Processo	687	687	687	687	687	687	687
<b>TOTAL</b>	<b>165465</b>	<b>171891</b>	<b>173790</b>	<b>180984</b>	<b>188732</b>	<b>197290</b>	<b>206447</b>

Fonte: EPE

## 6.5 SOLUÇÕES PARA UM MELHOR APROVEITAMENTO DAS MATRIZES ENERGÉTICAS

O intercâmbio de energia é caracterizado pela importação ou exportação de energia — elétrica, eólica, solar, térmica, entre outras — entre países ou regiões, em caso de dificuldade no suprimento ou excesso de oferta. Essa “troca” de energia é feita principalmente por meio de linhas de transmissão e gasodutos.

Esse tipo de integração promove um melhor aproveitamento das matrizes energéticas, reduzindo os custos de produção e aumentando a segurança e competitividade do mercado. Isso porque o mercado tem a garantia de que, caso falte ou sobre energia, um país ou região pode equalizar sua demanda.

Sem colocar em risco a segurança do Sistema Interligado Nacional (SIN), o intercâmbio de energia é feito por agentes habilitados (distribuidor, gerador, comercializador, consumidor livre ou especial), que firmam contratos de uso e conexão com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Pelas normas atuais, a contratação só pode ser feita uma única vez no mês, independentemente do número de dias nos quais a rede for utilizada, e exige estudos regulatórios e técnicos.

O intercâmbio de energia apresenta duas modalidades: na “sem devolução”, uma região compra a energia de outra, enquanto a modalidade “com devolução” funciona como uma espécie de empréstimo no qual a energia usada é restituída ao país fornecedor.

Por conta da dimensão territorial do Brasil, o SIN tem papel fundamental nos intercâmbios energéticos entre as regiões do país. O sistema é dividido em quatro submercados (Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte), e a energia produzida circula livremente dentro de cada um deles. Com o objetivo de aproveitar os excedentes sazonais de geração hidráulica e de outras fontes produtoras, o intercâmbio entre essas regiões tem sido expandido nos últimos anos.

Mesmo estando enfrentando uma seca severa há cerca de três anos, o Nordeste continua imune aos riscos de desabastecimento, em parte por causa da entrada das térmicas e das eólicas no Sistema Interligado Nacional (SIN) e também em decorrência da grande flexibilidade desse sistema, que permite o deslocamento de energia entre os diversos subsistemas do país, como observado na Figura 18.

A preocupação do governo agora é aumentar o número de linhas de transmissão na Região Nordeste para que se possa jogar no Sistema Interligado Nacional o grande

volume de energia que virá nos próximos anos dos empreendimentos eólicos que estão surgindo e que surgirão na região nos próximos anos.

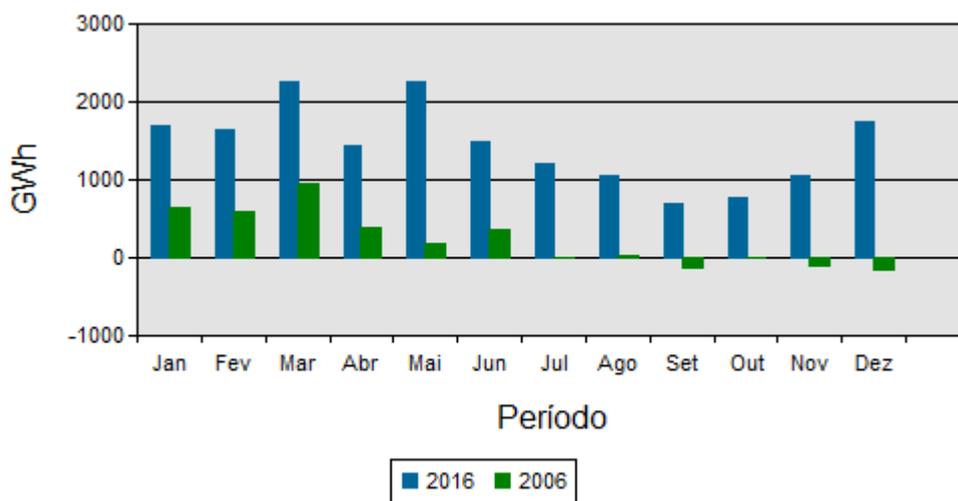


Figura 18 - Intercâmbio entre as Regiões - Importações do Nordeste

Fonte: Banco de Informações de Geração de Energia da ONS

Utilizando dados disponíveis no site da ONS, pode-se obter o valor percentual, da energia consumida pelo Nordeste, que foi importada de outras regiões, em MWmed, no ano de 2016, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 - Percentual de MWmed Importado pelo Nordeste em 2016

	MWmed consumido pelo Nordeste em 2016	MWmed importado pelo Nordeste em 2016	Percentual do MWmed que foi importado em 2016
Janeiro	9951	2289,72	23,00995%
Fevereiro	10357	2357,37	22,76113%
Março	10787	3020,20	27,99852%
Abril	10477	1978,30	18,88231%
Mai	10441	2049,32	19,62762%
Junho	10177	2072,78	20,3673%
Julho	9971	1603,90	16,08565%
Agosto	10152	1416,46	13,95252%
Setembro	10418	969,32	9,304281%
Outubro	10668	1050,12	9,843645%
Novembro	10855	1470,27	13,54463%
Dezembro	10816	2360,05	21,81999%

Fonte: Dados fornecidos pela NOS e elaboração própria do autor

## 7 CONCLUSÃO

Percebeu-se o potencial emergente do país, decorrente de uma economia mais forte e produtiva, apesar de estar enfrentando um período de recuperação pós-crise. Devido à capacidade de o sistema energético sustentar o aumento da demanda necessária e dar suporte ao desenvolvimento, por meio de investimentos nas diversas matrizes de energia elétrica faz com que o Brasil esteja inserido num panorama de crescimento exponencial, tendo em vista seu melhor posicionamento em relação ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e pouco impacto ambiental possibilita importantes vantagens na competitividade global.

Apesar da situação energética atual do Brasil inspirar cuidados, principalmente quando vemos algumas matrizes com dados preocupantes, como os fatos recentes, que demonstraram que a crise hídrica afetou diretamente a produção de energia elétrica, a hidroeletricidade, que é a maior fonte de geração do SIN, ainda apresenta grande potencial a ser explorado. Especialmente nas bacias da região Norte e Centro-Oeste, os inventários hidrelétricos apontam projetos importantes que poderão ser viabilizados nos próximos anos, a despeito da crescente complexidade socioambiental que, normalmente, impõe estágios de desenvolvimento extensos, além da perda de capacidade de armazenamento.

A crescente evolução das tecnologias de geração de energia eólica e solar também tem sido bastante perceptíveis no ambiente brasileiro, de modo a proporcionar as suas crescentes participações na geração total, o que tem permitido a redução do uso das matrizes baseadas na queima de combustíveis fósseis, bem como a preservação das bacias hidrográficas do país, que tem sofrido com a irregularidade e a falta das chuvas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBIENTE BRASIL. 2012. **Usina Termelétrica** - Disponível em: [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/termelétrica/usina\\_termelétrica.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/termelétrica/usina_termelétrica.html)  
Acesso em: 25/07/2017

ANEEL. 2017. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas ANEEL Parte 2 – Fontes Renováveis – Capítulo 3 – Energia Hidráulica** - Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf)  
Acesso em: 07/06/2017

ANEEL. 2017. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Capacidade de Operação do Brasil.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>  
Acesso em: 29/05/2017

ANP. 2017. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Mensal de Produção.** Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/boletins-anp/2395-boletim-mensal-da-producao-de-petroleo-e-gas-natural>  
Acesso em: 27/07/2017

BIG. 2017. **Banco de Informações de Geração – BIG** - Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Combustivel.cfm>  
Acesso em: 27/07/2017

BLUESOL. 2017. BlueSol Energia Solar. **Energia Solar no Mundo: O Sucesso e Uso da Geração Fotovoltaica.** Disponível em: <http://blog.bluesol.com.br/geracao-e-uso-da-energia-solar-no-mundo/>  
Acesso em: 06/06/2017

BOYLE, Godfrey. 1996. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future.**

CEMIG. 2017. **História da eletricidade no Brasil.** Disponível em: [http://www.cemig.com.br/pt-br/a\\_cemig/Nossa\\_Historia/Paginas/historia\\_da\\_eletricidade\\_no\\_brasil.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/historia_da_eletricidade_no_brasil.aspx)  
Acesso em: 29/05/2017

CMEB. 2017. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. **Linha do Tempo.** Disponível em: <http://memoriadaeletricidade.com.br/Default.asp?pagina=destaques/linha&menu=368&iEmpresa=Menu#368>  
Acesso em: 29/05/2017

DAROS, H. R. (2013). **Integração de Fontes de Energia Renovável.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre. Rio Grande do Sul.

DOS SANTOS, André Luiz Pereira. 2015. **O potencial hidráulico e ser aproveitamento nas usinas hidrelétricas**. Universidade Federal do Pará Instituto de Ciências Exatas e Naturais Faculdade de Física. Belém

ELETRONUCLEAR. 2016. Eletrobrás Eletronuclear. **Panorama da energia nuclear no mundo**. Espaço do conhecimento.

EPE. 2015. Empresa de Pesquisa Energética. **Apresentação do Programa de Investimento em Energia Elétrica (PIEE) 2015 – 2018** – EPE: Rio de Janeiro

EPE. 2016. Empresa de Pesquisa Energética. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** – EPE: Rio de Janeiro

EPE. 2016. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico da Energia Elétrica 2016 ano base 2015** – EPE: Rio de Janeiro

EPE. 2016. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2016: Ano base 2015** / EPE: Rio de Janeiro

EPE. 2017. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>  
Acesso em: 29/05/2017

EPE. 2017. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília

EPE. 2017. Empresa de Pesquisa Energética. **Boletim Trimestral de Energia Eólica – 13ª Edição** - Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Paginas/edi%C3%A7%C3%A3oBoletimTrimestraldeEnergiaE%C3%B3lica.aspx?CategoriaID=>  
Acesso em: 17/06/2017

FARIAS, Leonel M.; SELLITTO, Miguel A. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras**. Disponível em: [http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista\\_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20\(2011\)/1.%20Uso%20da%20energia%20ao%20longo%20da%20hist%F3ria.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20(2011)/1.%20Uso%20da%20energia%20ao%20longo%20da%20hist%F3ria.pdf)  
Acesso em: 29/05/2017

FARRET, F.A.; SIMÕES, M.G. **Integration of alternative sources of energy**. John Wiley & Sons Inc. EUA, 2006. ISBN: 978-0-471-71232-9.

FURNAS. 2017. Sistema FURNAS de geração e transmissão. **Usina termelétrica convencional** - Disponível em: [http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina\\_term\\_funciona.asp](http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina_term_funciona.asp)  
Acesso em: 07/06/2017

GLENWRIGHT, T. (2012). **Introduction to Microgrids**. Smart Grid. Disponível em: <http://www.smartgrid-live.com/wp-content/uploads/2012/12/Introductionto-Microgrids-by-Tristan-Glenwright.pdf> . Acesso em: 29/07/2017

GLOBO. O Globo. 2017. **Governo quer usar termelétrica ano todo** - Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/governo-quer-usar-termeletrica-ano-todo-21189891>  
Acesso em: 07/06/2017

LIMA, G. R. **Compensação ambiental de usinas hidrelétricas: Análise da gestão federal e propostas de aplicação** / Guilherme Rodrigues Lima. – Rio de Janeiro, 2015.

MARQUES, D. 2013. **Usinas de eletricidade.** - Disponível: <http://www.brasilecola.com/fisica/usinas-eletricidade.htm>  
Acesso em: 19/07/2017

MME. 2017. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia – 2024.** Brasil - Governo Federal.

MME. 2017. Ministério de Minas e Energia. **Matriz energética brasileira de 2016 terá mais participação das energias renováveis.** Disponível em: [http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/matriz-energetica-de-2016-tera-maior-participacao-das-energias-renovaveis](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/matriz-energetica-de-2016-tera-maior-participacao-das-energias-renovaveis)  
Acesso em: 29/05/2017

NEOENERGIA. 2017. **Matriz energética.** Disponível em: <http://www.neoenergia.com/Pages/O%20Setor%20El%C3%A9trico/MatrizEnergetica.aspx>  
Acesso em: 29/05/2017

NOS. 2017. Operador Nacional do Sistema. **Boletins Diários de Operação – ONS –** Disponíveis em: [http://www.ons.org.br/resultados\\_operacao/SDRO/Diario//](http://www.ons.org.br/resultados_operacao/SDRO/Diario//)  
Acesso em: 29/07/2017

ONS 2017. Operador Nacional do Sistema. **Histórico de Operação da Energia – Geração de Energia – ONS –** Disponível em: [http://www.ons.org.br/historico/geracao\\_energia.aspx](http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx)  
Acesso em: 29/07/2017

PIEE. 2017. Programa de Investimento em Energia Elétrica. **Programa de Investimento em Energia Elétrica.** Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/08/programa-de-investimento-em-energia-eletrica/view>  
Acesso em: 29/05/2017

PORTAL SÃO FRANCISCO. 2017. **História da eletricidade no Brasil.** Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/curiosidades/historia-da-eletricidade-no-brasil>  
Acesso em: 29/05/2017

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva.** Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-33002007000300003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003)  
Acesso em: 29/05/2017