

CADERNOS

**FGV ENERGIA**

DEZEMBRO 2015 | ANO 2 | Nº 4 | ISSN 2358-5277

# ENERGIAS RENOVÁVEIS COMPLEMENTARES





# ENERGIAS

## RENOVÁVEIS

## COMPLEMENTARES



---

#### **DIRETOR**

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

#### **EQUIPE TÉCNICA**

*Coordenação Editorial*

Lavinia Hollanda

Paulo César Fernandes da Cunha

*Autores*

Bruno Moreno R. de Freitas

Lavinia Hollanda

Renata Hamilton de Ruiz

#### **EQUIPE DE PRODUÇÃO**

*Coordenação Operacional*

Simone Corrêa Lecques de Magalhães

*Diagramação*

Bruno Masello e Carlos Quintanilha

[bruno@bmmaisdesign.com.br](mailto:bruno@bmmaisdesign.com.br)

---



#### PRIMEIRO PRESIDENTE FUNDADOR

Luiz Simões Lopes

#### PRESIDENTE

Carlos Ivan Simonsen Leal

#### VICE-PRESIDENTES

Sergio Franklin Quintella, Francisco Oswaldo Neves Dornelles e Marcos Cintra Cavalcanti de Albuquerque

#### CONSELHO DIRETOR

##### *Presidente*

Carlos Ivan Simonsen Leal

##### *Vice-Presidentes*

Sergio Franklin Quintella, Francisco Oswaldo Neves Dornelles e Marcos Cintra Cavalcanti de Albuquerque

##### *Vogais*

Armando Klabin, Carlos Alberto Pires de Carvalho e Albuquerque, Ernane Galvêas, José Luiz Miranda, Lindolpho de Carvalho Dias, Marcílio Marques Moreira e Roberto Paulo Cezar de Andrade

##### *Suplentes*

Antonio Monteiro de Castro Filho, Cristiano Buarque Franco Neto, Eduardo Baptista Vianna, Gilberto Duarte Prado, Jacob Palis Júnior, José Ermírio de Moraes Neto e Marcelo José Basílio de Souza Marinho.

#### CONSELHO CURADOR

##### *Presidente*

Carlos Alberto Lenz César Protásio

##### *Vice-Presidente*

João Alfredo Dias Lins (Klabin Irmãos e Cia)

*Vogais* - Alexandre Koch Torres de Assis, Angélica Moreira da Silva (Federação Brasileira de Bancos), Ary Oswaldo Mattos Filho (EDESP/FGV), Carlos Alberto Lenz Cesar Protásio, Carlos Moacyr Gomes de Almeida, Eduardo M. Krieger, Fernando Pinheiro e Fernando Bomfiglio (Souza Cruz S/A), Heitor Chagas de Oliveira, Jaques Wagner (Estado da Bahia), João Alfredo Dias Lins (Klabin Irmãos & Cia), Leonardo André Paixão (IRB – Brasil Resseguros S.A.), Luiz Chor (Chozil Engenharia Ltda.), Marcelo Serfaty, Marcio João de Andrade Fortes, Orlando dos Santos Marques (Publicis Brasil Comunicação Ltda.), Pedro Henrique Mariani Bittencourt

(Banco BBM S.A.), Raul Calfat (Votorantim Participações S.A.), Ronaldo Mendonça Vilela (Sindicato das Empresas de Seguros Privados, de Capitalização e de Resseguros no Estado do Rio de Janeiro e do Espírito Santo), Sandoval Carneiro Junior (DITV – Depto. Instituto de Tecnologia Vale) e Tarso Genro (Estado do Rio Grande do Sul).

*Suplentes* - Aldo Floris, José Carlos Schmidt Murta Ribeiro, Luiz Ildefonso Simões Lopes (Brookfield Brasil Ltda.), Luiz Roberto Nascimento Silva, Manoel Fernando Thompson Motta Filho, Roberto Castello Branco (Vale S.A.), Nilson Teixeira (Banco de Investimentos Crédit Suisse S.A.), Olavo Monteiro de Carvalho (Monteiro Aranha Participações S.A.), Patrick de Larragoiti Lucas (Sul América Companhia Nacional de Seguros), Rui Barreto (Café Solúvel Brasília S.A.), Sérgio Lins Andrade (Andrade Gutierrez S.A.) e Victório Carlos de Marchi (AMBEV).



#### DIRETORIA

Carlos Otavio de Vasconcellos Quintella

#### COORDENAÇÃO DE PESQUISA

Lavinia Hollanda

#### COORDENAÇÃO DE RELAÇÃO INSTITUCIONAL

Luiz Roberto Bezerra

#### COORDENAÇÃO DE ENSINO E P&D

Felipe Gonçalves

#### COORDENAÇÃO OPERACIONAL

Simone Corrêa Lecques de Magalhães

#### PESQUISADORES

Bruno Moreno R. de Freitas  
Camilo Poppe de Figueiredo Muñoz  
Mônica Coelho Varejão  
Rafael da Costa Nogueira  
Renata Hamilton de Ruiz

#### AUXILIAR ADMINISTRATIVA

Ana Paula Raymundo da Silva

#### CONSULTOR

Paulo César Fernandes da Cunha

PRAIA DE BOTAFOGO, 190, RIO DE JANEIRO – RJ – CEP 22250-900 OU CAIXA POSTAL 62.591 – CEP 22257-970 – TEL: (21) 3799-5498 – WWW.FGV.BR

Instituição de caráter técnico-científico, educativo e filantrópico, criada em 20 de dezembro de 1944 como pessoa jurídica de direito privado, tem por finalidade atuar, de forma ampla, em todas as matérias de caráter científico, com ênfase no campo das ciências sociais: administração, direito e economia, contribuindo para o desenvolvimento econômico-social do país.

# Energias Renováveis Complementares: Benefícios e Desafios

Luciano Freire

---

O potencial brasileiro para Energias Renováveis Complementares é gigantesco. Para a geração de energia elétrica fotovoltaica, seja centralizada ou distribuída, temos excelentes índices de irradiação solar, do Oiapoque ao Chuí, de leste a oeste, com maior intensidade em toda a região do semiárido nordestino. Nossos ventos são diferenciados: constantes, unidirecionais e proporcionam elevados fatores de produtividade, bem superiores àqueles encontrados na Europa. É enorme o potencial de geração de energia associado à biomassa de cana de açúcar, reflorestamentos e resíduos de madeira e, são milhares os pequenos aproveitamentos hidrelétricos espalhados por todo o território nacional.

Não bastasse a abundância, essas fontes são altamente complementares em diversas formas de sazonalidade. Na região Sudeste por

exemplo, no período seco, em que a produção hidrelétrica é reduzida, ocorre a colheita da cana de açúcar e, portanto, uma intensa produção de energia elétrica advinda da queima do bagaço. Também complementar ao período seco no Sudeste é a produção de energia eólica no Nordeste, época de maior intensidade de vento nesta região. Na sazonalidade diária, é comum encontrar regiões onde a velocidade do vento é maior durante à noite com perfeita associação diurna com a geração solar fotovoltaica. Existem várias outras formas de complementariedade que, separadamente ou combinadas, dão, ao mesmo tempo, flexibilidade e constância na produção de energia.

Para alavancar e colorir de realismo sustentável todos esses benefícios tem-se pela frente enormes desafios: desde o desenvolvimento

---

---

tecnológico, passando pela quebra de paradigmas na operação das redes elétricas de transmissão e distribuição, chegando até a uma nova regulação.

O avanço das fontes renováveis de energia, mais do que inevitável, é desejável, dados os inúmeros benefícios agregados que podem ser sintetizados no desenvolvimento sustentável, onde se obtém o equilíbrio do crescimento socioeconômico com a preservação do meio ambiente para as gerações atual e futura. É uma jornada que

envolve toda a sociedade: governo, instituições, setores da economia e cidadãos.

Nesse contexto, a FGV Energia tomou a iniciativa de reunir diversas perspectivas sobre o tema, iniciando com conceituações importantes para o entendimento da problemática, passando pelo panorama mundial e brasileiro e chegando aos dilemas percebidos no setor. Tal iniciativa contribuirá para iniciar o debate com o intuito de solucionar tais dilemas, prever novos desafios e buscar a robustez de nosso modelo do setor elétrico.

---

**Luciano Freire** – Diretor de Engenharia da QG Energia. Foi conselheiro da CCEE, atua no setor elétrico a mais de 25 anos em distribuição, geração e comercialização de energia. É engenheiro eletricista formado pela PUC – MG e mestre em automação pela UNICAMP



# Agradecimentos

---

Agradecemos a colaboração recebida de diversos profissionais do setor elétrico brasileiro. O apoio dos que nos disponibilizaram seu tempo para entrevistas, compartilhando experiências, suas visões sobre os desafios e as problemáticas do setor tornaram possível este trabalho. Em nome da FGV Energia agradecemos a Adriano Pires, Amilcar Guerreiro, Elbia Gannoum, Ivo Pugnaroni, Leontina Pinto, Luciano Freire, Mathias Becker, Maurício Imoto, Nelson Rocha, Renato Volponi e Rodrigo Sawaia e outros profissionais que também contribuíram para o projeto.

Também expressamos nossa gratidão aos nossos colegas da FGV Energia. O espírito de colaboração temperado pelos questionamentos e divergências são a base para uma perspectiva mais ampla e multidisciplinar sobre o setor.

---

BRUNO MORENO R. DE FREITAS

Pesquisador FGV Energia

LAVINIA HOLLANDA

Coordenadora de Pesquisa FGV Energia

PAULO CÉSAR FERNANDES DA CUNHA

Consultor Sênior FGV Energia

RENATA H. RUIZ

Pesquisador FGV Energia

---

# Índice

---

08

SUMÁRIO EXECUTIVO

13

CONCEITOS INICIAIS

---

25

PANORAMA PARA  
ERC COMERCIAIS

---

41

DILEMAS DA EXPANSÃO

---

50

DILEMAS DA OPERAÇÃO

---

55

DILEMAS DO MODELO DE NEGÓCIOS

---

58

CONCLUSÃO E  
CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

59

LISTA DE SIGLAS

---

60

BIBLIOGRAFIA

---

# Sumário Executivo

---

- A eletricidade se tornou essencial para as atividades da sociedade moderna. Praticamente, toda atividade que realizamos envolve eletricidade - ou alguma forma de energia. No entanto, desde a geração até o seu consumo, toda a cadeia de produção da energia elétrica causa importantes impactos ambientais, e também sociais e econômicos. A magnitude de tais externalidades vão depender das tecnologias que estamos utilizando para gerar energia elétrica.
  - Desde o momento que a matriz elétrica é planejada, a partir da definição do percentual de cada fonte no *mix* energético, outras possíveis matrizes estão sendo renunciadas, com os respectivos custos de oportunidade. A matriz elétrica escolhida deve, portanto, apresentar o melhor retorno possível – não somente financeiro e econômico, mas considerando também os aspectos social e ambiental –, dentro de uma limitada cadeia de opções.
  - A escolha pela inserção de fontes alternativas aponta para uma matriz de menor impacto socioambiental, tendo, porém, uma repercussão também econômica. Fontes alternativas, como eólica, solar, biomassa e PCH são reconhecidamente capazes de reduzir a emissão de gases do efeito estufa – GEE, bem como evitar a remoção de populações e impactos no uso do solo. No entanto, os custos mais elevados que essas fontes ainda apresentam em relação às fontes convencionais, o aumento da complexidade da operação e os eventuais custos de transação associados à necessidade de mudanças nos atuais modelos regulatório e de negócios do setor trazem importantes desafios a serem superados.
-

- 
- A matriz elétrica brasileira é reconhecidamente renovável, por ter sido construída com base principalmente em geração hidráulica. Com o passar dos anos, fontes térmicas fósseis e nuclear foram introduzidas na matriz, levando a uma matriz hidrotérmica, com despacho majoritário e na base da fonte hidráulica e despacho complementar térmico. Com a disseminação de conceitos relativos à sustentabilidade, inclusos na agenda política de diversos países – e também devido às dificuldades hídricas enfrentadas nos últimos anos –, a matriz elétrica brasileira passa por necessidade de renovação e diversificação. Nesse cenário, torna-se ainda mais relevante a discussão sobre possíveis impactos e dilemas decorrentes de uma inexorável transformação do *mix* elétrico brasileiro.
  - A partir desse cenário, a **FGV Energia** traz mais uma publicação: o Caderno FGV Energia de Energias Renováveis Complementares - ERC. O objetivo do Caderno é trazer uma visão sobre o tema, observando possíveis impactos que a inserção das ERC pode causar na matriz e no sistema, promovendo discussões relativas ao tema. No primeiro capítulo, faremos a apresentação de alguns conceitos, bem como uma breve descrição das tecnologias que compõem essas novas fontes. No segundo capítulo, traremos o panorama mundial e brasileiro, relatando o estágio atual de inserção nos principais mercados mundiais. No terceiro e último capítulo, trataremos alguns dilemas que precisarão ser discutidos e enfrentados para que alcancemos um *mix* energético sustentável.
-



# Conceitos Iniciais

---

As chamadas **fontes convencionais**<sup>1</sup> de energia já apresentam um grau de competitividade bastante alto, devido aos avanços tecnológicos iniciados no passado. Porém, em função de discussões relacionadas, principalmente, a questões ambientais e a independência e segurança energéticas, novas tecnologias foram desenvolvidas com o intuito de fornecer energia elétrica - as **fontes alternativas** de energia. Dentre essas tecnologias, todas apresentam uma característica em comum: utilizam uma fonte de **energia primária**<sup>2</sup> considerada renovável. A renovabilidade dessas fontes se dá por apresentarem ciclos contínuos, que se repetirão em espaços de tempo relativamente curtos - ao contrário dos combustíveis fósseis, utilizados na geração convencional, que apresentam um ciclo de formação de milhões de anos e estão presentes na natureza em quantidade limitada.

---

Algumas das fontes renováveis para a geração de energia elétrica já existem em escala comercial, como a eólica, solar fotovoltaica, a térmica a biomassa e, principalmente, a hidráulica. As hidráulicas de grande porte geralmente apresentam reservatórios de regularização, sendo chamadas de hidrelétricas controláveis. Novos arranjos

de hidrelétricas de grande porte estão sendo concebidos sem reservatório de regularização (a fio d'água), com o intuito de reduzir as áreas alagadas e os impactos ambientais do empreendimento. Algumas hidráulicas de porte menor e com baixo impacto ambiental podem ser classificadas como Pequenas Centrais Hidrelétricas

---

1. Nessa publicação, serão consideradas fontes de energia convencionais as térmicas a combustíveis fósseis e nuclear e hidrelétricas de grande porte.

2. Energia primária é toda a forma de energia disponível na natureza antes de ser convertida ou transformada.

– PCH, de acordo com algumas especificações regulatórias que serão relatadas mais adiante. Dentro do **conceito de fontes renováveis que trataremos nesse documento, as chamadas Energias Renováveis Complementares (ERC), incluem-se apenas as PCH.**

As fontes renováveis possuem uma característica intrínseca e comum: todas apresentam **variabilidade**<sup>3</sup> na disponibilidade do recurso energético. A variabilidade é definida como a flutuação na entrega de potência ou energia que uma fonte apresenta, em função da disponibilidade do recurso energético - que pode variar em função do clima, da localização da planta e do período do ano (ou mesmo do dia). As fontes eólica e fotovoltaica podem sofrer uma queda repentina na entrega de potência, devido a uma diminuição da intensidade do recurso energético. Por isso, essas fontes são consideradas ERC de alta variabilidade. No caso da PCH e biomassa, a disponibilidade do recurso energético é mais constante, pelo menos durante uma época do ano - durante o período úmido, no caso de PCH, e nas safras, para o caso da biomassa -, sendo, então, consideradas ERC de baixa variabilidade.

Outro aspecto relacionada à geração renovável é a **despachabilidade**. Uma tecnologia é despachável quando pode ser acionada no momento em que o operador do sistema requisitar. No

caso das ERC, estas não são consideradas despacháveis, pois só entram em operação quando há disponibilidade do recurso energético que aciona a planta de geração<sup>4</sup>. Dentro do conceito de fonte despachável também se encontra o de **flexibilidade** de uma tecnologia. Tal conceito se dá de duas formas: (i) sob o ponto de vista técnico, ocorre por uma fonte alcançar um ótimo operacional rapidamente (alguns minutos), podendo ser acionada e desligada/reduzida diversas vezes dentro de um curto espaço de tempo; ou (ii) sob o ponto de vista econômico-financeiro, por cláusulas contratuais do fornecimento do combustível. Ou seja, fontes flexíveis podem ser utilizadas para uma melhor otimização do despacho para o atendimento de carga. **As fontes renováveis alternativas são consideradas variáveis e não despacháveis e, por isso, não apresentam grau de flexibilidade**<sup>5</sup>. Dessa maneira, estas fontes em geral atuam como fontes complementares às fontes convencionais, que são despachadas na base da carga – daí o termo ERC.

Há diversas maneiras de diminuir a variabilidade das ERC. Uma delas seria através do armazenamento de energia, que será mais detalhado a seguir. No entanto, as tecnologias de armazenamento ainda não apresentam viabilidade econômica. O desenvolvimento de tais tecnologias é hoje um importante desafio da indústria das fontes renováveis de energia. Por outro lado, os ní-

3. Para o caso de térmicas a biomassa florestal, dependendo do projeto, há a possibilidade dessas promoverem uma energia firme ao sistema.

4. São consideradas usinas despacháveis as hidrelétricas controláveis, térmicas fósseis e nuclear.

5. Térmicas a biomassa florestal, dependendo do projeto, podem apresentar despachabilidade.

veis de emissão de GEE da geração por ERC são significativamente menores do que os de fontes térmicas convencionais, e geram menos resíduos, e por isso são tecnologias de **baixo impacto am-**

**biental**. Além disso, o uso desses recursos é uma vantagem também do ponto de vista estratégico, pois **reduzem a dependência externa de combustíveis<sup>6</sup>** para a geração de eletricidade.

## TECNOLOGIAS DE ERC



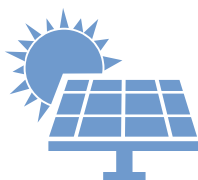
### PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCH)

As PCH não possuem grandes reservatórios e, por isso, sua geração varia em função do período de chuvas. Sua produtividade depende da vazão disponível e da altura de queda d'água – portanto, os locais mais favoráveis à instalação dessas usinas são rios com grandes declives. Sua grande vantagem é a maior simplicidade nas etapas de concepção e implantação do projeto e na operação. Por definição regulatória, no Brasil, a potência instalada das PCH varia entre 3 e 30 MW e seus reservatórios possuem áreas menores do que 13 km<sup>2</sup>, excluindo a calha do leito regular do rio.



### ENERGIA EÓLICA

A tecnologia eólica consiste em turbinas que convertem a energia cinética do vento em eletricidade. A energia eólica somente está disponível quando a velocidade do vento se encontra entre determinados níveis mínimo e máximo, e a geração flutua em função dessa velocidade. É uma fonte de baixíssimo custo operacional, próximo a zero, o que significa que deve receber prioridade de despacho pelo operador do sistema sempre que estiver disponível. Sua baixa previsibilidade e alta variabilidade, porém, aumentam a incerteza de geração. Parques eólicos instalados dispersamente tendem a ter menores riscos de variabilidade do que um único parque. Dessa forma, países onde o potencial eólico está disperso têm maiores vantagens ao explorar essa fonte do que países com um potencial limitado geograficamente. Desenvolvimento tecnológico nas últimas duas décadas têm melhorado o desempenho dessa fonte e a confiabilidade dos equipamentos, fazendo com que o custo de instalação venha caindo consideravelmente, já sendo competitivo com relação a fontes convencionais em locais onde as condições de vento são favoráveis.



### ENERGIA SOLAR

A energia solar é a mais abundante fonte de energia no planeta e pode ser aproveitada através de dois tipos diferentes de usinas: (i) fotovoltaica, que consiste em painéis fotovoltaicos instalados em uma área relativamente grande, geralmente feitos de silício, capazes de converter a irradiação solar diretamente em eletricidade; e (ii) heliotérmica, voltada para a geração de eletricidade através do aquecimento de um fluido e funcionará de maneira semelhante à uma termelétrica convencional. Dessas duas, a tecnologia que tem se mostrado mais competitiva é a fotovoltaica. No mercado mundial, o custo dos módulos solares apresentou uma redução de 5 vezes nos últimos 6 anos e sua expansão está sendo mais rápida do que o esperado. Apesar da queda dos preços, essa fonte ainda necessita de mecanismos de incentivo para atingir níveis competitivos. Seu custo operacional, porém, assim como o da energia eólica, é próximo de zero, portanto essa fonte deve sempre receber prioridade de despacho quando disponível. A energia solar também tem alta variabilidade, variando com o nível de radiação direta do sol, que muda em função do dia do ano e do local e também com condições instantâneas, como a presença de nuvens.

CONTINUA ►

6. Pereira, Camacho, Freitas, & Silva, 2012.

## TECNOLOGIAS DE ERC



### TÉRMICAS A BIOMASSA

As principais vantagens da biomassa com relação a combustíveis fósseis estão na baixa quantidade de elementos tóxicos e no fato de a biomassa ter emissões de GEE neutras. Enquanto a biomassa está sendo cultivada, está ocorrendo o armazenamento de carbono da atmosfera, devido ao processo de fotossíntese. Quando há a combustão da biomassa, o mesmo carbono armazenado é liberado novamente, fazendo com que esse ciclo tenha emissões de GEE neutras. A eficiência dessa fonte é bem variável, pois a composição da biomassa depende das condições de crescimento da matéria-prima. A biomassa possui, em geral, uma baixa densidade energética se comparada a combustíveis fósseis. Essa desvantagem técnica, porém, é compensada pelos ganhos ambientais que essa fonte apresenta. No entanto, o cultivo da biomassa para uso energético é discutível, devido ao embate com a indústria agrícola e alimentícia. Assim, a tendência é que haja um uso de biomassa energética oriunda de subprodutos de outros processos industriais, como é o caso do etanol e açúcar, através do bagaço de cana-de-açúcar.

## ARMAZENAMENTO

Como descrito anteriormente, uma das maiores desvantagens das ERC é o fato de não garantir o fornecimento contínuo de energia ao sistema, por causa da variabilidade de disponibilidade dos recursos energéticos renováveis. Apesar de todas as suas vantagens relacionadas a questões ambientais, independência energética e utilização de um recurso energético de baixo custo, a variabilidade dessas fontes pode causar impactos indesejáveis na operação de um sistema com alta inserção de ERC.

Um dos fatores que pode reduzir esses impactos no sistema é o **armazenamento de energia**. Sob o ponto de vista de um sistema **centralizado**, a forma mais comum de se armazenar energia - e que

apresenta o menor custo - é através de reservatórios de hidrelétricas convencionais. Dependendo da concepção, o volume útil de tais reservatórios pode ser projetado para ter regularização plurianual, o que garante boa disponibilidade de energia hidráulica ao longo do ano operacional.

Outras tecnologias podem ser usadas para armazenamento, porém em menor escala e para pequenos intervalos temporais<sup>7</sup>. Estas têm a incumbência de moldar a carga de energia à curva de demanda instantânea, porém ainda não são utilizadas em grande escala no mundo.

Por outro lado, em um **sistema distribuído** - em que a geração de energia elétrica também estará nas residências, centros comerciais e indústrias, e não só em centrais geradoras despachadas

7. Dentre as tecnologias de armazenamento para pequenos intervalos temporais, a que mais se destaca são as Usinas Hidrelétricas Reversíveis (Pumped Hydro), que possuem dois reservatórios (um superior e um inferior), usados para regularização diária. As demais tecnologias de armazenamento são principalmente baterias de diversos tipos e outras ainda em fase experimental.

por um operador central - o armazenamento de energia pode representar uma mudança de paradigma no setor elétrico. Por apresentarem caráter modular, as ERC (principalmente a solar fotovoltaica) têm grande potencial para ser uma alternativa de geração na própria unidade consumidora, próxima ao centro de carga, sem incorrer nos custos de transmissão de energia. No entanto, a geração distribuída ainda não conseguiu se estabelecer

plenamente, muito pelos altos custos das tecnologias de armazenamento distribuído, fazendo com que unidade consumidora/geradora ainda dependam da geração centralizada. **Novas e promissoras tecnologias estão surgindo no mercado, apresentando um potencial interessante de redução de custos e que podem promover uma intensa reorganização do setor elétrico no mundo, como é o caso das baterias Tesla.**

## Tecnologia de Armazenamento Distribuído

As baterias químicas costumam ser mais utilizadas para armazenamento em pequena escala. A empresa americana Tesla Motors começou a investir pesadamente em baterias de íon-lítio altamente eficientes, com o intuito inicial de armazenar eletricidade em motores de carros elétricos. **No entanto, a nova tecnologia também poderá ser utilizada em residências, para armazenar a energia de forma distribuída.** A expectativa é que esse dispositivo permita que unidades produtoras de ERC possam armazená-la nos períodos de menor consumo e, assim, possam se desconectar totalmente das redes de distribuição – o que significaria uma importante ruptura tecnológica no atual modelo de setor elétrico, além de ser uma ótima solução para locais remotos.

Dentre os diferentes tipos de baterias, a bateria de íon-lítio apresentou o maior declínio de custo, passando de US\$2.000/kWh em 2009 para aproximadamente US\$350/kWh. Uma bateria recarregável de íon-lítio com capacidade de 7 kWh custa hoje em torno de US\$ 3.000, enquanto o modelo com capacidade de 10 kWh (suficientes para abastecer uma casa de 4 pessoas por cerca de 5 horas) custa US\$ 3.500. A tendência é que esse preço caia ainda mais após a inauguração da *Gigafactory*, prevista para 2017. Essa fábrica da Tesla, em parceria com a Panasonic, recebeu um investimento de US\$ 5 bilhões e estima aumentar a capacidade de armazenamento total desse tipo de tecnologia em 35 GWh até 2020.

CONTINUA ►

FIGURA 1: BATERIA POWERWALL DA TESLA MOTORS

**Powerwall 10 kWh**

Bateria recarregável de íons de lítio com controle de temperatura por líquido.

**Armazenamento**

10 kWh. Suficiente para abastecer uma casa de 4 pessoas por cerca de 5h.

**Abastecimento contínuo**

2 kW, com picos de até 3,3 kW

**Voltagem**

350-450 volts

**Modularidade**

Até 9 unidades podem ser acopladas entre si, para obter 90 kWh

**Garantia**

10 anos

**Preço**

US\$ 3.500

A integração do setor de transporte com o elétrico também é ponderada em um cenário de médio e longo prazo. A promoção de veículos híbridos e elétricos é pensada como o futuro do deslocamento, seja para transporte público ou para individual. Espera-se<sup>8</sup> que novas tecnologias, como carros híbridos e elétricos, tornem-se cada vez mais acessíveis, e representem 60% da frota nacional no ano de 2050, que chegará a 130 milhões de veículos. Carros elétricos vão demandar uma infraestrutura específica para abastecimento e representarão um consumo de energia ainda não quantificado.

O armazenamento de energia nos veículos elétricos poderá apresentar uma dupla função: (i) armazenar energia para o transporte, propriamente; (ii) armazenar energia para outros usos, até mesmo para injeção na rede, durante determinados momentos. Cabe ressaltar que, para garantir que os carros elétricos representem um impacto menor ao meio ambiente do que os carros movidos a combustão interna, é preciso que a matriz elétrica seja limpa e que não dependa muito de combustíveis fósseis.

## A INSERÇÃO DAS ERC

O crescimento das ERC se iniciou durante os anos 90 e acelerou intensamente nos anos 2000.

Em 2011, a indústria de ERC já movimentava USD 260 bilhões anualmente. Estudo<sup>9</sup> da *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN21) aponta que os principais motivos para tal cenário foram:

- a proliferação de políticas de incentivos governamentais;
- o aumento dos custos da energia convencional;
- a redução expressiva nos custos das tecnologias de ERC; e
- economias de escala nos processos produtivos.

A inserção de ERC nas matrizes elétricas dos diversos países se deu a partir da superação de vários obstáculos. De modo geral, não há um único fator que, de forma isolada, tenha impactado positivamente e de forma significativa na integração das ERC em um país. Ao contrário, é a associação de diversas ações, sob diferentes aspectos - político, financeiro, fiscal, regulatório, tecnológico e ambiental<sup>10</sup>, que determina a extensão em que uma tecnologia renovável pode ser explorada.

## ASPECTO POLÍTICO E REGULATÓRIO

Historicamente, a promoção de tecnologias baseadas em ERC tem ocorrido a partir de

8. EPE, 2014

9. REN 21 – Renewable Global Future Report, 2013

10. Abdmouleh, Alammari, & Gastli, 2015.

## Além da definição de objetivos de Política Energética associados à maior inserção das ERC, é necessário suavizar as questões regulatórias, definindo regras claras ao mercado

---

diretrizes estabelecidas pelos governantes de um país em sua Política Energética. Muitos assumiram, por exemplo, a inserção de ERC em suas matrizes através de metas de redução de emissão de GEE ou relacionadas ao desenvolvimento sustentável. Outros, por questões geopolíticas, com o objetivo de alcançar independência da importação de combustíveis para a geração elétrica.

Porém, para que se tenha um desenvolvimento expressivo dessas fontes, além da definição de objetivos de Política Energética associados à maior inserção das ERC, é necessário suavizar as questões regulatórias, definindo regras claras ao mercado. Com isso, diminuem-se os riscos associados aos projetos, atraindo a participação de diferentes *players*.

O interesse político na disseminação das ERC também favorece a introdução de mecanismos de incentivos financeiros, de forma a viabilizar projetos cujos custos ainda não são competitivos, mas que são considerados de interesse para o país em razão de sua Política Energética.

Como forma de reduzir o risco dos investimentos, a existência de instrumentos regulatórios é importante para estimular o mercado de ERC. Tais instrumentos podem ser implementados através de diferentes mecanismos, que podem ser classificados de modo geral em duas categorias: (i) mecanismos de compra de energia; e (ii) mecanismos de acesso à rede de conexão. Nos mecanismos de compra de energia, os arranjos garantem que haverá mercado para aquisição da energia de determinada fonte. Já para os mecanismos de acesso à rede de conexão, a regulação permite que haja acesso do sistema de geração à rede, garantindo o escoamento da energia gerada pelo sistema vigente.

### ASPECTOS FINANCEIROS E FISCAIS

Os projetos de ERC não só apresentam um alto investimento inicial comparados com as fontes convencionais, mas também são, em alguns casos, considerados de alto risco devido ao caráter inovador da tecnologia e à incerteza da disponibilidade de recursos. Ainda, ERC são comu-

## Alternativas Regulatórias para estímulo às ERC

**Feed-in-Tariffs (FiT):** São arranjos de compra de energia com preços fixos para eletricidade gerada por ERC, com contratos de longo prazo (15-20 anos) e a obrigação de compra dessa energia pelas concessionárias de distribuição. Tais preços são pré-estabelecidos pelo governo, geralmente acima dos preços de energia de outras fontes convencionais e variam de acordo com a fonte de ERC.

**Leilões de Energia:** Ocorrem para viabilizar a contratação de uma quantia de energia pré-determinada sob um PPA<sup>11</sup> de longo prazo (15-30 anos). A competição no leilão pode ser intrafontes (no caso de leilões específicos para cada fonte) ou interfontes (quando há mais de uma fonte em um mesmo leilão). O sistema de leilões encoraja a competição intrafontes, fazendo com que os melhores projetos de cada tecnologia sejam vencedores do leilão, o que resulta em redução de custos significativo para diversas tecnologias. Por outro lado, no caso de leilões com a participação de diferentes fontes, é possível que os projetos de ERC não sejam competitivos com outras tecnologias. Comparado com FiT, no entanto, os leilões tendem a oferecer menos garantias para os desenvolvedores, muito pelo fato de haver frequência incerta de ocorrência e longos períodos entre os leilões.

**Renewable Portfolio Standard (RPS):** É um mandato regulatório que exige que as empresas fornecedoras ou grupo de consumidores de energia produzam ou utilizem uma determinada fração de sua eletricidade a partir de ERC.

**Green Pricing Schemes:** Consiste no pagamento de um prêmio voluntário pelos consumidores para apoiar a geração de energia elétrica de ERC.

**Certificados Verdes:** É um certificado obtido para garantir a geração de uma unidade de energia a partir de ERC, geralmente, 1 MWh de eletricidade. Tais certificados podem ser acumulados para atingir o RPS e também promovem uma ferramenta para comercialização entre consumidores e geradores.



mente tecnologias de escala menor e seu maior potencial está justamente em projetos de menor porte – e, muitas vezes, descentralizados. Nesse contexto, o papel do governo tem se mostrado fundamental nos estágios iniciais do desenvolvimento tecnológico, e também na disseminação das tecnologias em escala comercial.

Estruturas e condições podem ser criadas para encorajar investimentos iniciais por entidades financeiras em tecnologias específicas. Pelo

lado financeiro, alguns tipos de incentivos podem ser criados, como o financiamento com taxas e condições atrativas, desde que a fonte seja de Caráter renovável. Outros tipos seriam a garantia de mercado com preços de compra que viabilizem os projetos. Já pelo lado fiscal, incentivos poderiam ser utilizados de duas maneiras: (i) isenção/redução para ERC as quais causam baixo impacto socioambiental; e/ou (ii) sobretaxação da geração convencional por tais externalidades.

## ASPECTO TECNOLÓGICO

Nos estágios iniciais de desenvolvimento, as ERC necessitam superar barreiras tecnológicas e econômicas, o que pode ser acelerado através de **programas de incentivos e financiamento do setor público à P&D**. Esses programas ajudam a reduzir custos de capital e operacional, melhorar a eficiência dessas tecnologias e aumentar sua confiabilidade. Avanços nas tecnologias de armazenamento e o aumento da inteligência dos sistemas elétricos no mundo permitem que uma maior penetração de renováveis seja feita sem prejudicar a segurança energética. Na medida em que amadurecem, as tecnologias trazem opções inovadoras para a política, regulamentação e mercado.

## ASPECTO AMBIENTAL

A qualidade do ar está sendo afetada em diversos países devido ao aumento do consumo de energia, principalmente através de combustíveis fósseis. Na verdade, 84% do total de emissões de

CO<sub>2</sub> e 64% das emissões de GEE mundiais são provenientes do setor de energia<sup>12</sup>. Por isso, as preocupações ambientais estão ganhando cada vez mais destaque no cenário internacional. Com a difusão do conceito de Pegada de Carbono<sup>13</sup> nos anos 90, a pressão ambiental está sendo realizada em países que apresentam grandes quantidades de emissão de carbono, resultado da geração de energia proveniente de térmicas a carvão, óleo combustível e gás natural.

As ERC estão sendo inseridas nas matrizes de diversos países. As tecnologias estão sendo cada vez mais aperfeiçoadas, impactando na eficiência das plantas de geração e na confiabilidade, bem como nos custos da energia. Para a inserção dessas novas tecnologias, diversos aspectos, igualmente importantes, devem ser observados, com o intuito de fazer com que tal inserção seja eficiente. Diversos países já apresentam altos índices de participação de renováveis, diminuindo as emissões e diversificando suas matrizes. O Brasil também está se posicionando com a contratação anual de milhares de mega-watts de ERC.

---

12. Abdmouleh, Alammari, & Gastli, 2015.

13. Pegada de carbono mede a quantidade total das emissões de gases do efeito estufa causadas diretamente e indiretamente por uma pessoa, organização, evento ou produto.



# Panorama para ERC Comerciais

---

A maioria dos países tem homologado políticas para regulamentar e promover as fontes renováveis no setor elétrico, influenciadas pela necessidade de mitigação das mudanças climáticas, redução da importação de combustíveis fósseis, desenvolvimento de sistemas elétricos mais resilientes e flexíveis e criação de oportunidades econômicas. Até 2014, o mundo já tinha instalado mais de 700 GW de capacidade em fontes renováveis.

---

## UNIÃO EUROPEIA

Motivada, principalmente, por questões socioambientais e do clima, a União Europeia compreendeu a necessidade de formular uma estratégia eficaz de alterar a matriz energética dos estados membros desde a década de 80. Diversas políticas foram criadas gradualmente

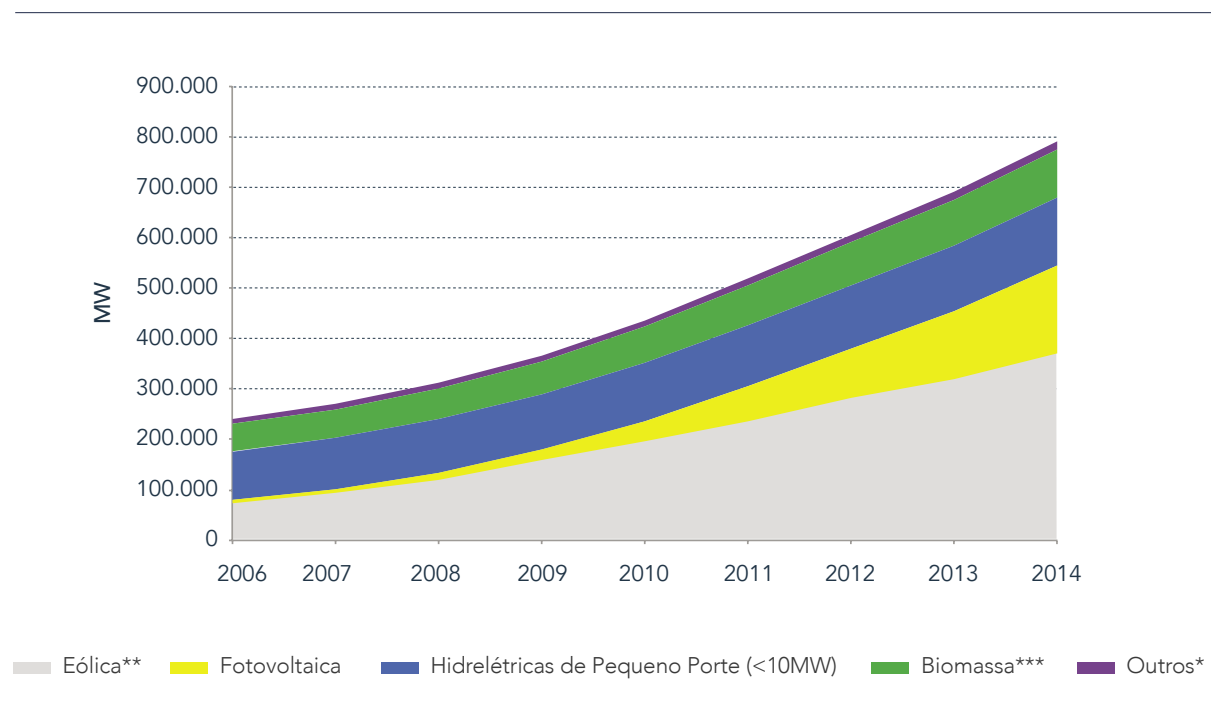
até os dias de hoje a fim de inserir a participação da geração de ERC na UE, abordando a regulação, aspectos tecnológicos e incentivos financeiros. Hoje, ainda motivada pela sua política 20-20-20 em 2020<sup>14</sup>, alguns estados membros da UE se destacam em relação à capacidade instalada de tecnologias ERC, como a Alemanha<sup>15</sup>.

---

14. Meta de redução de 20% de emissões de GEE a níveis de 1990, aumento para 20% da participação do consumo de energia a partir de fontes renováveis e aumento de 20% da eficiência energética em 2020.

15. Ernst & Young, 2015.

GRÁFICO 1: CAPACIDADE INSTALADA DE RENOVÁVEIS SELECIONADAS NO MUNDO, 2006-2014 (MW)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de IRENA, 2015

\*Outros – Maremotriz+Geotérmica+Heliotérmica

\*\*Eólica – Onshore+Offshore

\*\*\*Biomassa – Biomassa Sólida+Resíduos Renováveis+Biogás+Biocombustíveis

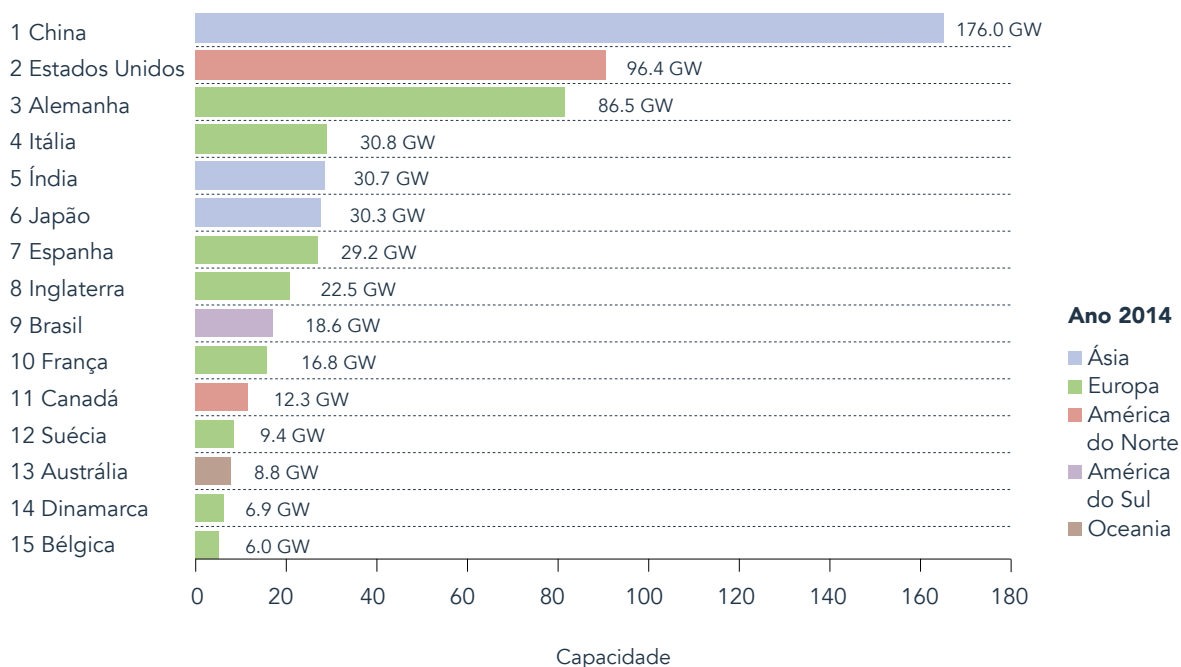
## ESTADOS UNIDOS

Devido à maior autonomia, diversas iniciativas foram adotadas pelos diferentes estados a fim de responder ao crescimento do interesse popular por uma matriz elétrica renova-

da e menos intensiva em carbono. De modo geral, a implementação dessas políticas de incentivo é motivada pelos pilares de diversificação, descarbonização e descentralização<sup>16</sup>, conjuntamente com planos de redução da dependência da importação de combus-

16. Carley, 2009.

GRÁFICO 2: CAPACIDADE INSTALADA DE ERC POR PAÍS ATÉ 2014



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de IRENA, 2015

\*Pequenas Hidrelétricas + Eólica (Terra e Mar) + Biomassa (Sólida e Gás) + Fotovoltaica

tíveis e aumento da segurança energética. Com o plano denominado *New Energy for America*<sup>17</sup> pela primeira vez nos EUA houve um posicionamento na esfera federal para incentivar ERC, outrora praticamente inexistente. No entanto, os movimentos divergentes de cada estado tornam difícil a mensuração

dos resultados das políticas em escala nacional. Apesar disso, os EUA são tidos como um dos mercados mais atrativos em ERC. Neste ano (2015), os EUA assumiram um compromisso de metas de participação de ERC, conjuntamente com o Brasil, de pelo menos 20% até 2030.

17. Plano liderado por Barack Obama e Joe Biden para se investir em fontes renováveis com o intuito de reduzir a dependência de petróleo, mitigar a crise climática global e criar empregos para os americanos.

TABELA 1: RANKING RENEWABLE ENERGY COUNTRY ATTRACTIVENESS INDEX (RECAI) DE ATRATIVIDADE DE MERCADOS DE ERC

Posição	Posição Anterior	Mercado	Índice RECAI	Posição Específica por Tecnologia							
				Eólica em Terra	Eólica em Mar	Foto-voltaica	Helio-térmica	Biomassa	Geo-térmica	Hidráulica	Marítima
1	(1)	China	75,8	1	2	1	3	1	13	1	16
2	(2)	EUA	73,4	2	8	2	1	2	1	3	9
3	(3)	Alemanha	66,5	3	3	5	27	8	8	10	27
4	(5)	Índia	64,1	5	16	4	5	15	14	6	11
5	(4)	Japão	63,0	14	9	3	26	3	3	4	10
6	(6)	Canadá	60,4	4	12	11	23	13	18	5	6
7	(7)	França	59,0	9	7	7	27	9	15	15	5
8	(8)	Reino Unido	58,2	11	1	13	27	5	20	25	2
9	(9)	Brasil	57,0	6	25	10	8	4	32	2	24
10	(10)	Austrália	56,2	19	19	9	9	20	11	24	12
11	(11)	Chile	55,6	25	22	6	2	21	10	17	14
12	(13)	Holanda	54,3	12	4	23	27	10	24	32	30
13	(15)	África do Sul	54,0	18	28	8	4	33	35	18	19
14	(14)	Bélgica	53,6	26	5	19	27	11	21	29	31
15	(12)	Coréia do Sul	52,3	23	14	12	24	12	28	16	3
16	(16)	Itália	52,1	24	21	15	11	14	7	14	23
17	(18)	Turquia	52,0	10	24	26	14	34	6	9	20
18	(17)	Dinamarca	51,8	13	6	32	27	16	35	36	17
19	(20)	Suécia	51,4	8	11	36	27	7	26	12	13
20	(22)	México	50,6	17	30	16	18	31	9	30	21

Fonte: Ernst & Young, 2015

## ÁSIA

Os mercados que mais despontam no avanço das ERC na Ásia são a China, Índia e Japão. A China, após a promulgação da Lei de Energias Renováveis em 2005, alcançou crescimento expressivo na oferta de ERC, sendo hoje o maior mercado mundial, com aproximadamente 180 GW instalados. Sua matriz elétrica, no entanto, permanece predominantemente termelétrica, com uma inserção de carvão bem representativa. Motivada pela diversificação de sua matriz e pela redução da emissão local de gases poluentes, os quais têm grande impacto na saúde pública, a China visa aumentar cada vez mais a participação renovável em sua matriz.

Na Índia, também houve um aumento significativo na participação de ERC em sua matriz elétrica, e o país representa um dos maiores mercados mundiais, com grande atratividade. Em 2008, o governo federal lançou o Plano Nacional de Ação sobre Mudanças Climáticas (NAPCC), que consistia em 8 missões-núcleo, sendo uma delas a Missão Nacional Solar Jawaharlal Nehru (JNNSM). O maior objetivo da missão solar era alcançar a paridade tarifária a partir de tecnologias solares no ano 2022, com uma capacidade de 20 GW – com expectativa de aumentar para 100 GW até 2030 e 200 GW até 2050.

O Japão tem como principal objetivo a segurança energética, apresentando, também, metas

de redução de emissão de GEE bem expressivas. A expansão nuclear foi repensada por seus governantes após o acidente de Fukushima em 2011, mas já está sendo retomada. No entanto, a escassez de recursos energéticos fósseis faz com que o Japão encontre uma alternativa nas ERC, estando na 4ª posição no ranking de capacidade instalada dessas fontes.

## ÁFRICA

A região norte-africana localizada no cinturão solar, composta pelos países Marrocos, Argélia, Tunísia, Líbia e Egito, se mostra com grande potencial físico de desenvolvimento de ERC, principalmente as fontes eólica e solar. Tal região não só chama a atenção dos governantes locais, como também da Europa, pela proximidade geográfica e por já haver, ainda que incipiente, a possibilidade de intercâmbio de energia elétrica entre os continentes. Há uma corrente forte, representada pelo conceito Desertec<sup>18</sup>, difundindo a existência de um sistema robusto transmediterrâneo, em um horizonte de médio ou longo-prazo, promovendo uma maior oferta elétrica descarbonizada para a Europa e um incremento significativo da participação de ERC nesses países - hoje baseadas em combustíveis fósseis, principalmente gás natural. No entanto, questões geopolíticas importantes estão sendo impeditivas à viabilização de tais projetos.

---

18. Desertec Concept <http://www.desertec.org/>.

## AMÉRICA LATINA

Nos últimos 20 anos, o crescimento médio da economia e do consumo de eletricidade nos países da América Latina foi maior do que as médias globais, tendo a produção de eletricidade mais do que dobrado entre 1991 e 2001. Essa região é conhecida pelo fato de sua matriz de geração elétrica ser a mais limpa do mundo em termos de intensidade de carbono. Atualmente, a geração

hidrelétrica de pequeno e grande porte representa cerca de 50% da matriz elétrica nesta região.

Os combustíveis fósseis de alto impacto ambiental, como o óleo combustível, vêm sendo substituídos gradativamente por gás natural e as ERC têm ganhado mais destaque, representando atualmente 9% da capa-



# A geração eólica se mostra promissora, com um potencial total de 143 GW para torres a uma altura de 50 metros.

---

cidade instalada do continente. Dez países (dentre eles o Brasil) possuem metas oficiais para aumento da implantação de ERC. O Chile estabeleceu uma meta de redução de emissões de GEE do setor de energia e pretende que 10% de sua geração seja realizada através de ERC até 2024. O país tem alcançado, juntamente com o México, significativos aumentos na capacidade instalada solar e eólica. Já o Uruguai é, atualmente, o país do continente com maior desenvolvimento e investimentos estrangeiros em ERC, com a maior capacidade instalada eólica per capita em 2014. O Brasil também tem representado um papel importante nesse sentido, especialmente porque o país possui 37% da capacidade instalada da América Latina, sendo abordado a seguir.

## COMO O BRASIL SE ENCONTRA?

O Brasil possui diversos recursos energéticos em seu território, sendo que os renováveis se destacam em disponibilidade. O potencial hidráulico brasileiro é um dos maiores do mundo, chegando a 260 GW, dos quais somente 35% está sendo aproveitado, principalmente na região Sudeste. A geração eólica também se mostra promissora, com um potencial total de 143 GW para torres a uma altura de 50 metros, principalmente nas regiões Nordeste e Sul do Brasil. Se a medição ocorrer a alturas maiores, esse potencial pode chegar a 500 GW, considerando os últimos avanços tecnológicos. A qualidade dos ventos brasileiros também é algo que chama atenção, pois estes se mostram constantes e sem grandes rajadas repentinas.

Estamos localizados no cinturão solar do planeta. O local que apresenta a pior irradiação no Brasil, tem melhores índices que o melhor local da Alemanha, país que apresenta o maior mercado de energia solar do mundo.

---

Já a partir da biomassa, o potencial está muito atrelado à indústria sucroalcooleira, com os resíduos do bagaço de cana-de-açúcar, cuja produção está concentrada principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste. No entanto, pela atividade agrícola ter relevância na economia do país, o Brasil também apresenta potencial de utilização de outros tipos de resíduos agrícolas para geração de energia, se houver desenvolvimento tecnológico para tal. Por último, a energia solar também apresenta grande potencial, pois estamos localizados no cinturão solar do planeta. A irradiação solar em todo o território brasileiro se mostra interessante. Como comparação, o local que apresenta a pior irradiação no Brasil, o Sul, tem melhores índices que o melhor local da Alemanha (também no Sul), país que apresenta o maior mercado de energia solar do mundo.

O Brasil apresenta um dos maiores sistemas elétricos interligados do mundo, o Sistema Interligado

Nacional – SIN. Este é comparável com o sistema interligado europeu, com extensas malhas de transmissão, conectando os quatro subsistemas: SE/CO, S, NE e N. O SIN foi concebido para que houvesse o aproveitamento dos recursos energéticos em todo território nacional, fazendo com que, quando houvesse disponibilidade em um local e escassez em outro, a energia pudesse ser transmitida entre tais locais, mitigando os riscos e estabilizando os custos globais de energia.

A disponibilidade energética das ERC no Brasil é complementar ao regime hidrológico brasileiro, particularmente ao da região Sudeste, local que dispõe da maior capacidade de armazenamento. É também complementar à carga do SIN, concentrada principalmente na região Sudeste do país. A geração eólica no Brasil chega ao seu pico em setembro/outubro, período em que a disponibilidade hídrica ainda não é abundante<sup>19</sup>. Já a geração por biomassa, por estar atrelada ao se-

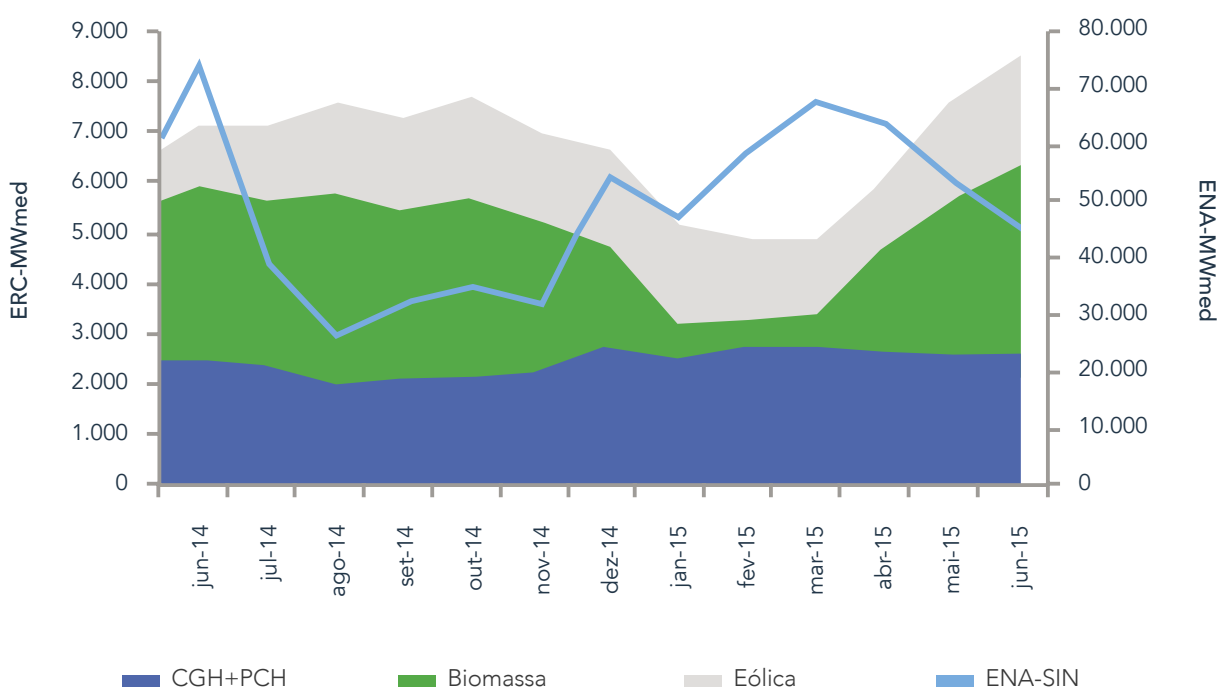
---

19. No Brasil, o período úmido da região sudeste ocorre durante os meses de verão (novembro a fevereiro), enquanto que o período seco ocorre no inverno (junho a setembro).

tor sucroalcooleiro, ocorre mais expressivamente de maio a novembro, devido ao período de safra da cana-de-açúcar. Finalmente, a geração solar ocorre mais durante o verão, devido à maior insolação, justamente no período de maior demanda

por resfriamento - sendo que grande parte dessa demanda ocorre durante o dia. Essa grande complementariedade das ERC com a geração hídrica no Brasil permitem um melhor aproveitamento dos recursos energéticos do País.

GRÁFICO 3: GERAÇÃO POR ERC NO BRASIL (MWmed)<sup>20</sup>



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da CCEE

20. ENA- Energia Natural Afluyente é Energia que pode ser produzida a partir das vazões naturais afluentes aos reservatórios. Os valores são expressos em MW médios ou em percentual da média histórica de longo termo, MLT (histórico de 82 anos).

## A participação da PCH também se mostra significativa, mas sua expansão, vem sofrendo certas restrições por questões ambientais.

---

Após o racionamento de 2001, observou-se a necessidade de aumentar a oferta de eletricidade com a expansão de outras fontes não convencionais, além da díade hidrotérmica. Com o intuito de inserir tecnologias de conversão de energia elétrica com caráter renovável, em 2002 o governo federal lançou o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas - PROINFA. O Programa, inicialmente estabeleceu a expansão de 3,3 GW de capacidade instalada, igualmente distribuída entre as fontes eólica, biomassa e PCH. Ainda, os contratos de venda de energia seriam feitos entre a Eletrobrás e os geradores, por um período de 20 anos, com base em um valor de referência estabelecido por tecnologia, definido pelo Ministério de Minas e Energia – ou seja, funcionariam como uma espécie de FiT. O PROINFA ainda está vigente e os seus custos são rateados entre todos os consumidores do SIN (excluindo-se os beneficiados pela Tarifa Social). O PROINFA é tido como um importante movimento para a inserção de ERC no Brasil pelos agentes do setor.

Desde 2009, no entanto, a partir da inclusão das ERC em leilões (LER de 2009), a expansão de ERC no Brasil vem acontecendo de maneira rápida, principalmente para a fonte eólica. Anualmente, dezenas de projetos de parques eólicos são vencedores nos leilões federais de geração, e hoje a fonte já representa mais de 7 GW de capacidade instalada do país<sup>21</sup>.

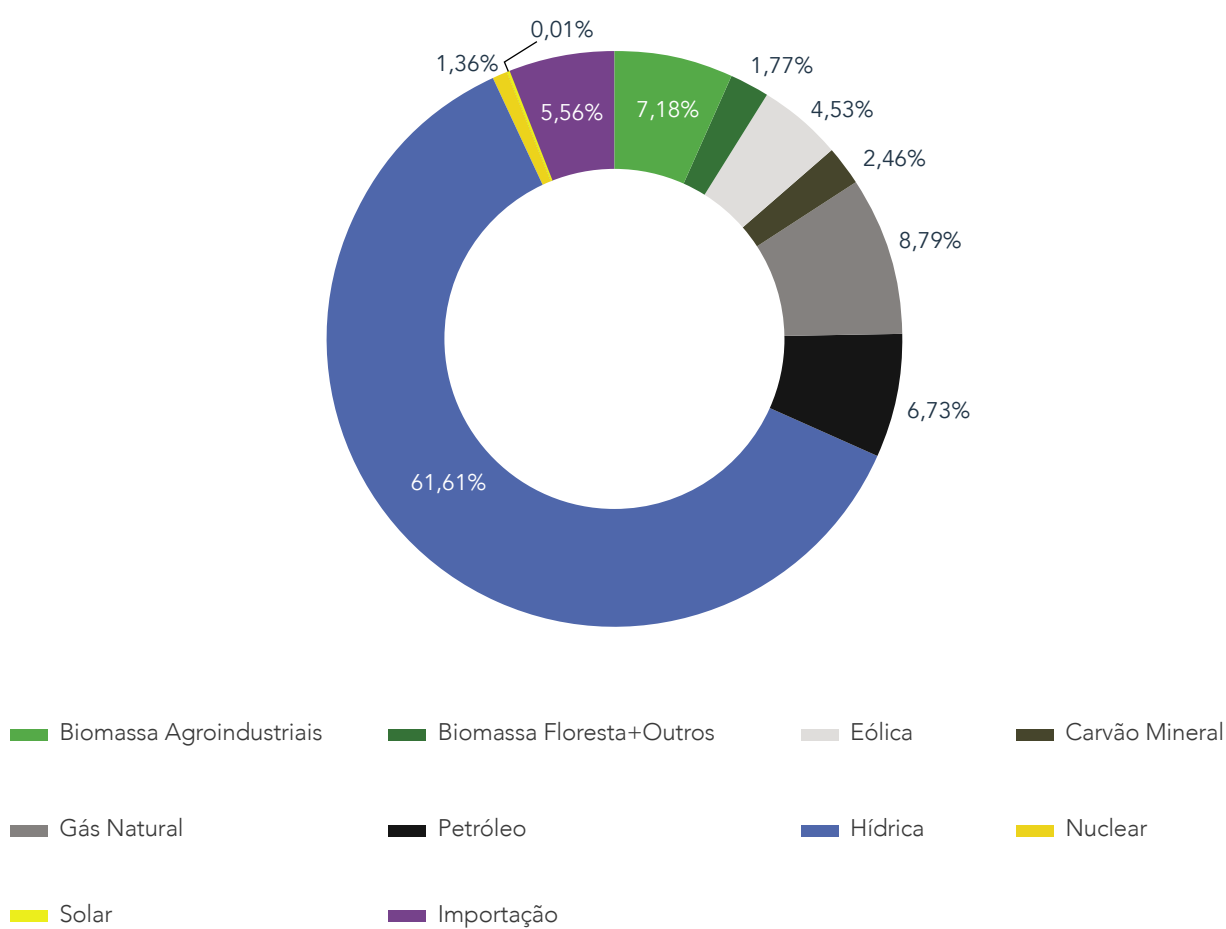
A biomassa também se mostra com papel importante na geração renovável complementar, sendo hoje a primeira ERC e a terceira fonte em capacidade instalada no SIN<sup>22</sup>, com cerca de 13 GW instalados, atrás apenas da fonte hidrelétrica e térmicas a gás natural. Muitas usinas de açúcar viram a oportunidade de aumentar seu fluxo de caixa, investindo em plantas de cogeração que utilizam resíduos de processos, como o bagaço de cana-de-açúcar, para gerar energia elétrica. A participação da PCH também se mostra significativa, mas sua expansão, no entanto, vem sofrendo certas restrições por questões ambientais.

---

21. Segundo dados da ABEEólica (<http://www.portalabeeolica.org.br/>).

22. Segundo dados do BIG/ANEEL (<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>).

GRÁFICO 4 - CAPACIDADE INSTALADA POR FONTE EM 2015



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANEEL

## O mercado brasileiro está inserido como um dos dez mercados de ERC mais atrativos do mundo

---

A expansão solar fotovoltaica ainda é incipiente e começou a se configurar com projetos de micro e minigeração, devido ao seu caráter modular, desde 2012, com a homologação da Resolução Normativa 482<sup>23</sup>. No entanto, o governo, desde 2014, vem inserindo a fonte solar em leilões de energia para abastecer o mercado regulado. Foram viabilizados diversos projetos nos 6º e 7º Leilões de Reserva<sup>24</sup> a partir da fonte solar, ultrapassando 1,5 GW de potência instalada. O mercado brasileiro está inserido como um dos dez mercados de ERC mais atrativos do mundo<sup>25</sup>.

O compromisso brasileiro de estimular o desenvolvimento e a participação de ERC na matriz não é motivado unicamente por razões

de segurança energética. Apesar de não haver um compromisso quantitativo de redução de emissões de GEE estipulado, como os países do Anexo I<sup>26</sup> do Protocolo de Quioto<sup>27</sup>, o Brasil apresenta diversos outros compromissos em seu Programa Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) que culminarão na redução de emissões. Dentre as medidas mitigadoras, o PNMC<sup>28</sup> aponta que o Brasil deverá:

*“buscar manter elevada a participação de energia renovável na matriz elétrica, preservando posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional”*

---

23. No Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012.

24. O mecanismo de contratação da Energia de Reserva foi criado para aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica do SIN, com energia proveniente de usinas especialmente contratadas para esta finalidade – seja de novos empreendimentos de geração ou de empreendimentos existentes.

25. Ernst & Young, 2015.

26. Anexo I é o grupo de países desenvolvidos cuja responsabilidade pela redução das emissões de GEE é considerada maior do que a de países em desenvolvimento. Os países estão listados em [http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/parties/annex\\_i/items/2774.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php).

27. O Protocolo de Quioto foi assinado em 1998 definindo metas específicas no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas.

28. Plano Nacional de Mudanças Climáticas (<http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima>).

## A Autoprodução e as ERC – Caso Honda

A Honda investiu um total de R\$ 100 milhões na construção de um parque eólico, visando se tornar autoproductora de energia. O projeto, que foi enquadrado no REIDI (Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura), foi inaugurado em 26 de novembro de 2014 na cidade de Xangri-lá no RS, visando suprir toda a demanda energética da fábrica de Sumaré no estado de SP, que tem capacidade produtiva anual de 120 mil carros.

A cidade de Xangri-lá, no Rio Grande do Sul, foi escolhida para a instalação do parque, pois já possuía um esquema adequado de logística e infraestrutura, além de possuir um regime de ventos favorável à geração de energia. O parque possui nove turbinas de 3 MW cada, totalizando uma capacidade instalada de 27MW e geração anual estimada de 95 mil MWh por ano.

A motivação principal da Honda para realizar esse investimento foi a redução de emissões de GEE. A empresa, visando aumentar a sustentabilidade em sua cadeia de produção, estabeleceu uma meta de redução de emissões de 30% para todas as fábricas da Honda do mundo. No caso da fábrica de Sumaré, essa meta foi superada e cerca de 50% das emissões já são evitadas graças ao uso da energia eólica, o que equivale a cerca de 2,2 mil toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas por ano, segundo informações da *Honda Energy*, subsidiária responsável pela geração de energia. A empresa também tem planos de abastecer outras fábricas do Brasil com energia eólica.

Os carros produzidos pela montadora nesta fábrica recebem um selo, criado pela ABEEólica em parceria com a ABRAGEL, certificando que foram produzidos por fontes 100% renováveis. A expectativa é de que iniciativas como essa sejam reproduzidas em outras localidades por empresas que buscam receber o selo de certificação.

Tal medida vem sendo observada, haja vista o crescimento acelerado de ERC na matriz brasileira. A penetração das ERC, principalmente a eólica, vem ocorrendo muito devido ao esquema de leilões de energia implementado no Brasil. Anualmente, o governo realiza leilões de geração de energia, com o objetivo de promover a contratação de energia para o mercado de consumidores cativos – o chamado Ambiente de Contratação Regulado (ACR)<sup>29</sup>. Desde 2007, o governo já realizou 22 leilões com contratação de ERC.

Outra possibilidade de aquisição de energia se dá através da Autoprodução, na qual o autoprodutor recebe a concessão para produzir a sua própria energia, podendo eventualmente comercializar o excedente de energia elétrica gerada. Alguns agentes optam por esse tipo de

geração, não dependendo mais do suprimento de eletricidade através do mercado cativo, e nem de contratos bilaterais para o fornecimento, alcançando alguma independência no seu consumo de energia elétrica.

As ERC estão crescendo cada vez mais a sua participação na geração de energia elétrica mundial. O mundo já apresenta mais de 700 GW instalados, com perspectivas de expansão a cada ano, com novas políticas de incentivo sendo adotadas. O Brasil não está ficando para trás. Com uma matriz elétrica majoritariamente renovável, a cada ano milhares de MW são adicionados tanto para abastecer o mercado regulado, através de leilões de geração, quanto para o mercado livre. Porém, alguns dilemas estão surgindo com a inserção significativa de ERC e serão discutidos a seguir.

---

29. No mercado brasileiro, há dois tipos de opções de comercialização de energia: Ambiente de Contratação Regulado – ACR, Ambiente de Contratação Livre – ACL. A maior parte da comercialização de energia no Brasil é realizada no ACR.

30. ABDI, 2014.

## Desenvolvimento da Cadeia de Produção

**PCH:** A indústria nacional possui hoje fabricantes que estão qualificados a atender o mercado interno de PCH fornecendo quase a totalidade dos componentes hidromecânicos e elétricos, como comportas, válvulas, turbinas e geradores. A fabricação nacional cobre praticamente todo o campo de aplicação das micro, mini e pequenas centrais hidrelétricas. Uma das questões que diminuem a competitividade da indústria de PCH é o fato de haver uma customização dos projetos, sem uma padronização, como é o caso das eólicas, reduzindo os ganhos de escala.

**Biomassa:** A indústria dos componentes de termelétricas a biomassa é quase 100% nacional. Há fabricantes no Brasil produzindo turbinas, um dos componentes de maior valor agregado, para plantas a biomassa de capacidade média. Como a maioria das plantas a biomassa são de pequeno porte ou conseguem ser moduladas com algumas turbinas de médio porte, o índice de nacionalização das plantas é bem alto. Outros componentes como as caldeiras também tem fabricação aqui.

**Eólica:** Com relação à indústria eólica, existem no Brasil dois grandes polos produtivos para grandes componentes: na região Nordeste e Sul/Sudeste. Há montadoras e fabricantes de aerogeradores, torres e pás, e boa parte dos componentes utilizados por elas são produzidos no país. Até há pouco tempo, era comum a importação praticamente total dos componentes. Em 2012, no entanto, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES implementou incentivos para o desenvolvimento da cadeia produtiva no país, com o objetivo de aumentar gradativamente o conteúdo local para a indústria de equipamentos de geração eólica. Um dos gargalos para o fornecimento local é a disponibilidade e o custo interno do aço<sup>30</sup>. Outro ponto importante é o fato de parte dos componentes serem importados, tornando a viabilidade da produção local dependente do câmbio.

**Solar:** Com relação à energia solar, existe um debate intenso sobre se o Brasil deveria ou não desenvolver a indústria nacional de painéis fotovoltaicos, incluindo a produção de células de silício, ou se deveria focar unicamente na montagem e instalação dos módulos. O Brasil apresenta uma das maiores reservas mundiais de silício, matéria prima para a confecção de células fotovoltaicas comerciais. No entanto, a produção da célula é um processo intensivo em tecnologia, por isso argumenta-se que o Brasil não teria vantagem comparativa ou condições de realizar essa etapa.



# Dilemas da Expansão

---

## O PLANEJAMENTO, O FINANCIAMENTO DA EXPANSÃO E O CUSTO DA ENERGIA

O PDE 2024 aponta um crescimento médio da economia de 3,2% a.a. entre 2015 e 2024, comparado a uma previsão de crescimento médio mundial de 3,8% a.a. no mesmo período. Nesse cenário, o consumo de eletricidade no Brasil aumentará a uma taxa média de 3,9% a.a., o que resultaria em um incremento médio anual da carga de energia elétrica no SIN de 2,9 GWmed no horizonte decenal (passando dos atuais 62 GWmed para 91 GWmed). Em termos de expansão da potência, é previsto que haja expansão da demanda máxima de potência de 3,8 GW ao ano, ainda no mesmo horizonte.

De acordo com o planejamento de expansão da oferta, a expansão hidrelétrica oferecerá aproximadamente 28 GW ao SIN até 2027<sup>31</sup> (cerca de 57% do total) com destaque para os projetos de

Belo Monte e São Luiz do Tapajós, com 11.233 e 8.040 MW de potência total, respectivamente. A expansão hidrelétrica ocorrerá majoritariamente na região Norte do país e através de hidrelétricas sem capacidade de regularização. Já o crescimento térmico fóssil agregará 10,5 GW ao sistema no horizonte decenal, chegando a 14,3% de participação da matriz. Dentre os combustíveis, o PDE coloca o gás natural como o principal combustível para a ampliação da oferta termelétrica de eletricidade (10%). No entanto, a expansão termelétrica fóssil dependerá da disponibilidade do combustível a um preço competitivo para os leilões futuros, o que representa ainda uma importante incerteza.

Com relação à expansão da oferta de ERC, o PDE projeta que esta passará dos atuais 16,1% de participação na matriz elétrica para 27,3% em 2024, e ocorrerá majoritariamente no Nordeste brasileiro. Isso porque a região apresenta o maior potencial eólico e solar do país. A expansão

---

31. Devido à motorização das usinas, uma parcela da capacidade só será adicionada ao sistema depois do horizonte decenal.

da fonte eólica liderará a expansão renovável, pois esta fonte tem alcançado preços competitivos ao longo de sua inserção, desde o LER 2009, e contribuirá com 11,6% da matriz elétrica, comparado aos 3,7% de 2014. As PCH, por sua vez, não devem alcançar tanta competitividade dos projetos nos leilões, e representarão 3,8% (ante 4,1% em 2014).

A biomassa poderá ter a participação de 8,7%, sendo que seu potencial de oferta de eletricidade pode vir de duas formas no Brasil: através da biomassa florestal ou como subproduto da indústria sucroalcooleira, utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como combustível – atualmente a oferta mais comum no país. Por último, a energia solar também terá sua expansão com grande potencial no Nordeste, alcançando 3,3% da potência instalada da matriz elétrica – hoje próxima de zero. Todavia, ainda é um mercado muito incipiente no Brasil, tendo sido implantados projetos de pequeno porte<sup>32</sup> e de P&D. Sua inserção ao SIN vem ocorrendo até o presente por meio de leilões de reserva.

O BNDES tem sido o principal agente de financiamento de longo prazo no Brasil para investimentos em infraestrutura. Para o setor de energia, o Banco tem se mostrado um importante instrumento para o alcance da viabilidade de

diversos projetos, promovendo taxas atrativas e com altas porcentagens de financiamento dos itens financiáveis. Para o setor elétrico, existem linhas de financiamento específicas e que distinguem os projetos entre distribuição, transmissão e geração. Dentro das linhas dos projetos de geração, há uma divisão entre fontes renováveis e não renováveis.

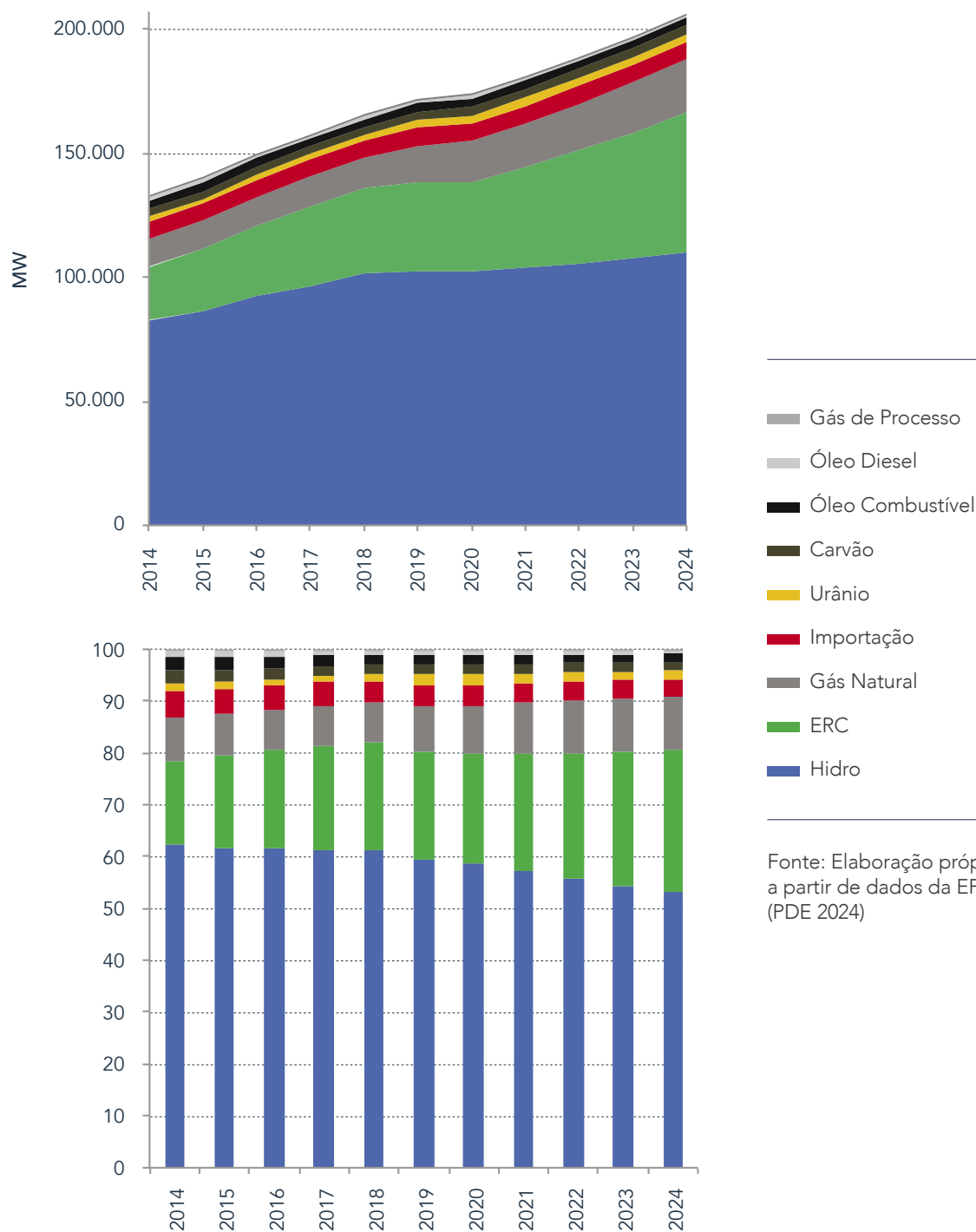
Em relação às taxas de financiamento, estas são iguais para renováveis e não renováveis - o que diferencia é o percentual dos itens financiáveis. Para as renováveis, chega-se a 70% - excetuando hidrelétricas maiores que 30 MW, em que o percentual é de 50% -, ao passo que para as não renováveis o limite de 70% vale somente para Micro, Pequenas e Médias Empresas. Os fatores que mais contribuem para a viabilidade dos projetos de ERC são o financiamento máximo e o prazo de amortização, que apresentam maiores incentivos para ERC, bem como as taxas atrativas, fazendo com que os projetos sejam mais competitivos.

No entanto, no atual cenário econômico do Brasil, há incerteza quanto à capacidade do BNDES continuar incentivando as ERC com taxas e condições tão atrativas. De acordo com algumas notícias, atualmente, o BNDES vem restringindo o financiamento a 50% dos projetos em ERC<sup>33</sup>.

32. Projetos de mini e microgeração referentes à REN 482 e em estádios da Copa do Mundo.

33. Disponível em: [http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Investimentos\\_e\\_Financas.asp?id=107575](http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Investimentos_e_Financas.asp?id=107575). Acesso: 21/10/2015.

GRÁFICO 5: EXPANSÃO DA GERAÇÃO 2014-2024



Uma alternativa para aumentar o percentual financiado são as debêntures de infraestrutura, que oferecem benefícios fiscais e contam com a participação do BNDES na sua estruturação. Observa-se a tendência dos investidores buscarem mecanismos complementares de financiamento, principalmente junto aos bancos comerciais. Alguns destes já promovem o su-

porte financeiro a projetos de caráter renovável. No entanto, as taxas de juros e condições de financiamento estão bem distantes das oferecidas pelo BNDES, fazendo com que os projetos fiquem mais caros. O aumento dos custos de financiamento serão refletidos no custo final da energia, e, em última instância, acabarão por impactar o consumidor.

GRÁFICO 6: TARIFA MÉDIA ANUAL DE TODOS OS TIPOS DE CONSUMIDORES - VALORES NOMINAIS



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANEEL

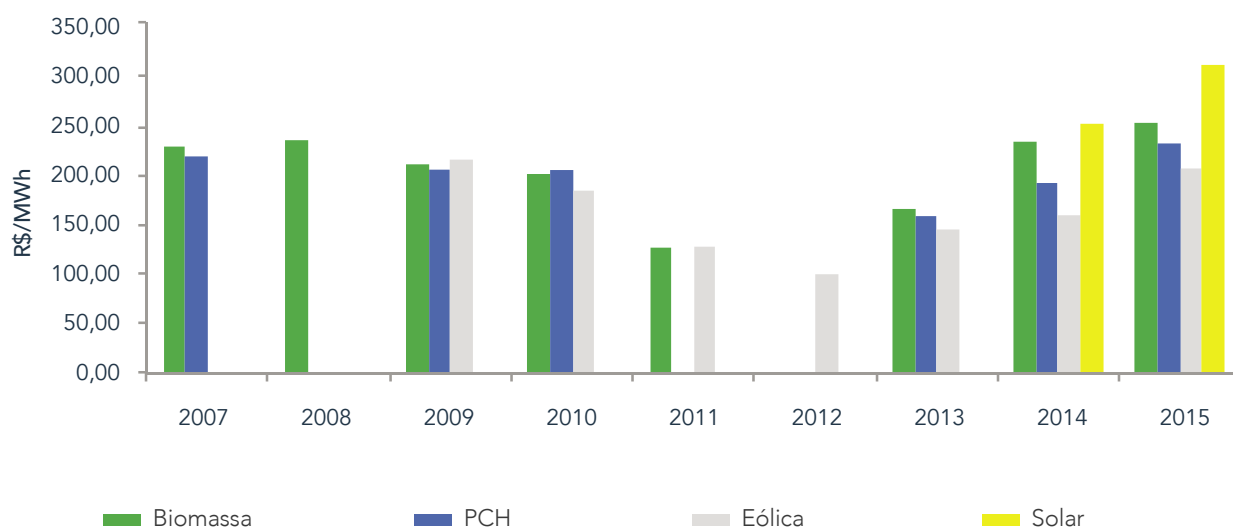
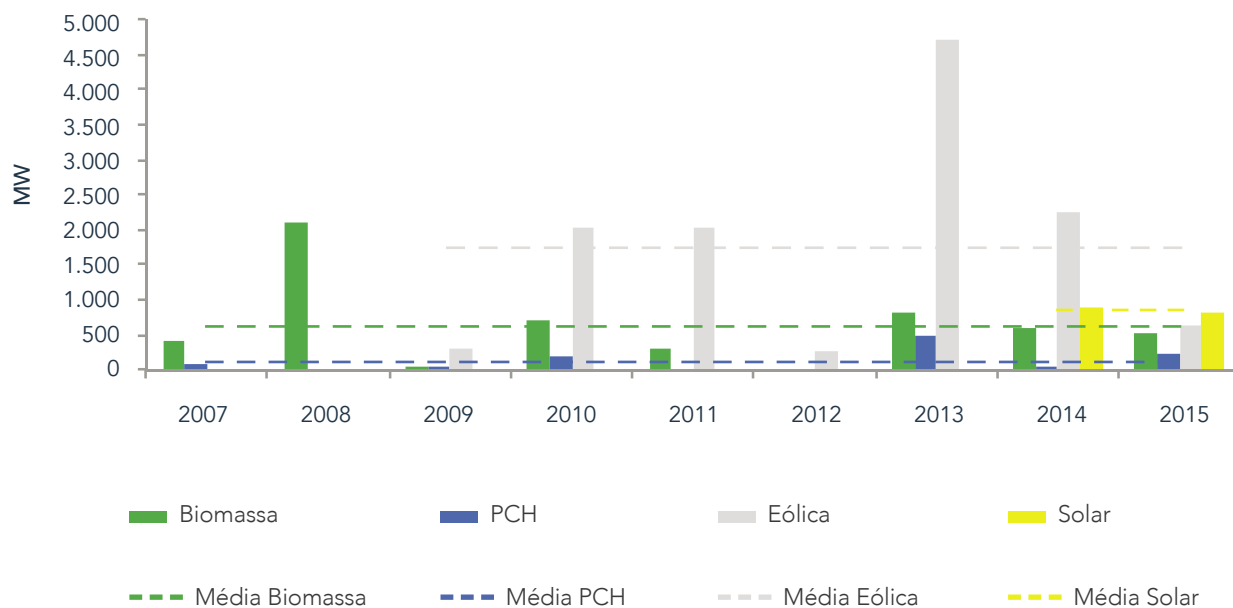


## A DIFICULDADE DA EXPANSÃO DAS PCH E TÉRMICAS A BIOMASSA

A média de contratação do conjunto das das ERC nos leilões atinge a cerca de 2,5 GW ao ano sendo, entretanto, bastante diferenciada para cada fonte. Se contabilizarmos somente a partir do ano em que ocorreu a primeira in-

clusão da fonte em um leilão do ACR, a eólica é a que apresentou a maior média, com aproximadamente 2GW/ano, enquanto que a biomassa teve uma média de 500 MW/ano e a PCH de apenas 100 MW/ano. A solar, que foi incluída somente em 2014, já se mostra como a segunda fonte com maior média de contratação anual.

GRÁFICO 7: EVOLUÇÃO DA POTÊNCIA CONTRATADA E PREÇO MÉDIO ANUAL CORRIGIDO NOS LEILÕES DO ACR COM ERC



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da CCEE e do Instituto Acende Brasil. Corretor Monetário IPCA (set/15)

## A geração de eletricidade por biomassa de cana de açúcar está fortemente atrelada à dinâmica do mercado de açúcar e etanol.

---

Muito se questiona das causas da expansão de renováveis ser tão desigual no ACR. Uma das linhas de argumentação aborda o fato de o preço-teto dos leilões definidos pela EPE não ser realista para as PCH e biomassa, o que faz com que boa parte dos contratos de energia a partir de PCH e biomassa sejam realizados no ACL. Ou seja, há uma diferença relativa de competitividade entre as ERC e, aparentemente, a eólica vem apresentando melhores resultados dentre as ERC. **O que explica a menor competitividade das fontes PCH e biomassa em comparação à eólica?**

A biomassa no Brasil é muito atrelada ao setor sucroalcooleiro, sendo que a geração de eletricidade se dá através de cogeração e é um subproduto da produção de açúcar ou etanol. Dentre

os dois produtos, a geração elétrica ocorre em significativa maior proporção quando há a produção de etanol – e em proporção reduzida quando há a produção de açúcar. **Assim, a geração de eletricidade por biomassa de cana de açúcar está fortemente atrelada à dinâmica do mercado de açúcar e etanol.** A gasolina e o etanol hidratado competem no mercado de combustíveis líquidos, sendo produtos substitutos<sup>34</sup> – de modo geral, o etanol passa a ser vantajoso para o consumidor quando seu preço está abaixo de 70% do preço da gasolina. Como o preço da gasolina vinha sendo controlado nas refinarias nos últimos anos, isso influenciou o mercado de etanol/açúcar, tornando menos vantajoso para o produtor optar pela produção do etanol. Em consequência, a geração de energia elétrica também ficou ameaçada.

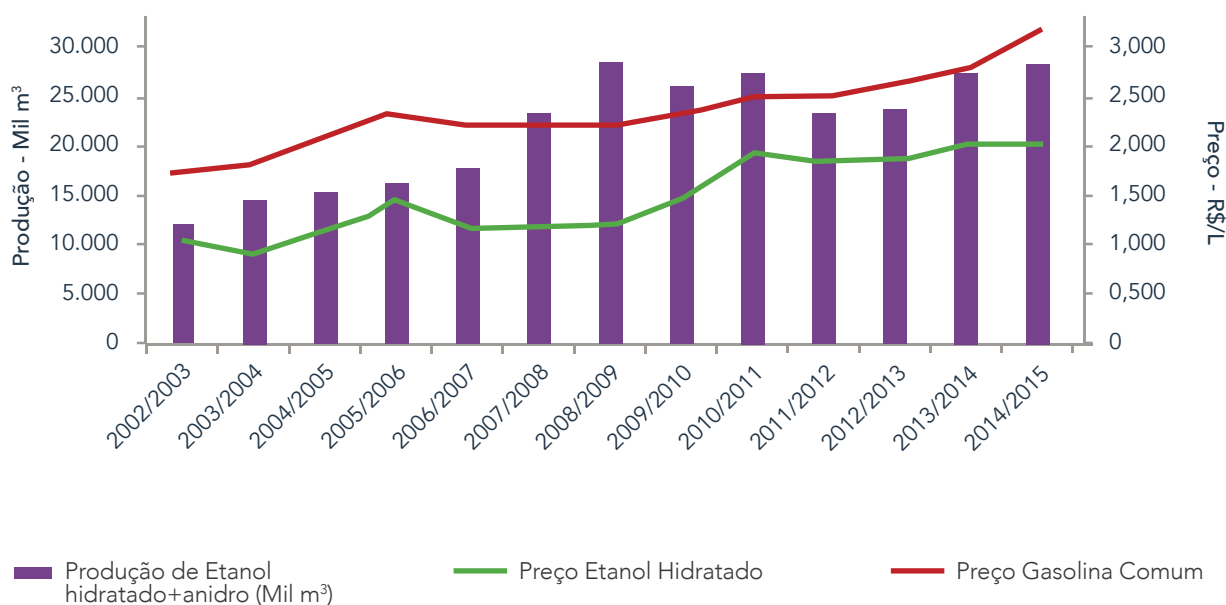
---

34. O etanol anidro é misturado à gasolina para baratear o combustível, aumentar sua octanagem e reduzir a emissão de poluentes.

Dois fatores podem reduzir a dependência da expansão de geração elétrica à base de cana da política de combustíveis. O primeiro está atrelado ao desenvolvimento tecnológico, onde há uma tendência de aproveitamento termoenergético da palha da cana, antes descartada – e não apenas do bagaço –, com a modernização dessas usinas, aumentando a eficiência da planta. Além disso, o desenvolvimento do mercado de álcool, não só para a indústria de combustíveis

veiculares, mas para área de bioquímica, apresenta potencial de crescimento. Um segundo ponto, de extrema importância, está relacionado a uma política adequada de preços relativos entre combustíveis, que permita maior transparência no mercado de combustíveis líquidos e outros energéticos. O represamento dos preços de gasolina nas refinarias teve impacto crucial no mercado de etanol, afetando por conseguinte a viabilidade dos projetos de biomassa.

GRÁFICO 8: PRODUÇÃO DE ETANOL TOTAL E PREÇOS MÉDIOS ANUAIS DE GASOLINA E ETANOL



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP

## A fonte eólica alcançou ao longo dos anos um nível de competitividade maior que as demais ERC.

---

Já as PCH, dentre as quatro fontes de ERC presentes no Brasil, é a que apresenta a menor média de contratação anual de capacidade instalada nos leilões do ACR. Alguns fatos são relevantes e impactam bastante o setor. O primeiro deles é em relação às **dificuldades com o licenciamento ambiental**. Como sua implantação muitas vezes ocorre em rios que, geralmente, não são federais, o licenciamento para esses empreendimentos é realizado por órgãos ambientais estaduais e, eventualmente, municipais. Aponta-se<sup>35</sup> que o corpo técnico responsável pelo licenciamento desses órgãos é reduzido e sobrecarregado, dificultando a liberação dos projetos, que necessitam de suas Licenças Prévia<sup>36</sup> para se inscrever nos leilões do ACR.

Diversos projetos de PCH ao longo de mais de 10 anos de leilões no ACR com inserção de

ERC, quase 10 GW<sup>37</sup>, estão aguardando para análise técnica e não conseguem autorização para participar dos leilões. Em função disso, o **risco dos projetos aumenta bastante, impactando nos custos e no preço da energia a ser ofertada nos leilões**. Com isso, os **preços-teto dos leilões do ACR para as PCH acabam por não viabilizar tais projetos, em razão principalmente dos riscos associados ao licenciamento ambiental**.

Há um desbalanceamento na expansão das ERC, com um viés para a contratação eólica. De fato, a fonte eólica alcançou ao longo dos anos um nível de competitividade maior que as demais ERC. Alguns empecilhos apontados para as demais fontes certamente dificultam a viabilização de projetos que poderiam compor a nossa matriz elétrica e fornecer energia limpa e renovável para o sistema.

---

35. ABRAPCH, 2015

36. Primeira da cadeia de licenças no processo de licenciamento ambiental no Brasil.

37. ABRAPCH, 2015

# Dilemas da Operação

---

## AS ERC E O PAPEL DOS RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO

Com uma nova matriz se caracterizando a partir de uma significativa inserção de fontes variáveis, como no caso das ERC e hidrelétricas a fio d'água, a operação do sistema ficará mais complexa. A variabilidade das fontes aumenta a incerteza de disponibilidade do recurso energético, o que faz com que se invista em alternativas para fazer frente a tal variabilidade. Ainda, há a diferença entre **variabilidade de potência** e **variabilidade de energia**. A variabilidade de potência remete à ideia de geração instantânea e é atrelada a um curtíssimo espaço de tempo. Já a variabilidade de energia tem um caráter mais de médio-longo prazo. Os dois problemas devem ser atacados de maneiras distintas.

A **variabilidade de potência** é percebida nas fontes eólica e solar fotovoltaica. O vento pode parar de soprar em minutos, reduzindo a rotação do aerogerador, e uma nuvem passageira pode aumentar o efeito de sombreamento sobre os painéis fotovoltaicos, reduzindo bruscamente a

entrega de potência. Isso pode causar instabilidade na rede. **Como atenuar a variabilidade de potência dessas fontes para o sistema?**

Dado que há um conjunto de parques da mesma fonte concentrados em uma mesma área, uma possibilidade é a conexão destes em um mesmo ponto na rede básica, fazendo com que a geração total do conjunto de parques seja menos variável do que a de cada parque conectado separadamente à rede. Uma segunda possibilidade seria através da hibridização de usinas que utilizam o mesmo ponto de conexão com o sistema. Por exemplo, para o caso brasileiro, onde há o maior potencial eólico e solar alocado no Nordeste, se uma usina fotovoltaica e outra eólica estivessem alocadas no mesmo sítio, isso poderia atenuar a variabilidade de potência, se o regime de vento fosse complementar à geração solar – como é o caso no Nordeste. Além disso, a hibridização pode incluir outros tipos de tecnologias – o Nordeste brasileiro também apresenta potencial de geração a biomassa, o que poderia ser utilizado quando houvesse baixa disponibilidade eólica e solar ao mesmo tempo. Por último,



a inserção de armazenamento de energia através de baterias também poderia ser utilizada, porém ainda apresentam um preço elevado.

Além da hibridização e conexão no mesmo ponto de rede, a expansão de usinas flexíveis no sistema é primordial para fazer frente à variabilidade de potência das fontes eólica e solar. As fontes flexíveis são representadas por hidrelétricas controláveis e usinas térmicas modernas com tomada de carga ou tempo de partida rápidos, que geralmente utilizam gás natural. Outras questões, como melhorar os métodos e as ferramentas para previsão de vento e da geração eólica, e melhorar o desempenho dos aerogeradores e plantas eólicas e solares para resistir a impactos da rede, também ajudariam a atenuar essas variações.

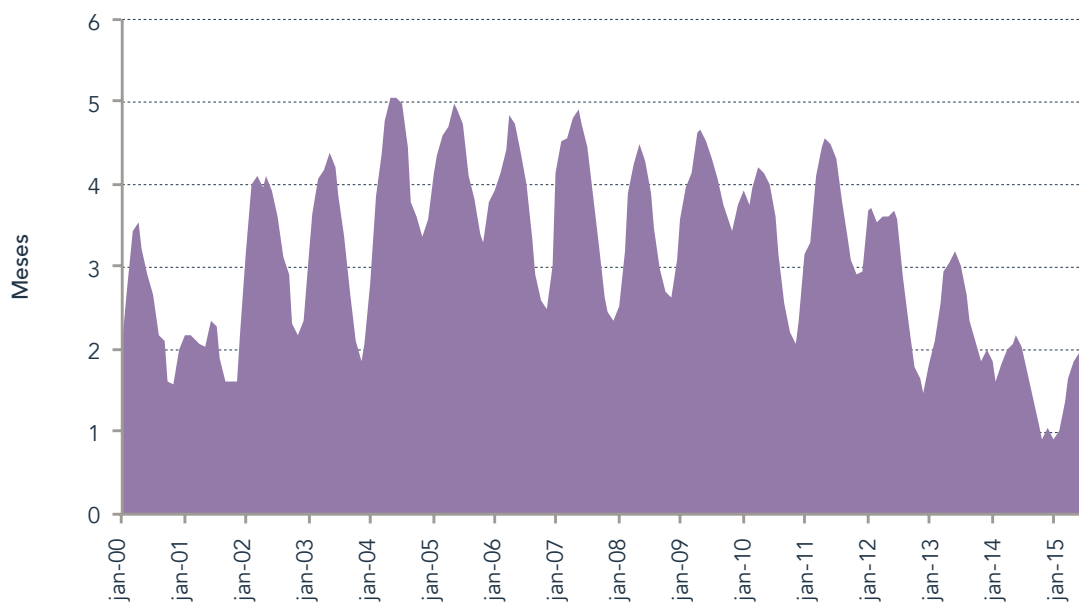
Todos os tipos de ERC apresentam variabilidade na geração de energia. No entanto, de certa forma, as ERC e o regime hidrológico do sistema são complementares entre si. O novo arranjo de hidrelétricas de grande porte a fio d'água - ou seja, também variável e não despachável, que somam aproximadamente 30 GW - promoverá uma grande disponibilidade energética ao sistema no período úmido. Além disso, outras fontes podem atuar na complementação, como as térmicas fósseis e nuclear. Em princípio, em relação à tecnologia a ser usada, a problemática da variabilidade de energia é menos complexa que a variabilidade de potência. Porém, outras questões relacionadas ao planejamento energético podem surgir, com caráter estratégico e político de difícil solução.

Com relação à expansão hidrelétrica controlável, com reservatórios, estas passam por uma restrição e será muito reduzida - 885 MW dos 30 GW previstos para a expansão hidrelétrica será com reservatório de regularização. A expansão da energia armazenável será de 2,6 MWmed e representa menos de 1% da energia armazenável total até 2015. **Qual será o papel dos reservatórios no sistema com a inserção das ERC?**

Se as hidrelétricas controláveis forem destinadas a fazer frente à variabilidade de potência das ERC, haverá uma mudança de paradigma do

setor. O despacho hidrelétrico sempre foi realizado na base da carga, muito pelo fato de ser a fonte de energia elétrica mais barata do sistema, e por termos como um dos pilares do modelo do setor elétrico a modicidade tarifária. Com os atuais registros da energia armazenada em comparação com a carga do sistema, percebemos uma redução da capacidade de regularização evidenciando uma tendência da reconfiguração do papel dos reservatórios no sistema. **Há possibilidade de o despacho térmico se tornar na base do sistema, pelo menos durante algum tempo do ano operacional.**

GRÁFICO 9: MESES EQUIVALENTES DE ABASTECIMENTO



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ONS

## Uma das formas de atender às metas de redução de emissões e alcançar a modicidade tarifária, bem como atuar na confiabilidade e segurança no abastecimento, seria através da expansão de hidrelétricas controláveis

---

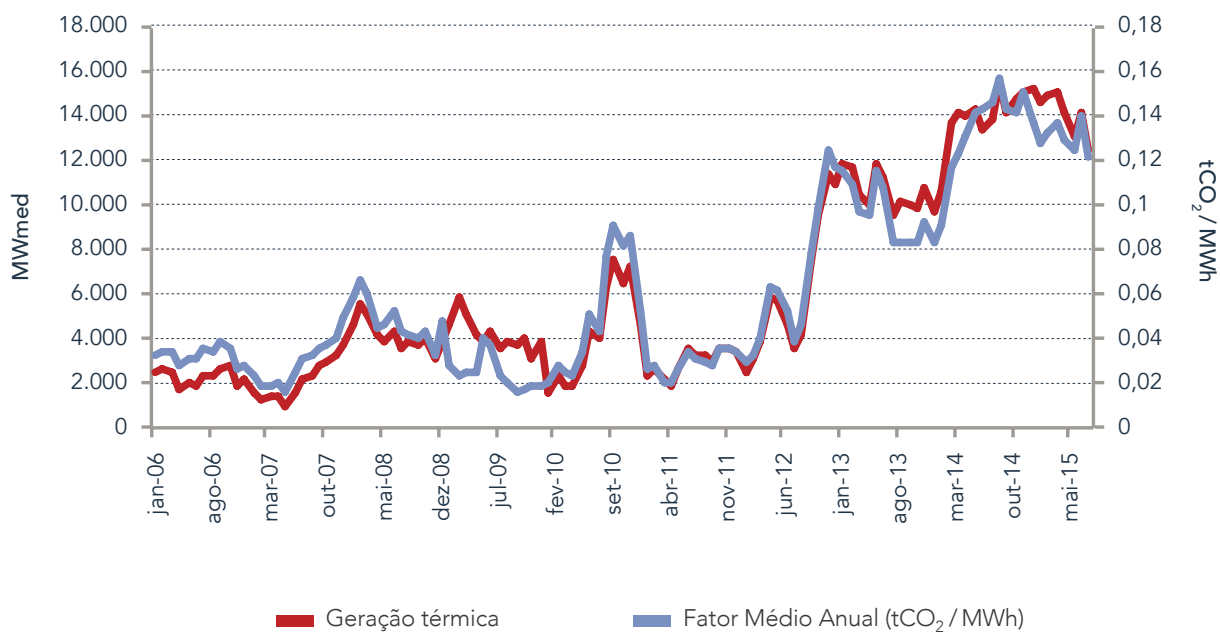
No entanto, se o papel dos reservatórios continuar a ser para o despacho na base da carga, outras fontes com alta flexibilidade para fazer frente à variabilidade de potência das ERC deverão ser implantadas, sendo representadas por térmicas fósseis modernas, geralmente a gás natural.

### AUMENTO DO DESPACHO TÉRMICO, MODICIDADE TARIFÁRIA E EMISSÕES

A reconfiguração da operação do sistema atual forma cenários previsíveis sob dois pontos de vista. Em primeiro lugar, **se o despacho térmico fóssil na base aumentar, a tendência é que haja aumento no preço da energia**, visto que os custos de geração de energia térmica fóssil são significativamente superiores aos da hidráulica, indo de encontro a um dos pilares do novo mo-

delo do setor elétrico, a modicidade tarifária. Em segundo lugar, as emissões de **GEE do SIN também tenderão a aumentar**.

Uma das formas de atender às metas de redução de emissões e alcançar a modicidade tarifária, bem como atuar na confiabilidade e segurança no abastecimento, seria através da expansão de hidrelétricas controláveis, pois esta tecnologia já está estabelecida no Brasil. Como exemplo, a ampliação do despacho térmico no triênio 13/14/15, influenciado pelo cenário hidrológico desfavorável, verificou-se um aumento das emissões de GEE no SIN. No entanto, esbarra-se num aspecto também muito importante, relacionado aos impactos socioambientais e às mudanças climáticas, já que a expansão hidrelétrica ocorreria na região Norte, causando o alagamento de extensas áreas com florestas nativas da região Amazônica.

GRÁFICO 10: AUMENTO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> DEVIDO AO DESPACHO TÉRMICO

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ONS e MCTI

# Dilemas do Modelo de Negócios

---

## MUDANÇA DE PARADIGMA NO SETOR ELÉTRICO: A EXPANSÃO DA GD E O NOVO MODELO DE NEGÓCIOS DA DISTRIBUIÇÃO

Além da inserção nos leilões do ACR, há grande potencial para a inserção das ERC de maneira descentralizada, como geração distribuída – principalmente a solar fotovoltaica. A Resolução 482 foi essencial para a ampliação da micro e mini geração distribuída, e fez surgir uma figura que não havia no SEB: a unidade geradora/consumidora. A geração da unidade é direcionada prioritariamente ao autoconsumo, com eventuais injeções de energia elétrica na rede de distribuição. Essa injeção faz com que haja um armazenamento virtual de energia na rede, a ser utilizado em outro momento pela unidade, promovendo um fluxo bidire-

cional de energia elétrica na rede. Tal fato faz com que haja um aumento da complexidade da operação e manutenção, exigindo investimentos na modernização e inteligência daquela rede.

No atual modelo do setor elétrico, as distribuidoras de energia elétrica no Brasil assumem o papel da distribuição propriamente dita, oferecendo o chamado “serviço de fio”. Além disso, são incumbidas de realizar a previsão da demanda da sua área de concessão, para que possam contratar a energia necessária nos leilões do ACR. A remuneração vem através das tarifas, que são distintas dependendo do grupo consumidor. Para o grupo B - dos consumidores cativos na baixa tensão -, a tarifa de energia é monômnia<sup>38</sup>. Com isso, não há discriminação en-

---

38. A tarifa monômnia é a tarifa de fornecimento de energia elétrica constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa e não discrimina a remuneração dos diversos serviços associados à energia que chega às unidades consumidoras.

tre o que é remunerado pelo serviço de distribuição ou pelo serviço de compra de energia. Em um cenário de geração de energia descentralizada, esse modo mais de tarifação poderá trazer importantes impactos para o negócio das distribuidoras.

Com a inserção da micro/minigeração distribuída, o modelo de tarifação binômia, onde existe uma tarifa para o consumo de energia

e outra referente ao uso da rede distribuição, se mostra mais adequado. Ainda, a tarifa de distribuição poderia também ser discriminada entre os serviços de entrega de energia, onde todos os consumidores conectados deveriam pagar, e os serviços de injeção, os quais somente os micro/minigeradores arcariam. É importante atentar para que os custos de transação decorrentes dessas transformações sejam adequadamente tratados.



## A ampliação da participação das ERC sob a forma de geração distribuída precisará vir acompanhada de uma adequação do atual modelo regulatório e de negócios do setor elétrico.

---

Esses arranjos tarifários poderiam viabilizar a participação de diversos agentes de comercialização em uma mesma área de concessão de distribuição, fazendo com que houvesse a competição, com possíveis ganhos de eficiência e redução de custos da energia. Nesse cenário, as distribuidoras ficariam somente responsáveis pela gestão e operação de seus ativos de distribuição. Claramente, haveria uma importante transformação no atual modelo de negócios do setor elétrico, trazendo diversos impactos para os diversos agentes do setor – em particular, para as distribuidoras. Assim, **a ampliação da participação das ERC sob a forma de geração distribuída precisará vir acompanhada de uma adequação do atual modelo regulatório e de negócios do setor elétrico.**

Por se basear, geralmente, em recursos energéticos variáveis, a geração distribuída ainda estará dependente da rede nos momentos onde a geração do sistema instalado na unidade é baixa. Porém, como descrito no Capítulo 1, al-

**guns avanços tecnológicos em relação ao armazenamento de energia vêm sendo realizados, e produtos desse tipo estão ficando cada vez mais viáveis comercialmente.** A promoção de tecnologias de carros híbridos e elétricos e a integração dos meios de transporte ao setor elétrico também está avançando, ainda que não se tenha uma previsão de sua viabilidade comercial em maior escala.

Finalmente, um cenário de maior inserção de geração distribuída e de novas tecnologias exigirá o investimento em inteligência e modernização da rede. Tais investimentos permitiram potencializar os benefícios da geração distribuída, otimizando recursos, aumentando a eficiência e trazendo novas possibilidades de serviços a serem disponibilizados ao consumidor. Por outro lado, os investimentos necessários são vultosos, e em última instância, serão repassados ao consumidor. **Como viabilizar tais investimentos no cenário atual, com tarifas mais altas e dificuldades de financiamento?**

# CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A inserção de ERC nas matrizes elétricas de diversos países vem ocorrendo de maneira rápida. Com o objetivo de aumentar a independência e segurança energéticas, e também de endereçar questões socioambientais, muito relacionadas à emissão de GEE e gases poluentes atmosféricos, a estratégia no setor de energia - principal responsável pelas emissões de GEE no âmbito global - vem sendo o aumento da participação de tecnologias de geração de energia com baixo impacto ambiental.

No Brasil, a tendência não é diferente. Apesar de apresentar uma das matrizes elétricas mais renováveis do mundo por ter sua base de geração a partir da fonte hidráulica, seguindo a tendência mundial, o Brasil vem ampliando a inserção de ERC em seu *mix* energético, com o objetivo de manter o caráter renovável de sua matriz elétrica. Com a disponibilidade energética de fontes renováveis abundante em seu território e muitas vezes complementar, o Brasil tem grande potencial de utilização das diversas tecnologias de geração a partir das principais fontes renováveis - biomassa, PCH, eólica e solar.

No entanto, a ampliação das ERC na matriz elétrica vem acompanhada de importantes dilemas. A regulação e o modelo de negócios foram criados em uma época em que o sistema era puramente hidrotérmico, com o despacho hidrelétrico na base e termelétrico complementar. Com a inserção expressiva de ERC no sistema, atualizações e até mudanças na expansão e na operação do sistema, não só nas práticas, mas também na regulação pertinente, devem ser realizadas com o intuito de tornar o sistema mais robusto e confiável, trazendo eficiência e baixo custo nas tarifas.

A **FGV Energia**, através deste Caderno, trouxe esses dilemas e levantou algumas questões, observando alguns possíveis impactos que as ERC podem trazer ao sistema. A **FGV Energia** tem a intenção de, após o lançamento deste Caderno, continuar com as devidas buscas, promovendo discussões e debates, ouvindo agentes do setor e do governo, não só sobre os dilemas apontados no documento, mas também outros relevantes que não constaram em nossas análises.

---

# LISTA DE SIGLAS

---

**ABEEólica** – Associação Brasileira de Energia Eólica

**ABDI** – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial

**ABRAPCH** – Associação Brasileira de Fomento às Pequenas Centrais Hidrelétricas

**ACR** – Ambiente de Contratação Regulado

**ACL** – Ambiente de Contratação Livre

**ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica

**ANP** – Agência Nacional do Petróleo

**BIG** – Banco de Informações de Geração

**BNDES** – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

**CCEE** – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

**CGH** – Central Geradora Hidrelétrica

**ENA** – Energia Natural Afluente

**EPE** – Empresa de Pesquisa Energética

**ERC** – Energias Renováveis Complementares

**EUA** – Estados Unidos da América

**FiT** – Feed-in-Tariff

**GEE** – Gases do Efeito Estufa

**IPCA** – Índice de Preços ao Consumidor Amplo

**IRENA** – International Renewable Energy Agency

**JNNSM** – Missão Nacional Solar Jawaharlal Nehru

**LER** – Leilões de Energia de Reserva

**MCTI** – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

**NAPCC** – Plano Nacional de Ação sobre Mudanças Climáticas

**OFA** – Outras Fontes Alternativas

**ONS** – Operador Nacional do Sistema Elétrico

**OPEX** – Operational Expenditure

**PCH** – Pequenas Centrais Hidrelétricas

**PDE** – Plano Decenal de Expansão da Energia

**P&D** – Pesquisa e Desenvolvimento

**PLD** – Preço de Liquidação das Diferenças

**PPA** – Power Purchase Agreement

**PNMC** – Programa Nacional de Mudanças Climáticas

**PROINFA** – Programa de Incentivos às Fontes Alternativas

**RECAI** – Renewable Energy Country Attractiveness Index

**REIDI** – Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura

**REN 21** – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

**REN 482** – Resolução Normativa 482

**RPS** – Renewable Portfolio Standard

**SEB** – Setor Elétrico Brasileiro

**SIN** – Sistema Interligado Nacional

**UE** – União Europeia

**UHE** – Usina Hidrelétrica

---

# Bibliografia

---

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ARMAZENAMENTO E QUALIDADE DE ENERGIA. Fundamentos básicos das tecnologias de armazenamento de eletricidade. Belo Horizonte: ABAQUE (2015). Disponível em: <http://www.abaque.com.br/uploads/armazenamento-energia.pdf>. Acesso em: 21 de setembro de 2015.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil. Brasília: ABDI (2014). Disponível em: [http://www.abdi.com.br/Estudo\\_Backup/Mapeamento%20da%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo_Backup/Mapeamento%20da%20Cadeia%20Produtiva%20da%20Ind%C3%BAstria%20E%C3%B3lica%20no%20Brasil.pdf). Acesso em: 24 de setembro de 2015.

Abdmouleh, Z. et al. Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, pp. 249–262 (2015).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. ABEEólica. Disponível em: <http://www.portalabeeolica.org.br/>. Acesso em: 05 de 09 de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FOMENTO ÀS PEQUENAS CENTRAIS HIDROELÉTRICAS.

Relatório ABRAPCH 003/2015 – As Origens da Crise do Setor Elétrico Brasileiro 2013-2015. Curitiba: ABRAPCH (2015). Disponível em: <http://abrapch.com.br/biblioteca-2/>. Acesso em: 28 de 10 de 2015

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de energia elétrica do Brasil - 2ª edição. Brasília: ANEEL (2005). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>. Acesso em: 04 de agosto de 2015

\_\_\_\_\_. Banco de Informações de Geração. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 10 de outubro de 2015

\_\_\_\_\_. Resolução Normativa 673 de 04 de agosto de 2015.

\_\_\_\_\_. Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012.

\_\_\_\_\_. Tarifa Média por Classe de Consumo e por Região.

Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>  
Acesso em: 10 de outubro de 2015

---

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Série Histórica do Levantamento de Preços e de Margens de Comercialização de Combustíveis Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=66510>. Acesso em: 04 de outubro de 2015.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Relatório Focus de 16 de outubro de 2015. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/?FOCUSRELMERC>. Acesso em: 18 de outubro de 2015.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Geração de Energia e Vapor Renovável. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Apoio\\_Financeiro/Produtos/FI-NEM/energia\\_geracao\\_vapor\\_renovavel.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FI-NEM/energia_geracao_vapor_renovavel.html). Acesso em: 20 de outubro de 2015.

\_\_\_\_\_. Geração de Energia Não Renovável. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Apoio\\_Financeiro/Produtos/FI-NEM/energia\\_geracao\\_nao\\_renovavel.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FI-NEM/energia_geracao_nao_renovavel.html). Acesso em: 20 de outubro de 2015.

CANAL ENERGIA. Mercado de capitais pode ajudar no financiamento da eólica, mas custo é maior. 30 de setembro de 2015. Disponível em: <http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/ma->

[terias/Investimentos\\_e\\_Financas.asp?id=107575](#). Acesso em: 30 de outubro de 2015

Carley, S.. Distributed generation: An empirical analysis of primary motivators. *Energy Policy*, pp. 1648-1659. (2009).

Cavados, G.. Análise do impacto da introdução das fontes intermitentes no setor elétrico brasileiro: estudo de caso da região Nordeste. PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil (2015).

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Preço de Liquidação das Diferenças: Preços Médios. Disponível em: [http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/como\\_ccee\\_atua/precos/precos\\_medios?\\_afLoop=1983362997625821#%40%3F\\_afLoop%3D1983362997625821%26\\_adf.ctrl-state%3D119tj6ddc7\\_4](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/precos_medios?_afLoop=1983362997625821#%40%3F_afLoop%3D1983362997625821%26_adf.ctrl-state%3D119tj6ddc7_4). Acesso em: 21 de outubro de 2015

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS. PCH Notícias. Itajubá: CNRPCH (2015). Disponível em: <http://cerpch.unifei.edu.br/wp-content/uploads/revistas/revista-45.pdf>. Acesso em: 28 de setembro de 2015.

---

Chen, H. et al. Progress in electrical energy storage system: a critical review. *Progress in Natural Science*, 19, pp. 291–312 (2009).

Desertec Concept. Disponível em: <http://www.desertec.org/concept/>. Acesso em: 15 de outubro de 2015

ECOFYS. Flexibility options in electricity systems. Ecofys Consultancy (2014). Disponível em: <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-eci-2014-flexibility-options-in-electricity-systems.pdf>. Acesso em 08 de set de 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Nota Técnica DEA 13/14 - Demanda de energia 2050. EPE, Rio de Janeiro, Brasil (2014).

\_\_\_\_\_. Estimativa da capacidade instalada de geração distribuída no SIN: aplicações no horário de ponta. EPE Rio de Janeiro, Brasil (2015).

\_\_\_\_\_. Plano Decenal de Expansão da Energia 2024. EPE Rio de Janeiro, Brasil (2015).

\_\_\_\_\_. Previsões de carga para o planejamento anual da operação energética 2015-2019, 2ª revisão quadrimestral. EPE Rio de Janeiro, Brasil (2015).

\_\_\_\_\_. Resenha mensal do mercado de energia elétrica, ano VIII, número 94. EPE, Rio de Janeiro, Brasil (2015).

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. Electricity energy storage technology options - a white paper primer on applications, costs and benefits. Palo Alto, EUA: EPRI (2010). Disponível em: <http://www.epri.com/abstracts/pages/productabstract.aspx?ProductID=000000000001020676&Mode=download>. Acesso em: 21 de setembro de 2015.

ERNST & YOUNG. Renewable Energy Country Attractiveness Index. 44. (Junho de 2015).

ESTADÃO. Itaú capta R\$ 1 bi para água e energia renovável. 27 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,itaucapta-r-1-bi-para-agua-e-energia-renovavel-imp,1625250>. Acesso em: 10 de outubro de 2015.

FGV ENERGIA. Cadernos FGV Energia: Gás Natural. Rio de Janeiro: FGV (2014).

GLOBAL ENERGY NETWORK INSTITUTE. Energy storage technologies and their role in renewable integration. San Diego, EUA: GENI (2012). Disponível em: <http://www.geni.org/globalenergy/research/energy-storage-technologies/Energy-Storage-Technologies.pdf>. Acesso em: 29 de setembro de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Prospects for large-scale energy storage in decarbonised power grids. Paris, França: IEA (2009).

---

Disponível em: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy\\_storage.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy_storage.pdf). Acesso em: 25 de agosto de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy technology perspectives 2014. Paris, França: IEA (2014). Disponível em: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy-TechnologyPerspectives\\_ES.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy-TechnologyPerspectives_ES.pdf). Acesso em: 18 de março de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Technology roadmap - solar photovoltaic energy. Paris, França: IEA (2014). Disponível em: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy\\_2014edition.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf). Acesso em: 08 de setembro de 2015,

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Technology roadmap - solar thermal electricity. Paris, França: IEA (2014). Disponível em: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technologyroadmapsolarthermalelectricity\\_2014edition.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technologyroadmapsolarthermalelectricity_2014edition.pdf). Acesso em: 25 de agosto de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The power of transformation - wind, sun and the economics of flexible power systems (executive summary). Paris, França: IEA (2014). Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/npsum/givar2014sum.pdf>. Acesso em: 08 de setembro de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Wind energy - roadmap development and implementation. Paris, França: IEA (2014). Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/How2GuideforWindEnergyRoadmapDevelopmentandImplementation.pdf>. Acesso em: 08 de setembro de 2015.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/br/analises>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.

InterAcademy Council. Lighting the way toward a sustainable energy future. Amsterdã, Holanda: InterAcademy Council (2007). Disponível em: <http://www.interacademycouncil.net/File.aspx?id=24548>. Acesso em: 26 de agosto de 2015.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Renewable Energy Statistics Capacity 2015. Abu Dhabi: Emirados Árabes Unidos IRENA (2015).

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Renewable Power Capacity Statistics 2000-2014. Abu Dhabi: Emirados Árabes Unidos IRENA (2015). Disponível em: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/>. Acesso em: 11 de outubro de 2015,

---

Jong, P. d., Kiperstock, A., & Torres, E. A.. Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, pp. 725–739 (2015).

Lodi, C. (2011). Perspectivas para a geração de energia elétrica no Brasil utilizando a tecnologia solar térmica concentrada. PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

Mahto, T., & Mukherjee, V. Energy storage systems for mitigating the variability of isolated hybrid power system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, pp. 1564–1577 (2015).

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Fator de Emissão de CO<sub>2</sub>. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>. Acesso em: 26 de 10 de 2015.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. Política Nacional sobre Mudança do Clima. Disponível

em: <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima>. Acesso em: 18 de setembro de 2015.

Nowakowski, G. A. Critério para análise de limites e potencialidades da sustentabilidade de fontes de energia: um estudo da cadeia produtiva das Pequenas Centrais Hidrelétricas no Brasil. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia/UTFPR, Curitiba, Brasil (2015).

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Histórico da Operação. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/>. Acesso em: 17 de outubro de 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaração do Rio sobre o meio ambiente e desenvolvimento. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, Brasil (1992). Disponível em <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>. Acesso em: 27 de setembro de 2015.

---

---

Pao, H.-T., & Fu, H.-C. Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, pp. 381–392 (2013).

Pereira, M. G. et al. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, pp. 3786–3802 (2012).

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. *Renewables Global Futures Report*. Paris, França> REN21 (2013). Disponível em: <http://www.ren21.net/future-of-renewables/global-futures-report/>. Acesso em: 15 de outubro de 2015.

Santos, M. A. et al. Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. *Energy Policy*, 34, pp. 481–488 (2006).

TESLA. Tesla Powerwall. Disponível em: <http://www.teslamotors.com/powerwall>. Acesso em: 25 de novembro de 2015

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Lista dos Países do Anexo I. Disponível em: [http://unfccc.int/parties\\_and\\_observers/parties/annex\\_i/items/2774.php](http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php). Acesso em 22 de outubro de 2015.

Vassilev, S. V., Vassileva, C. G., & Vassilev, V. S.. Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. *Fuel*, 158, pp. 330–350 (2015).

WORLD RESOURCE INSTITUTE. Bridging the gap between energy and climate policies in Brazil., Washington, EUA: WRI. (2015). Disponível em [http://www.wri.org/sites/default/files/bridging-the-gap-energy-climate-brazil\\_1.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/bridging-the-gap-energy-climate-brazil_1.pdf). Acesso em: 22 de setembro de 2015.

Zhang, J. et al.. Electricity generation from renewables in the United States: Resource potential, current usage, technical status, challenges, strategies, policies, and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, pp. 454–472 (2013).

---



Usina Hidrelétrica de Fumil  
Resende - RJ

# Transparência & sustentabilidade

**Furnas representa um complexo de 19 Usinas Hidrelétricas,  
68 subestações e 43 parques eólicos.**

- 40% da Energia do Brasil passa por Furnas.
- Energia para mais 60% dos domicílios brasileiros.
- 24.000 km de linhas de transmissão que interligam o Brasil.
- 100% na geração de energia limpa para o Brasil.

# NA NATUREZA, NADA SE PERDE. TUDO SE TRANSFORMA.

**ITAIPU GERA MAIS DO QUE A ENERGIA LIMPA QUE VEM DAS ÁGUAS DO RIO PARANÁ.** Desenvolve também várias iniciativas na área de energias renováveis, como a utilização do biometano obtido a partir dos dejetos de animais e de resíduos orgânicos das propriedades rurais da região. Com isso, combate as emissões de gases do efeito estufa, protege a natureza ao evitar que dejetos cheguem aos rios e proporciona uma alternativa de renda aos produtores locais, além de desenvolver a tecnologia dos veículos movidos com esse biocombustível. Hoje, Itaipu já conta com 36 deles e, em breve, ampliará ainda mais a sua frota a biometano. Resultado da economia já comprovada e fator de geração de renda e desenvolvimento sustentável, para todo o seu território de atuação.



Para saber mais, acesse [www.cibiogas.org](http://www.cibiogas.org)



Mantenedores FGV Energia





---

[www.fgv.br/energia](http://www.fgv.br/energia)