

Guilherme de Azevedo Dantas | Roberto Brandão | Rubens Rosental

A ENERGIA NA CIDADE DO FUTURO

Uma abordagem didática sobre o setor elétrico

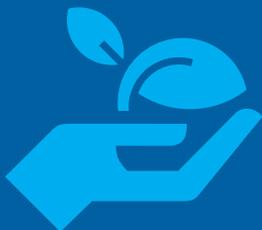
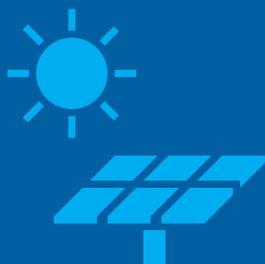
**A ENERGIA
NACIDADE
DO FUTURO**

Avanço
Eficiência
Criatividade
Responsabilidade
Mercado
Inovação
Construção
Conexão
Tecnologia
Desenvolvimento
Debate
Melhorias
Cooperação
Qualidade de vida
Soluções
Atitude
Ideias
Crescimento
Sustentabilidade
Envolvimento
Planejamento
Reflexão
Progresso
Iniciativa
União
Ecologia
Alternativas
Organização

Guilherme de Azevedo Dantas | Rubens Rosental | Roberto Brandão

A ENERGIA NA CIDADE DO FUTURO

Uma abordagem didática sobre o **setor elétrico**



Realização



Roland Berger
Strategy Consultants



Produção

BABILÔNIA

Copyright © 2015 desta edição Babilonia Cultura Editorial

Grafia atualizada segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 1º de janeiro de 2009.

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. É proibida a reprodução total ou parcial sem a expressa anuência da editora.

Direção editorial

Michelle Strzoda

Projeto gráfico

Rafael Nobre

Assistência de projeto

Mariana Gago

Diagramação

Rafael Nobre e Igor Arume

Imagens

Thinkstock by Getty images

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D192e

Dantas, Guilherme.

A energia na cidade do futuro : Uma abordagem didática sobre o setor elétrico / Guilherme Dantas, Roberto Brandão, Rubens Rosental. – Rio de Janeiro : Babilonia Cultura Editorial, 2015.

144 p. : il. ; 25 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-66317-0-5-3

1. Energia elétrica. 2. Energia elétrica - Produção. 3. Energia elétrica - Consumo. I. Brandão, Roberto. II. Rosental, Rubens. III. Título.

CDU 621.31

CDD 621.31

BABILONIA
CULTURA EDITORIAL

Babilonia Cultura Editorial

Avenida Rio Branco 185 | sala 1.710
Centro | Rio de Janeiro | Brasil | 20040-007
55 21 3215-6783 | 3258-3365
contato@babiloniaeditorial.com.br
www.babiloniaeditorial.com.br

Sumário

Prefácio | 6
Introdução | 12
Agradecimentos | 18

- 1. **Condicionantes da produção e do uso de energia nos anos 2030** | 22
- 2. **Geração de energia elétrica: *Status* atual e perspectivas** | 40
- 3. **O setor elétrico do futuro** | 66
- 4. **Dinâmica econômica do setor elétrico** | 96

Sobre os autores | 120
Referências | 122





Prefácio

Nelson Hubner

Diretor-geral da Aneel (2009-2013)



Planejar é ter a capacidade de perceber o mundo com ouvidos e olhos atentos, detectar para onde caminha a humanidade. É também se refazer e se colocar permanentemente em sintonia com as vibrações emanadas de seres vivos. Essas vibrações são de origens diversas. Às vezes, a cultura social leva ao desenvolvimento de tecnologias que atendam às necessidades da população; já em outras ocasiões, são as próprias tecnologias que moldam comportamentos e mudam culturas e hábitos.

Confesso a minha limitação em antever o que significaria para a humanidade um tal de “www” quando ainda no mundo “DOS” – não existiam “janelas” em microcomputadores – me apresentaram a este novo horizonte que surgia. Fiquei tentando utilizar e achei que não condizia com a propaganda que alguns já faziam deste ambiente. De imediato, pensei que este negócio não pegaria. A partir daí, passei a não menosprezar ideias aparentemente esdrúxulas ou mirabolantes; afinal, podem ser um novo “www”.

Quando tratamos de um setor específico da economia como o elétrico, em que o planejamento é ferramenta básica de trabalho, devemos estender este princípio para não nos limitarmos a conceitos e paradigmas correntes que podem provocar o desaparecimento do homem simplesmente por não atender mais aos requisitos e anseios da sociedade. O mundo está cheio de exemplos empresariais ou industriais que foram levados à obsolescência devido a mudanças culturais ou tecnológicas.

A leitura deste livro é, sem dúvida, um pré-requisito para este planejamento eficaz, que deve direcionar esforços de formuladores de políticas públicas, reguladores, gestores empresariais e profissionais do setor na busca de caminhos direcionados aos anseios da sociedade, condição de primeira ordem para tornar efetiva suas ações.

Mas 2030 está próximo. Que grandes alterações tecnológicas ou sociais podem afetar tanto o negócio de energia elétrica? Tente se lembrar do aparelho celular que era usado há vinte anos. Já era 2G? Tinha bluetooth ou WiFi? Acessava a internet? Mas quem vai precisar de todos esses recursos em um telefone? Poderíamos perguntar às

vésperas da virada do milênio. Hoje parecem questões tolas, mas quantos *players* não ficaram fora do mercado porque não vislumbra-ram e por isso não se prepararam para atender novas demandas e anseios de seus clientes os quais nem eles próprios conheciam?

Este livro se assemelha a um filme de ficção científica, no futuro próximo, tentando iluminar esta indústria tão essencial à própria evolução de toda a tecnologia de comunicação que tem modificado comportamentos, criando uma nova cultura, que se reinventa e gera novas necessidades tecnológicas, que impõe novos comporta-mentos em velocidade surpreendente.

O que falará mais alto? A consciência ecológica e universal de preservação do planeta ou o anseio por mais conforto e bem-estar individual? Ou, ainda, um misto de tudo isso? O fato é que o mundo em 2030 será diferente e conseqüentemente, no setor elétrico, haverá muitas mudanças.

Em nosso país talvez ainda não tenhamos o nível da consciência ecológica que leva um cidadão a pagar mais caro por uma energia proveniente de uma fonte limpa como na Europa ou nos Estados Unidos. Boa parte de nossa população deseja um melhor serviço de eletricidade que lhe permita usufruir dos benefícios da tecnologia que ela descobre enquanto cresce sua renda e se reduzem os custos de equipamentos de conforto e lazer. Todos estes caminhos levarão a modificações profundas no setor elétrico.

Quanto anos levaremos para implantar medidores inteligentes e equipamentos automáticos de operação e controle nas redes de distribuição?
Provavelmente será antes do que imaginamos.

Mas e os custos operacionais? E a base de remuneração? Nem existem estes equipamentos no mercado brasileiro e sua depreciação tem uma lógica diferente.

Geração distribuída? Microgeração? Tira receita das empresas distribuidoras e complica todo o sistema de operação centralizado do SIN. Creio que não é o caminho.

Casa inteligente? Consumidor controlando seus equipamentos, sua demanda e seu consumo de energia elétrica? Isso desequilibra a concessão com a redução de receita das distribuidoras. E os consumidores, por sua vez, não têm capacidade nem interesse em controlar equipamentos domésticos. Será?

Carro elétrico? Esqueça. Os grandes fabricantes de veículos com motores a combustão associados à indústria do petróleo vão atrapalhar os planos desta indústria prosperar.

Podemos assumir a postura acima e esperar para ver no que vai dar. Mas, ao que tudo indica, este certamente será o caminho mais curto para o colapso do setor por sua completa obsolescência.

As dúvidas apresentadas estão mais no campo do *quando* acontecerão do que no *se*. Diversas experiências estão sendo testadas e soluções bastante amplas de redes inteligentes (*smart grids*) já são realidade em empresas distribuidoras em muitos países.

Este livro contribui com uma análise bastante ampla das questões aqui levantadas. O material reunido nesta publicação fornece informações valiosas para o debate dos rumos do setor elétrico no Brasil e no exterior.

Inicialmente apresenta uma visão do mundo em 2030, começando com os aspectos sociodemográficos, seguidos pelas modificações nas cidades e nos modos de vida, em especial com a difusão das tecnologias eletrônicas e de comunicação. Analisa os impactos advindos da mudança climática no setor energético, sem dúvida um dos grandes causadores do efeito estufa, e por isso mesmo, um elemento – chave para a contenção dos seus efeitos.

Segue por uma análise mais aprofundada da matriz elétrica mundial e em especial a do Brasil, por sua peculiaridade de já ser uma matriz limpa e renovável, mas que com a inserção das chamadas “novas renováveis” experimentará modificações profundas em termos de custo, tecnologia e característica de operação, em função da intermitência das principais fontes hoje disponíveis.

Encontram-se nesta obra experiências de redes inteligentes, que começam a apontar caminhos e soluções tecnológicas que em um futuro próximo poderão se tornar realidade no mundo inteiro. Também é abordado o impacto da mobilidade elétrica – em especial de carros elétricos – nos sistemas de distribuição que, sem dúvida, modificará os parâmetros atualmente utilizados em termos de planejamento elétrico e operação de redes de distribuição. E por fim não deixa de analisar as tendências comerciais e a dinâmica econômica do setor, o que deverá direcionar mudanças legais e regulatórias que sustentarão toda a transformação que já se inicia no setor elétrico mundial.

Este trabalho, portanto, é uma grande contribuição para que pesquisadores, empresas, reguladores e cidadãos em geral se debruçam sobre os temas e as visões aqui apresentados. Assim poderão aprofundá-los, questioná-los, trazer novos pontos de vista que nos deem condições de nos antecipar e, de fato, colaborar para que todas estas esperadas mudanças aconteçam de forma harmoniosa, em benefício de toda sociedade.

Fica a indagação final: seremos sujeito ou objeto da grande transformação que acontecerá no setor elétrico do Brasil e do mundo?



Introdução

As atividades socioeconômicas possuem a energia como um insumo básico. Porém, a energia é um bem que não tem função em si própria. Logo, é notória a complexidade do setor energético, a qual se fundamenta na transversalidade que a energia possui em relação às esferas social, econômica e ambiental. Tais relações estão ilustradas na figura 1.

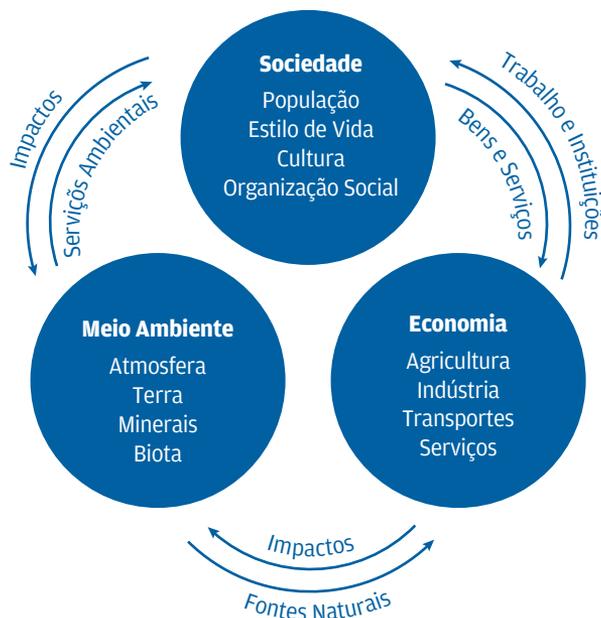


Figura 1 - Transversalidade da energia

Por um lado, existe uma relação entre desenvolvimento socioeconômico e consumo de energia. Dado que o setor energético utiliza recursos naturais como insumo, despeja poluição sobre o meio ambiente e/ou altera ecossistemas, não é possível examinar a produção e o consumo de energia – ou seja, garantir a oferta de energia em bases competitivas de custos – sem considerar seus impactos ambientais. Como se trata de objetivos conflitantes, é perceptível a dimensão do desafio.

Além disso, as características técnicas e econômicas do setor energético o tornam ainda mais complexo. Por um lado, sua essência o torna um bem meritório,¹ ou seja, um bem cujo acesso deve ser garantido. Em vista de seus benefícios socioeconômicos, o suprimento energético deve ser disponibilizado mesmo nos casos em que as forças de mercado não sejam capazes de ofertar a adequada quantidade de energia, justificando a intervenção do Estado no setor. Em contrapartida, a indústria de energia exige vultosos investimentos com longos prazos de maturação e, com isso, o consumo de energia necessita ser pago, – características típicas de um bem privado.

O setor elétrico em especial apresenta uma série de peculiaridades que o analista precisa ter em mente ao examiná-lo. Dada a impossibilidade de estocagem de energia elétrica, existe a necessidade de equilíbrio instantâneo entre oferta e demanda e, por consequência, uma necessidade de coordenação entre todas as etapas de sua cadeia produtiva (geração, transmissão e distribuição). Ao mesmo tempo, embora a energia elétrica em si seja um bem homogêneo, existem restrições técnicas e econômicas para a transmissão de eletricidade em longas distâncias. Observa-se, assim, que sistemas elétricos são geograficamente delimitados, e as especificidades locais, sobretudo a dotação de recursos naturais, precisam ser consideradas na análise.

Sob a ótica econômica, a indústria de energia elétrica é caracterizada como indústria de rede, pautada pela presença de duas falhas de mercado. Por um lado, existe a presença de monopólios naturais, estrutura industrial em que a configuração de mercado mais eficiente é aquela na qual existe apenas uma única firma. Logo, nota-se a necessidade de regulação no setor elétrico para que não haja cobrança de preços abusivos. Concomitantemente, indústrias de rede apresentam barreiras à entrada e à saída de

1. Bem meritório é um clássico exemplo daquilo que a teoria econômica denomina bem público, o qual ocorre quando o benefício (custo) marginal privado de um bem é divergente do benefício (custo) marginal social deste bem (IEA, 2013a).

investidores devido à presença de custos irrecuperáveis inerentes à natureza específica dos ativos exigidos para a realização da atividade.

Embora seja razoável supor que nas próximas décadas ocorrerão mudanças nos padrões de consumo, o exame prospectivo do setor energético permite afirmar que haverá um razoável crescimento da demanda por energia ao longo desse período. Esse crescimento será impulsionado por países em desenvolvimento, que ainda apresentam baixos níveis de consumo de energia e irão requerer aumento de energia com o objetivo de promover avanços socioeconômicos. Entretanto, como os impactos ambientais causados pelo homem ao longo dos últimos 250 anos são notórios – especialmente as alterações climáticas –, a necessidade de sua mitigação consiste em uma relevante restrição à expansão da oferta de energia.

A garantia do suprimento energético de forma sustentável irá requerer o uso mais eficiente dos recursos energéticos e uma utilização de fontes renováveis de energia. Neste sentido, já se verifica a implementação de políticas nesta direção associadas à criação e disseminação de novas tecnologias. Em especial, é preciso atentar para a emergência de tecnologias associadas a sistemas que tendem a representar rupturas de paradigmas tecnológicos: redes inteligentes (*smart grids*) e veículos elétricos.

Em contraste com os sistemas de energia elétrica convencionais que foram construídos de forma integrada com geração centralizada e fluxos de energia unidirecionais, a tecnologia *smart grid* permite o monitoramento do transporte de energia elétrica gerado em diferentes localidades, para atender a demandas variadas através da utilização de avançadas tecnologias de informação e de comunicação. Trata-se de uma tecnologia da maior relevância diante da tendência de aumento da geração distribuída a partir de fontes renováveis intermitentes, na qual consumidores também passam a ser produtores e o sistema elétrico precisará lidar com fluxos de energia bidirecionais.

Já os veículos elétricos representam uma grande mudança do paradigma tecnológico do setor rodoviário, tradicionalmente dominado

por veículos com motores de combustão interna. Considerando a maior eficiência energética dos veículos elétricos, a inserção dos mesmos na frota configura a possibilidade de uma trajetória mais sustentável ao setor de transportes. A disseminação de veículos elétricos trará impactos sobre a carga, pois eles dependerão da infraestrutura de recarga e dos modelos regulatórios adotados. No limite, vislumbra-se que a bateria desses veículos serão utilizadas para o armazenamento de fontes intermitentes de energia. Com isso, os veículos elétricos não irão apenas representar um acréscimo de demanda ao setor elétrico, como também poderão ocasionar mudanças na sua dinâmica de operação e nos modelos de comercialização de energia.

Esta complexidade intrínseca ao setor energético, especialmente em um momento que se prospecta rupturas tecnológicas, é de domínio dos profissionais, especialistas e estudiosos do setor. Porém, o tecnicismo e os dilemas do setor elétrico são comumente desconhecidos pela opinião pública. As informações fornecidas carecem de qualidade ou até mesmo são distorcidas.

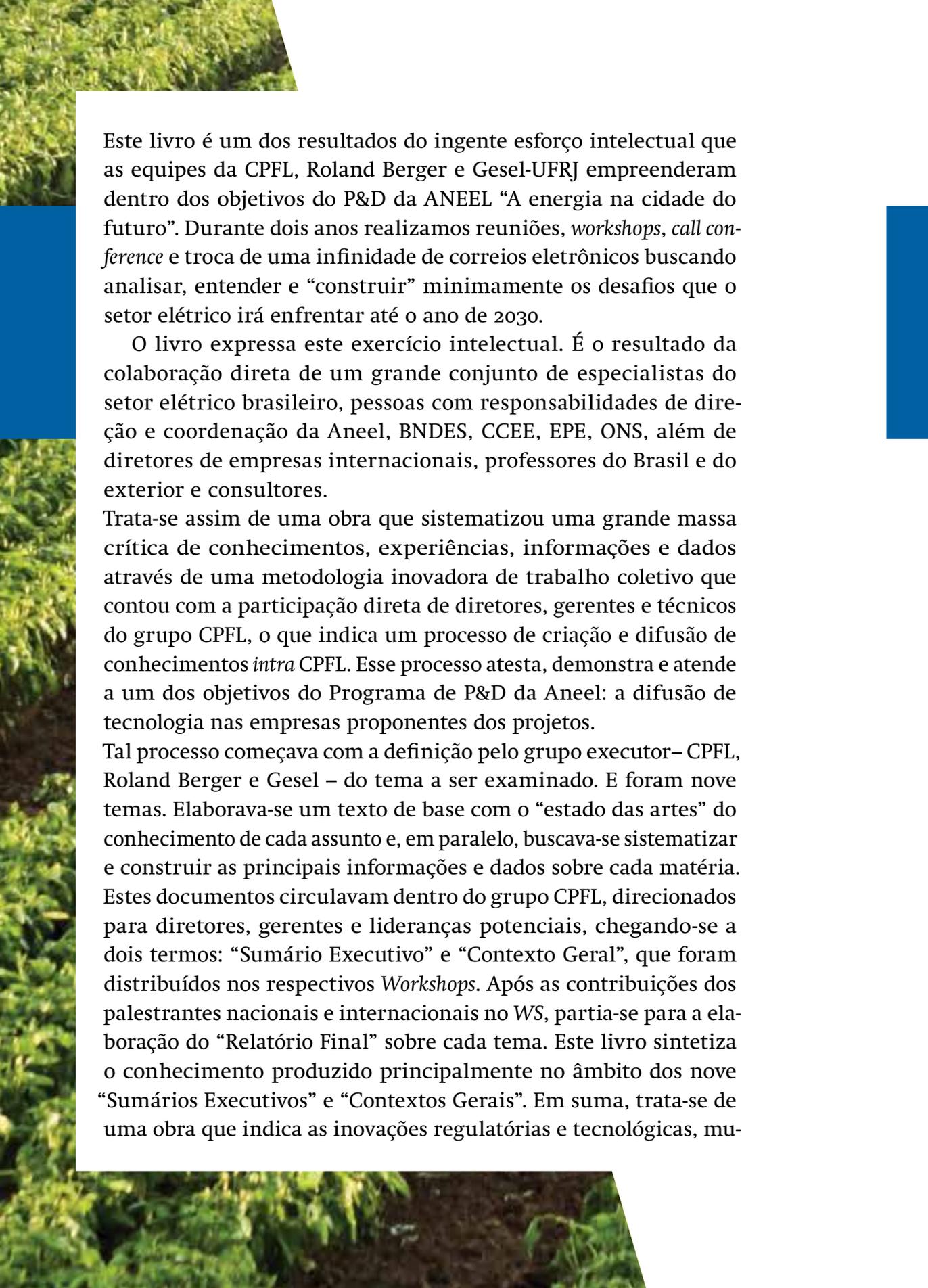
O objetivo deste livro é, portanto, apresentar de forma acessível questões inerentes ao setor energético com vistas a elucidar conceitos e desafios existentes. Espera-se que, com as informações aqui compartilhadas, o leitor menos familiarizado com o setor de energia tenha subsídios para melhor analisar o setor, com capacidade crítica para avaliar as medidas tomadas pelo governo e pelas empresas.

Ao longo dos quatro capítulos, o livro descreve as tendências do setor energético prospectadas para o horizonte temporal da década de 2030. Com este intuito, o capítulo 1, “Condicionantes da produção e do uso de energia nos anos 2030”, aborda uma perspectiva de mundo projetada para 2030 e de que forma a necessidade de mitigar as alterações climáticas consiste em uma importante restrição para o setor energético. Por sua vez, O capítulo 2, “Geração de energia elétrica: *Status* atual e perspectivas”, traça um panorama sobre as matrizes elétricas mundiais, com ênfase nas peculiaridades nacionais. Na sequência, o capítulo 3,

“O setor elétrico do futuro”, trata da mudança do paradigma tecnológico do setor elétrico resultante da disseminação de redes inteligentes e da possível inserção de veículos elétricos na frota. Por fim, o capítulo 4, “Dinâmica econômica do setor elétrico”, discorre sobre as das tendências comerciais e a evolução do ambiente de negócios associadas às mudanças das diretrizes tecnológicas do setor elétrico e como a regulação precisará se adequar a esta nova realidade.



Agradecimientos



Este livro é um dos resultados do ingente esforço intelectual que as equipes da CPFL, Roland Berger e Gesel-UFRJ empreenderam dentro dos objetivos do P&D da ANEEL “A energia na cidade do futuro”. Durante dois anos realizamos reuniões, *workshops*, *call conference* e troca de uma infinidade de correios eletrônicos buscando analisar, entender e “construir” minimamente os desafios que o setor elétrico irá enfrentar até o ano de 2030.

O livro expressa este exercício intelectual. É o resultado da colaboração direta de um grande conjunto de especialistas do setor elétrico brasileiro, pessoas com responsabilidades de direção e coordenação da Aneel, BNDES, CCEE, EPE, ONS, além de diretores de empresas internacionais, professores do Brasil e do exterior e consultores.

Trata-se assim de uma obra que sistematizou uma grande massa crítica de conhecimentos, experiências, informações e dados através de uma metodologia inovadora de trabalho coletivo que contou com a participação direta de diretores, gerentes e técnicos do grupo CPFL, o que indica um processo de criação e difusão de conhecimentos *intra* CPFL. Esse processo atesta, demonstra e atende a um dos objetivos do Programa de P&D da Aneel: a difusão de tecnologia nas empresas proponentes dos projetos.

Tal processo começava com a definição pelo grupo executor – CPFL, Roland Berger e Gesel – do tema a ser examinado. E foram nove temas. Elaborava-se um texto de base com o “estado das artes” do conhecimento de cada assunto e, em paralelo, buscava-se sistematizar e construir as principais informações e dados sobre cada matéria. Estes documentos circulavam dentro do grupo CPFL, direcionados para diretores, gerentes e lideranças potenciais, chegando-se a dois termos: “Sumário Executivo” e “Contexto Geral”, que foram distribuídos nos respectivos *Workshops*. Após as contribuições dos palestrantes nacionais e internacionais no WS, partia-se para a elaboração do “Relatório Final” sobre cada tema. Este livro sintetiza o conhecimento produzido principalmente no âmbito dos nove “Sumários Executivos” e “Contextos Gerais”. Em suma, trata-se de uma obra que indica as inovações regulatórias e tecnológicas, mu-

danças de paradigmas de produção e consumo que o setor elétrico deverá se deparar nos próximos 15 anos

Nestes termos, o nosso agradecimento inicial é para a Aneel, através da Superintendência de Pesquisa e Eficiência (SPE) por ter discutido previamente e orientado a estruturação do projeto. As contribuições dadas foram decisivas para alcançar os resultados. O segundo agradecimento é direcionado para os palestrantes que participaram dos nove *workshops* e dos Cafés Filosóficos realizados dentro da série Inovação do “contemporâneo”, realizada em parceria com o Instituto CPFL Cultura. E por fim à direção do Grupo CPFL, que abriu as agendas de seus profissionais, permitindo uma interação entre os universos da academia e do mundo real, com a decisiva ajuda da Roland Berger.

Nivalde de Castro

Gesel-UFRJ

Coordenador do P&D A energia na cidade do futuro

Conteúdo

André Dorf
Antônio Roberto Donadon
Augusto Luis Rodrigues
Caius Vinícius Sampaio Malagoli
Carlo Linkevieius Pereira
Carlos da Costa Parcias Jr
Carlos Zamboni Neto
Carolyne Muniz Dias
Daniel Marrocos Camposilvan
Daniela Garcia Pizzolatto
Eduardo Atsushi Takeiti
Eduardo dos Santos Soares
Eduardo Henrique Trepodoro
Eduardo Jonas De Miranda
Emerson Massato Terasaki Hioki
Fabio Fernandes Medeiros
Fabio Fick
Fabio Rogerio Zanfelice
Felipe Antonioli
Fernando Mano Da Silva
Flavio Barbosa
Flavio Luiz Marqueti
Gustavo Estrella
Helio Puttini Junior
Helio Viana Pereira
Henrique Sana

Hugo Helito da Silva
Jairo Eduardo de Barros Alvares
Jefferson Alberto Scudeler
Karin Regina Luchesi
Leandro Cappa
Luciano Jose Goulart Ribeiro
Luis Henrique Ferreira Pinto
Luiz Eduardo F. do Amaral Osorio
Marcelo Carreras
Marcelo de Moraes
Marcelo Ferraz
Marco Antonio Bueno
Marco Antonio Villela de Abreu
Marcos Chaves
Marney Tadeu Antunes
Paulo Ricardo Bombassaro
Peter Eric Volf
Rafael Lazzaretti
Ricardo Buratini
Ricardo Motoyama de Almeida
Ricardo Siufi
Rodolfo Coli da Cunha
Rodolfo Nardez Siroi
Sergio Luiz Felice
Silvia Zwi Esteves
Vitor Fagali
Wilson P Ferreira Junior

Palestrantes

Alessandro Leal - Google Brasil
Amílcar Guerreiro - EPE
Antônio Martins - Universidade
de Coimbra (Portugal)
Carlos Henggeler - Universidade
de Coimbra (Portugal)
Eduardo Lopes - Wobben
Gilberto Jannuzzi - Unicamp
Hélio Mattar - Instituto Akatu
Hermes Chipp - ONS
Isabel Soares - Universidade
de Coimbra (Portugal)
Jaap Rieter - Delta (Holanda)
Jim Meadows - Pacific Gas and Electric
Company (Califórnia)
João Dias - Prio.E (Portugal)
José Carlos de Miranda Farias - EPE

Luiz Barata - CCEE
Marcelo Colomer - UFRJ
Nelson Siffert - BNDES
Olivier Murget - Renault (França)
Paulo Esteves - ERSE
Reive de Barros - ANEEL
Ricardo Raineri - Ex-ministro de Energia
do Chile (Chile)
Roberto Schaeffer - COPPE
Rogério Ribeiro - Schnaidder
Romeu Rufino - ANEEL
Sidinei Martini - USP
Suzana Domingues - GE
Wolfgang Bernhard - Roland Berger
(Alemanha)

1. Condicionantes da produção e do uso de energia nos anos 2030





Análises prospectivas da demanda por energia em longo prazo são condicionadas pelas perspectivas do nível de atividade econômica, da estrutura dessa economia e pelos padrões de consumo vigentes. Por sua vez, o suprimento de energia requerido para o atendimento dessa demanda está diretamente relacionado à disponibilidade de recursos e ao paradigma tecnológico vigente.

Ao se vislumbrar as próximas duas ou três décadas, é perceptível que o setor energético apresentará um maior nível de complexidade em comparação com períodos anteriores. Explica-se: não só a demanda tende a crescer a taxas expressivas impulsionada pelos países em desenvolvimento¹, como também existirão restrições ao atendimento dessa demanda crescente impostas pela necessidade de mitigar e se adaptar às alterações climáticas. Podemos acrescentar aqui a imersão e a disseminação de novas tecnologias, além de indícios de que haverá uma atuação mais proativa da sociedade civil perante o Estado e as empresas.

Este capítulo examina as perspectivas do setor energético na década de 2030. Para isso, a primeira seção do capítulo é dedicada à prospecção de variáveis socio econômicas e de tendências tecnológicas. Já a segunda parte apresenta a problemática das alterações climáticas e sua relação com o setor energético, enfatizando os impactos que a mitigação das emissões de gases causadores do aquecimento global terão sobre a produção e o consumo de energia. A partir dos argumentos descritos nessas duas seções, a terceira parte do capítulo trata das tendências do setor energético.

1. O consumo de energia nos países em desenvolvimento permanece bastante inferior aos níveis verificados nos países desenvolvidos. A título de ilustração, em 2011 o consumo *per capita* de energia e de eletricidade foram de, respectivamente, 4,28 tep por habitante e de 8.226 kWh por habitante nos países da OECD. Ao passo que nos países da América Latina os valores registrados foram de 1,28 tep por habitante e de 2.046 kWh por habitante e na África de impressionantes 0,67 tep por habitante e 592 kWh por habitante (IEA, 2013). Dado que existe uma relação entre desenvolvimento socioeconômico e consumo de energia, o crescimento econômico e a melhoria das condições de vida das populações desses países prospectados para as próximas décadas irão resultar em expressivos aumentos da demanda por energia.

Mundo & vida em 2030

A construção de cenários que abragem as tendências para o mundo e para o Brasil nos próximos vinte anos é condição inicial para que se possa compreender as perspectivas do setor energético neste horizonte temporal. Este exame deve englobar perspectivas demográficas e econômicas, tendências tecnológicas e de atuação da sociedade civil e prever a disponibilidade de recursos.

No âmbito demográfico, verifica-se que a população mundial está envelhecendo devido às quedas constantes tanto na taxa de fecundidade quanto de mortalidade. Nos países desenvolvidos, a fecundidade está abaixo do nível de reposição e, por consequência, a população é ainda mais velha. Em contrapartida, nos países em desenvolvimento a taxa de fecundidade segue alta, mas se espera que a população tenda a envelhecer nos próximos anos. Desta forma, segundo estimativas das Nações Unidas,² a população mundial deverá totalizar 9 bilhões de pessoas até 2050.

No caso específico do Brasil, a queda da fecundidade já é verificada em todos os estratos sociais e regiões. Porém, o ritmo dessa queda varia de acordo com a região e com o nível de renda, sendo a fecundidade mais elevada nas camadas de renda mais baixa e de menor escolaridade. Concomitantemente, nota-se queda nas taxas de mortalidade e o natural aumento da expectativa de vida da população. Desta forma, com base em dados do IBGE, é possível se projetar uma população de 220 milhões em 2030, em contraste com a população de 193,9 milhões existente em 2012. Nos próximos anos, o Brasil estará vivendo o denominado “bônus demográfico”, que é derivado de um crescimento da população economicamente ativa a taxas superiores ao crescimento da população dependente.

Em termos econômicos, conforme a OECD,³ nos próximos cinquenta anos a economia mundial irá crescer a uma taxa anual média de 3%. O maior ritmo de crescimento dos países em desen-

2. *World Population Prospect. The 2010 Revision.* Nova York, 2011.

3. OECD. *Looking to 2060: Long-term global growth prospect.* 2012.

volvimento em relação ao crescimento dos países desenvolvidos faz com que a participação das economias emergentes na economia mundial seja crescente.

Já o crescimento da economia brasileira deverá apresentar uma taxa anual média de 4,1%⁴ entre 2011 e 2030, sendo esse crescimento alavancado pelo caráter dinâmico do seu mercado interno⁵ e pela competitividade de suas *commodities*. Além disso, estima-se que nos próximos anos haverá um aumento da taxa de investimento no Brasil impulsionado por obras de infraestrutura.

Uma das maiores modificações da dinâmica mundial no horizonte de duas ou três décadas se dará no âmbito da esfera social. Vislumbra-se o aumento da troca de conhecimentos, diminuição das diferenças de gênero, grande valorização da mão de obra qualificada e, sobretudo, a participação da sociedade civil nas decisões do Estado e na definição de estratégias empresariais. Neste sentido, o conceito tradicional de governança, que já vem mudando nos últimos tempos, deverá migrar de vez para um modelo de governança baseado em uma gestão compartilhada envolvendo o setor público, privado e voluntário ou terceiro setor.⁶ A criação de redes e as parcerias público-privadas tendem a ser processos políticos cada dia mais dominantes e essenciais para a abordagem da governança.

As transformações causadas pela disseminação da internet e das tecnologias de comunicação no setor público podem ser consideradas o começo de uma profunda revolução da governança e da administração pública em geral. A massiva migração digital vem ocorrendo, desde computadores até aplicações telefônicas também abre uma oportunidade para incentivar a e-governança, ou governança eletrônica, com o objetivo de proporcionar maior acesso à

4. OECD. *Looking to 2060: Long-term global growth prospect*. 2012.

5. Para o ano de 2020, espera-se que o Brasil seja o quinto maior mercado consumidor do mundo, atingindo 3,5 trilhões de reais em consumo das famílias. Ver: MANTEGA, Guido. Ministério de Fazenda. *Perspectivas da economia brasileira*. Brasília, 2012.

6. O terceiro setor é composto por associações e fundações que geram bens e serviços públicos, mas sem fins lucrativos, afim de suprir as falhas deixadas pelo Estado. É uma junção do setor público com o setor privado, ou seja, capital privado para fins públicos.

informação para a população, conferindo mais poder à sociedade, gerando meios de influência nas decisões políticas. Desta forma, o desenvolvimento de serviços eletrônicos é um importante habilitador para uma participação mais ativa dos cidadãos e do setor privado na prestação de serviços públicos.

As mudanças tecnológicas não estão restritas ao âmbito das telecomunicações. Prospecta-se que ocorrerão diversas rupturas de paradigmas tecnológicos desencadeadas por processos de inovações radicais. Entre os novos padrões tecnológicos, merece destaque a robotização de atividades cotidianas, que farão com que a realidade virtual associada à internet resulte em alterações da rotina de vida.



Ao mesmo tempo, na esfera da biotecnologia, existirão avanços com vistas a possibilitar ganhos de produtividade e práticas agrícolas mais sustentáveis.

Mais do que o desenvolvimento de novas tecnologias, é relevante o fato de que elas serão adotadas e disseminadas em períodos de tempo cada vez mais curtos. Além disso, e que em conjunto elas possibilitarão o estabelecimento de cidades dotadas de inteligência que poderão fazer um uso eficiente dos recursos e, ao mesmo tempo, garantir a qualidade de vida de seus habitantes.

Em linhas gerais, cidades inteligentes devem buscar gerenciar de forma adequada o consumo de energia e de água, sendo a autossuficiência nesses recursos um objetivo correlato. Em paralelo, essas cidades devem produzir minimizando a quantidade de resíduos sólidos urbanos e a emissão de gases poluentes. Além disso, a existência de condições de mobilidade eficiente possui caráter estratégico em uma cidade inteligente.



Para que haja a efetiva implementação da cidade inteligente, não basta apenas dispor de tecnologia. É imperativo que exista integração entre as cidades e seus sistemas de gerenciamento e controle. Neste sentido, é preciso garantir acessibilidade aos serviços por meio de dispositivos móveis, desenvolvimento de redes



inteligentes de energia elétrica e a pertinência da presença de um centro de operações integrado, que contemple desde o monitoramento do trânsito até a disponibilização de serviços de emergência de bombeiros, policiais e de saúde.

na década de 2030, vislumbra-se que, diversas atividades hoje realizadas de maneira manual serão realizadas de forma robotizada e/ou automatizadas. Concomitantemente, as casas inteligentes deverão estar conectadas a redes de distribuição de energia elétrica

inteligentes e a redes de telecomunicações que permitam a transmissão de dados em tempo real. Assim, os dispositivos domésticos poderão não apenas ser automatizados, como também acionados de forma remota.

Apesar do uso de recursos de forma mais eficiente, a casa inteligente disponibilizará serviços de segurança, saúde e entretenimento para seus usuários. No âmbito da segurança, as residências estarão aptas a





adotar soluções integradas que contemplem monitoramento remoto da residência e sistemas capazes de prever as ações de eventuais intrusos. No campo da saúde, haverá a possibilidade de se ofertar serviços móveis a partir de um monitoramento inteligente dos usuários da residência, especialmente no atendimento da população mais idosa. Dentro desse escopo, setor de saúde ofertará tecnologias de acesso remoto a monitoramento fisiológico e indicadores de

saúde e de assistência funcionando ininterruptamente, com sistema de socorro automático em situações de emergência. Além disso, a casa inteligente oferece novas possibilidades de entretenimento ao usuário através de aparelhos residenciais com maior conectividade, como smart TV, consoles de videogames e serviços de acesso a conteúdos personalizados e remoto, como o de TV *on demand*.

Mudanças climáticas e impactos gerados no setor energético

Devido à sua dimensão global, as mudanças climáticas constituem-se em uma das maiores ameaças ao desenvolvimento sustentável. Enquanto o contínuo processo de transformação da biosfera devido a causas naturais sobre as quais o homem não possui controle⁷ ocorre de forma lenta – o que permite que a vida sobre a Terra se adapte a tais alterações –, as mudanças climáticas verificadas a partir da segunda metade do século XX caracterizam-se por uma grande velocidade, e seus impactos ao longo das próximas décadas tendem a resultar em desequilíbrios na biodiversidade e afetar a exploração de recursos naturais.

A compreensão da extensão e da gravidade das alterações climáticas passa pelo entendimento de que, além do aumento da temperatura média da atmosfera e do oceano. Também as alterações climáticas deverão elevar o nível dos oceanos, também provocarão o derretimento das geleiras e tornararão mais frequentes eventos climáticos extremos, como por exemplo ondas de calor, precipitações e ciclones intensos.

A mudança no clima da Terra com períodos de resfriamento e outros de aquecimento não constitui uma novidade. Entretanto, as alterações climáticas anteriores ocorreram em uma escala de tempo infinitamente superior à verificada nos últimos cinquenta anos, que consiste muito provavelmente no período mais quente

7. As estações do ano, terremotos, erupções vulcânicas, furacões, queimadas em florestas são alguns exemplos de fenômenos naturais sobre os quais o homem não tem como intervir.

dos últimos quinhentos anos. Existem evidências científicas de que o aquecimento global atual é derivado do aumento da concentração de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso na atmosfera ao longo dos últimos 250 anos.⁸

8. Ver quarto e quinto relatórios do Grupo I do IPCC publicados, respectivamente, em 2007 e 2013.





Esse período caracteriza-se por um expressivo crescimento populacional e por um amplo e intenso processo de industrialização e urbanização iniciado em meados do século XVIII com o advento da Revolução Industrial, especialmente nos países hoje dito desenvolvidos. Logo, é pertinente a indagação referente à existência de uma relação entre as atividades socioeconômicas e as alterações climáticas.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em seu quinto relatório declara ser possível afirmar que as alterações climáticas são originárias da ação antropogênica com 95% de certeza. Nota-se que o aumento da concentração de óxido nitroso está associado basicamente à agricultura, enquanto as emissões de metano derivam não apenas de atividades agrícolas, como



também do uso de combustíveis fósseis. No entanto, o principal gás de efeito estufa influenciado pela ação antrópica é o CO_2 . O aumento da concentração de CO_2 está diretamente relacionado ao uso em larga escala de combustíveis fósseis, dado que os ganhos de produtividade da economia e de bem-estar das pessoas nos últimos 250 anos estiveram associados a uma mudança no paradigma energético, no qual a adoção de fontes inanimadas viabilizou avanços tecnológicos nas mais diferentes áreas.

Compreende-se assim por que a produção e o consumo de energia respondem por mais de 60% das emissões mundiais antropogênicas de gases do efeito estufa (UNEP, 2012). Os insumos fósseis representam hoje mais de 80% da oferta mundial de energia. Segundo estatísticas da Agência Internacional de Energia, mais de 95% das necessidades energéticas do setor de transportes são atendidas por derivados de petróleo. Concomitantemente, quase 70% da geração mundial de eletricidade ocorre em centrais termoelétricas movidas a combustíveis, sendo o carvão responsável por mais de 40% dessa geração.

A precaução é um dos princípios regentes das discussões climáticas. Medidas visando à mitigação das emissões de gases do efeito

estufa precisam ser adotadas o mais depressa possível, sobretudo porque postergar só torna o processo de estabilização da concentração de gases do efeito estufa, com vistas a limitar o aquecimento global, mais difícil e custoso.

Uma vez que o setor energético é o principal emissor de gases do efeito estufa, políticas de redução das emissões desses gases estão diretamente associadas a significativas modificações nas diretrizes da produção e do consumo de energia. Logo, é notório que a questão ambiental deve ter caráter prioritário nas políticas energéticas delineadas ao longo do século XXI. Porém, tais políticas também devem garantir uma expansão da oferta de energia para o atendimento de uma demanda que crescerá a taxas expressivas nas próximas décadas, impulsionada pelos países em desenvolvimento.



Essa oferta deverá ter o menor custo possível. Portanto, o desafio imposto ao setor energético é de grandes dimensões, e alterações nos padrões tecnológicos e comportamentais são requeridas.

Em contrapartida, as alterações climáticas impactam o potencial energético disponível, sobretudo em países com expressiva participação de fontes renováveis em sua oferta de energia, como é o caso do Brasil. Assim, a adoção de medidas de adaptação torna-se imperativa.

Tendências do setor energético

Os avanços tecnológicos prospectados para os próximos anos irão resultar em mudanças nos paradigmas do setor energético. A modernização das cidades associada a uma maior preocupação com a questão ambiental resultará no atendimento da demanda por serviços energéticos através de soluções mais eficientes. Ao mesmo tempo, a geração de energia a partir de fontes renováveis irá aumentar sua participação na oferta mundial de energia.

Contudo, para que essas mudanças se realizem, a hipótese de que os consumidores serão mais exigentes em termos da qualidade e da sustentabilidade dos produtos e serviços ofertados torna-se ainda mais relevante. Mesmo em casos em que a adoção de soluções mais eficientes não resulte em ganhos financeiros, o consumidor pode vir a exercer esta opção, motivado por uma maior consciência ambiental. Este mesmo raciocínio é válido para justificar uma predisposição a pagar mais caro pela energia gerada a partir de uma fonte não poluente. Em síntese, as escolhas de quem consome tendem a não ser definidas apenas pelo preço.

De todo modo, para que esta maior sensibilidade dos clientes em relação à qualidade e à sustentabilidade represente um efetivo vetor de mudanças no setor energético, é preciso avançar na definição de novas regras regulatórias de mercado. Elas deverão ser mais representativas e aderentes às preferências dos consumidores.

O uso mais eficiente dos recursos energéticos é condição básica para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa por parte do setor energético. Trata-se aqui de ganhos de eficiência não restritos a medidas de otimização ao longo da cadeia de suprimento energético. Ações incidentes sobre a demanda de energia também estarão contempladas, desde a adoção de dispositivos tecnológicos que permitam um uso final de energia mais eficiente até mudanças comportamentais nos padrões de consumo.

No âmbito da produção de energia, a opção por plantas ciclo combinado movidas a gás natural em vez de plantas ciclo aberto é um típico exemplo de priorização da eficiência.⁹ Na mesma linha, o interesse crescente por sistemas de cogeração – os quais permitem atender duas necessidades energéticas a partir de um mesmo insumo e, por isso, apresentam expressivos níveis de eficiência –¹⁰ reforça a relevância da adoção de tecnologias mais eficientes. Por sua vez, embora a maior parte da queima de carvão em centrais termoelétricas ainda ocorra em condições subcríticas, a adoção da combustão ultracrítica assume grande importância com vistas a possibilitar o uso mais eficiente deste insumo.

Em termos de medidas de eficácia da demanda por energia, estas devem começar pelas que eliminem desperdícios no consumo. Em seguida, deve-se optar por equipamentos e/ou processos mais eficientes no momento em que se realizar um investimento. No limite, tais investimentos devem ser realizados mesmo no caso em que o equipamento em operação ainda não tenha chegado ao fim da vida útil nem esteja amortizado.

Enquanto no setor industrial a eletrificação de acionamentos mecânicos e a adoção de sistemas de recuperação de calor são exemplos de ações promotoras de eficiência energética, no setor

9. Em uma usina termoelétrica ciclo aberto, o calor rejeitado pela turbina a gás é liberado para a atmosfera que atua fechando o ciclo. Este arranjo tecnológico tem eficiência inferior a 40%. Em contrapartida, em usinas ciclo combinado o calor do exaustor é recuperado em uma caldeira e utilizado com fluido de trabalho em uma turbina a vapor. Termoelétricas com ciclo combinado podem atingir eficiências da ordem de 55%.

10. Sistemas de cogeração podem atingir uma eficiência energética global de até 80%.

residencial as possibilidades vão desde a mera escolha de por eletrodomésticos mais eficientes até opções arquitetônicas que reduzam a necessidade de iluminação artificial e revestimentos que minimizem os gastos energéticos com climatização dos ambientes. Já no setor de transportes, verificam-se ganhos de eficiência derivados de melhorias nos motores de combustão interna, redução do peso dos veículos e aprimoramentos aerodinâmicos.

Além de mudanças técnicas, soluções organizacionais e comportamentais são relevantes no gerenciamento da demanda por energia. Por exemplo, é preciso a adoção de políticas que incitem o maior uso do modal ferroviário como meio de deslocamento de pessoas e mercadorias em detrimento do modal rodoviário. Concomitantemente, a intensificação da prática de deslocamentos a pé ou através de transportes não motorizados e a disseminação da prática do *car pooling* constituem-se em importantes instrumentos para promover eficiência energética sob a ótica da demanda. O potencial de conservação de energia a partir de mudanças de padrões comportamentais também é significativo na esfera residen-



cial. A grande dificuldade na exploração desse potencial decorre do fato de que mudanças comportamentais/culturais ocorrem em ritmo lento.

A efetiva mitigação das emissões de gases de efeito estufa também exigirá um considerável aumento do uso de fontes não fósseis e o desenvolvimento de novas tecnologias. Desta forma, compreendem-se os vultosos investimentos realizados no setor elétrico em fontes alternativas e renováveis nos últimos anos, – sobretudo energia eólica – e, mais recentemente, em plantas solar fotovoltaicas. Em paralelo, dada a predominância do carvão na geração elétrica mundial e a existência de abundantes reservas de carvão em diferentes regiões do mundo, o desenvolvimento da queima desse recurso natural sem a emissão de CO₂ assume grande importância. Verificam-se grandes esforços em pesquisa e desenvolvimento da tecnologia na tecnologia IGCC que, ao gaseificar o carvão, permite que o carbono seja capturado de forma mais fácil. Já no setor de transportes, o desenvolvimento de biocombustíveis avançados e de veículos elétricos consiste em grandes apostas, especialmente em função do ceticismo com os biocombustíveis convencionais.

Uma das principais tendências do setor energético será o aumento da relevância da energia elétrica. De acordo com a IEA (2012), enquanto a demanda por energia deverá crescer aproximadamente 35% ao longo dos próximos vinte anos, prospecta-se que a demanda por energia elétrica crescerá 73% até 2035. Embora esta perspectiva seja em boa medida justificada pela necessidade de atender demandas sociais diretamente relacionadas ao uso de eletricidade, a mesma também deriva da constatação de que existe uma tendência para a eletrificação de uma série de demandas que anteriormente eram atendidas a partir de outras fontes energéticas. Um exemplo dessa tendência será a crescente inserção de veículos elétricos na frota.

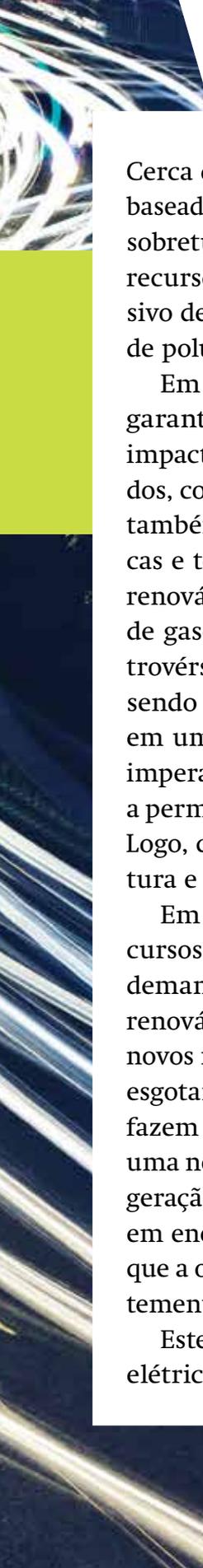
Ainda assim, este ganho de importância da energia elétrica ocorrerá associado a novos padrões de produção e de uso. Por um lado, a utilização mais eficiente dos recursos energéticos impõe a necessidade do gerenciamento do uso da energia; por outro, o aumento da geração a partir de fontes renováveis, as quais caracterizam-se

pela presença de intermitência, também apresenta novos desafios para o sistema elétrico, sobretudo ao se considerar que tal geração em grande medida ocorrerá de forma distribuída dentro de uma dinâmica na qual as casas do futuro irão comercializar com a rede seus excedentes de energia elétrica produzidos. Em paralelo, se em um primeiro momento veículos elétricos resultam na necessidade de desenvolvimento de uma rede de abastecimento dos mesmos, em um segundo momento é possível imaginar que esses veículos poderão armazenar energia em suas baterias, a ser injetada na rede em horários de pico.

Os novos padrões de consumo e as limitações impostas pela necessidade de mitigação das alterações climáticas, conjugados com a emergência de novas tecnologias, irão delinear as perspectivas do setor elétrico. E isso nas mais diferentes esferas: fontes que serão predominantes na expansão da matriz elétrica, implementação da infraestrutura condizente para as redes inteligentes e mobilidade elétrica, operação e regulação do sistema elétrico, definição de modelos de negócios.



2. Geração de energia elétrica: *Status* atual e perspectivas



Cerca de dois terços da geração de energia elétrica no mundo são baseados em centrais termoeletricas movidas a combustíveis fósseis, sobretudo carvão. Esta característica deve-se à abundância deste recurso natural. O resultado ambiental adverso do uso mais intensivo deste insumo é a emissão massiva de gases de efeito estufa e de poluentes locais.

Em anos recentes, devido à necessidade de compatibilizar a garantia de segurança do suprimento com a minimização dos impactos ambientais, muitos países – em especial os desenvolvidos, com predominância da União Europeia, e mais recentemente também a China – estão adotando políticas econômicas, energéticas e tecnológicas para a promoção da geração a partir de fontes renováveis buscando, desta forma, mitigar os efeitos das emissões de gases do efeito estufa. Ao mesmo tempo, apesar de toda controvérsia em relação aos riscos da energia nuclear, esta continua sendo uma alternativa energética que não pode ser descartada em um contexto em que a mitigação de gases do efeito estufa é imperativa. No entanto, as termoeletricas de fontes fósseis tendem a permanecer com ampla participação na matriz elétrica mundial. Logo, compreende-se o interesse crescente por tecnologias de captura e sequestro de carbono.

Em contraste com a realidade mundial, a exploração dos recursos hídricos permite que o Brasil historicamente atenda a sua demanda por energia elétrica essencialmente a partir de fontes renováveis de energia. Porém, a impossibilidade de construção de novos reservatórios de acumulação de água e, no limite, o próprio esgotamento do potencial hídrico em um horizonte de vinte anos fazem com que a diversificação da matriz elétrica brasileira seja uma necessidade. Logo, vislumbra-se um considerável aumento da geração térmica ao longo dos próximos anos, mas investimentos em energia eólica e solar e em bioeletricidade poderão fazer com que a oferta brasileira de energia elétrica permaneça predominantemente renovável.

Este capítulo apresenta características e perspectivas da matriz elétrica mundial, mas sobretudo da brasileira. Serão analisadas

as tendências da oferta de energia elétrica em nível mundial e, em seguida, as características da matriz elétrica brasileira, suas peculiaridades e quais são os elementos que tornam necessária sua diversificação.

Matriz elétrica mundial

A matriz elétrica mundial apresenta predominância de termoeletricas movidas a combustíveis fósseis. A participação das fontes fósseis totalizado 67% da produção total de eletricidade em 2010, sendo apenas a produção a partir do carvão responsável por 41% da energia elétrica produzida no mundo (IEA, 2102a).

Além da mencionada emissão de gases de efeito estufa destacada no capítulo 1, a geração termoeletrica a partir da combustão de insumos fósseis resulta na emissão de poluentes locais – entre os quais devem ser destacados o material particulado, SOx e o NOx. Soma-se a isso o fato de que essa predominância termoeletrica constitui-se em fonte de insegurança energética para países dependentes da importação de combustíveis, este é justamente o caso dos países da União Europeia.



Mudanças estruturais na matriz elétrica mundial irão afetar diretamente a participação das fontes não renováveis. Essas mudanças são determinadas, basicamente, pela dinâmica de três vetores: ambiental, econômico e de segurança energética.

Em primeiro lugar, é preciso analisar o processo de substituição do carvão pelo gás natural no mercado dos Estados Unidos, dado o poder mundial de difusão tecnológica e de modelos de negócio na área energética desse país. Recentemente, a substituição do carvão se deu em boa medida graças à queda do preço do gás no mercado norte-americano após a crise de 2008, consequência da rápida expansão da exploração do gás não convencional nos EUA. Em longo prazo, a substituição da geração a partir de centrais térmicas a carvão por termoelétricas a gás de ciclo combinado deve seguir uma lógica que não é apenas econômica, mas envolve considerações de ordem ambiental e de segurança energética.

Cerca de 70% das usinas a carvão dos EUA, que por sua vez representam metade do parque térmico total, têm mais de trinta anos, sendo que 33% têm mais de quarenta anos (EGGERS, 2010). Logo, todas estas usinas mais antigas são candidatas a saírem de operação até 2030, devido tanto ao tempo de uso como ao fato de pertencerem a uma geração de termoelétricas com níveis de eficiência relativamente baixos e que, ao mesmo tempo, apresentam altas emissões de poluentes. Como há o risco crescente de serem aplicadas taxas pela emissão de CO₂ e como já estão sendo exigidos índices máximos de emissão cada vez mais rigorosos, são necessários investimentos vultosos para adequação às exigências, o que faz com que o custo econômico de reposição das usinas a carvão não se mostre competitivo.

Como usinas a gás de ciclo combinado possuem condição de gerar energia de forma mais eficiente e o gás natural é um insumo menos poluente, tais usinas tendem a estar enquadradas dentro das normas da agência ambiental norte-americana. Observa-se, assim, um estímulo econômico e ambiental para este processo de substituição. Essa tendência vem se acentuando devido à produção crescente em gás não convencional (sobretudo *shale gas*) nos EUA

derivada de inovações tecnológicas e grandes investimentos que estão sendo realizados.¹

Como resultado, pode-se prever que o processo de ampliação do gás natural não convencional na matriz elétrica do EUA será forte e consistente nos próximos 15 anos. Esta nova realidade energética permitirá que os EUA assumam nos fóruns de negociações internacionais sobre mudanças climáticas uma posição mais proativa, já que o gás de xisto e a substituição de parte do parque térmico a carvão permitirão uma desaceleração da taxa de crescimento da emissão de gases de efeito estufa.

Esse processo está ocorrendo nos Estados Unidos a custos marginais decrescentes, permitindo condições de competitividade excepcionais à economia norte-americana, além de aumentar a segurança energética via redução da dependência das importações de petróleo e gás natural.² No entanto, estas condições são muito específicas da experiência norte-americana, sendo derivadas em parte de economias externas que os EUA detêm graças ao preexistente complexo produtivo de petróleo e gás que inclui uma rede muito capilar de gasodutos e oleodutos.

Por outro lado, embora a queda do preço do gás no mercado norte-americano não tenha repercutido diretamente no preço do gás no mundo – o que é uma decorrência direta do fato de inexistir infraestrutura para exportação de gás nos EUA –, houve uma alteração global no preço relativo do gás em relação ao carvão. A queda no preço do gás no mercado norte-americano minimizou a demanda interna por carvão, reduzindo os preços deste insumo energético que, ao contrário do gás, passou a ser exportado em maior quantidade. A consequência global do barateamento do gás no mercado norte-americano não foi, portanto,

1. A perfuração horizontal de poços para a produção de gás de xisto acarretou a a contaminação da água.

2. Pode-se verificar, guardadas as especificidades históricas e econômicas, analogia com o processo de substituição do carvão pelo gás do mar do Norte ocorrido na matriz energética da Inglaterra na década de 1980.

o barateamento do gás em nível global, mas sim do carvão, que ganhou competitividade como combustível para geração de energia fora do mercado norte-americano.

Desta forma, considerando a abundância do carvão no mundo e a ligação entre os preços do carvão e do gás, não é plausível supor que, no horizonte dos anos 2030, haverá um barateamento global do gás capaz de causar uma substituição em larga escala do carvão pelo gás natural, com base em motivações estritamente econômicas.

Em linhas gerais, mesmo prospectando-se uma redução na geração termoelétrica em países desenvolvidos, na ausência de robustas políticas de mitigação das emissões de gases do efeito estufa os combustíveis permanecerão predominantes na matriz elétrica mundial, sobretudo devido à grande dependência da China e da Índia em relação ao carvão. Especificamente sobre o carvão, no cenário em que são mantidas as atuais políticas, sua participação na energia gerada em nível mundial aumentaria ligeiramente: de 41% hoje para 42% em 2035. No cenário intermediário, em que novas políticas são implementadas, a participação do carvão baixaria a 33% do total, com queda substancial para 25%, caso sejam implementadas globalmente rigorosas e custosas políticas de controle de emissões.

Observa-se, assim, a tal incompatibilidade dessa tendência com a necessidade de mitigar emissões de gases do efeito estufa discutida no capítulo 1. Neste sentido, especial atenção deve ser concedida à captura e ao sequestro de carbono com vistas a utilizar combustíveis fósseis de forma compatível com uma economia de baixo carbono. Mais especificamente, dada a predominância do carvão na geração elétrica mundial e a existência de abundantes reservas desse recurso natural em diferentes regiões do mundo, o desenvolvimento da queima de carvão sem a emissão de CO₂ assume grande importância. Verificam-se também vultosos esforços em pesquisa e desenvolvimento da tecnologia IGCC que, ao gaseificar o carvão, permite que o carbono seja capturado de forma mais fácil.

Por sua vez, a energia nuclear não pode ser descartada como parte integrante da promoção de uma economia de baixo carbono.

Trata-se de uma fonte de geração de energia elétrica que não emite gases do efeito estufa. Embora o acidente da usina nuclear de Fukushima no Japão em 2011 tenha levado diversos países a tomar a decisão de desligar e/ou não construir novas centrais nucleares, alguns governos já estão revendo posições.

No entanto, antes dos questionamentos relativos à segurança de centrais nucleares, os quais se intensificam após acidentes, é preciso considerar que essas centrais apresentam elevados custos de investimento. Logo, não chega a ser incomum carecerem de competitividade. Desta forma, em muitos casos a motivação principal para investimentos em centrais nucleares é a busca por segurança energética, sendo a questão ambiental secundária.

Neste contexto, investimentos em fontes renováveis de energia elétrica são urgentes para mitigação das emissões de gases do efeito estufa do setor energético. O exponencial crescimento da capacidade de geração eólica nos últimos anos é bastante ilustrativo de como o interesse por fontes renováveis é crescente. Recentemente, também passou a ser verificado um expressivo aumento do parque gerador fotovoltaico mundial, sobretudo na forma de geração distribuída.



Geração de energia elétrica: *Status* atual e perspectivas



Contudo, estas fontes renováveis apresentam custo superior às tecnologias convencionais, de modo que não podem ser adotadas nem disseminadas, *grosso modo*, exclusivamente com base nas forças de mercado, sobretudo ao se considerar incertezas técnicas, comerciais, regulatórias e do ambiente de negócios inerentes ao desenvolvimento e disseminação de novas tecnologias. Desta forma, são necessárias políticas industriais e setoriais que utilizem instrumentos desde a criação de mercados para essas fontes até incentivos para a pesquisa e desenvolvimento da indústria. Como ilustração, a política de tarifas *feed in* resultou na contratação de grandes montantes de energia eólica na Alemanha e na Espanha, enquanto na China uma forte intervenção estatal permitiu a criação de toda uma cadeia de valor no âmbito da indústria de fontes alternativas e renováveis de energia.

Para se ter uma ideia, ao fim de 2013 a potência instalada mundial de energia eólica e de solar fotovoltaica eram de, respectivamente,



318 e 139 GW. Estes investimentos foram impulsionados por políticas de incentivos motivadas em grande medida pela necessidade de reduzir os impactos ambientais oriundos da geração de energia elétrica. Por sua vez, de acordo com dados de REN21 (2014), apesar de ter atualmente uma capacidade instalada no mundo de 3,4 GW, a tecnologia de geração de energia elétrica a partir de concentradores solares também precisa estar contemplada na expansão do parque gerador, especialmente levando-se em conta que ela permite estocar energia na forma de vapor e, desta forma, apresenta uma intermitência menor que a verificada em plantas fotovoltaicas e de energia eólica. Já a geração de eletricidade a partir da biomassa justifica-se em locais com condições climáticas adequadas a cultivo de biomassa com elevadas produtividades, como é o caso do Brasil.

A peculiar matriz elétrica brasileira

Ao contrário do que ocorre com a matriz elétrica mundial, o Brasil ocupa uma posição ímpar no cenário elétrico mundial, em função da predominância das fontes renováveis, em especial da hidroeletricidade. Assim, a motivação para inserção de fontes alternativas



e renováveis de energia na matriz elétrica brasileira não está vinculada à questão ambiental, mas sim às mudanças do paradigma operativo do sistema elétrico brasileiro.

O desenvolvimento e a consolidação do sistema elétrico brasileiro ao longo do século XX ocorreram através da construção de hidroelétricas de grande porte, em diferentes bacias hidrográficas, muitas das quais com reservatórios de acumulação.³ Em paralelo, foi construído um sistema interligado por linhas de transmissão de dimensões continentais.

A segurança do abastecimento depende da capacidade de regularizar a oferta de energia ao longo dos anos através do armazenamento de água em grandes reservatórios, com complementação de termoelétricas apenas em situações de hidrologia desfavorável. Os reservatórios ainda hoje são capazes de estocar energia suficiente para abastecer o mercado durante o período seco do ano, caso estejam relativamente cheios no fim da estação úmida. As termoelétricas são usadas como geração complementar para substituir parcialmente as hidroelétricas em hidrologias desfavoráveis.

Desta forma, o Sistema Interligado Nacional (SIN) tem sido capaz de atender mais de 90%⁴ da carga a partir da geração hidroelétrica em anos de hidrologia normal ou favorável. Estes dados indicam uma consistente vantagem comparativa para a economia brasileira, porque a hidroeletricidade é uma energia limpa e renovável com custos extremamente competitivos. O acionamento das termoelétricas, feito quase sempre na base da curva de carga, permite encher mais rapidamente os reservatórios das hidroelétricas quando as aflúncias são baixas durante o período úmido, ou então permite

3. Embora toda usina hidroelétrica possua um reservatório associado, os mesmos se diferem em dois tipos em função de sua capacidade de regularização; esta distinção interfere no regime de operação da usina. Por um lado, os reservatórios de compensação possuem volume suficiente apenas para a regularização de descargas semanais ou diárias. As usinas que possuem reservatórios de regularização são denominadas usinas fio d'água. Por outro lado, os reservatórios de compensação permitem a regularização não somente de razões mensais, como de anuais e, até mesmo, de vários anos devido a suas grandes capacidades e volumes.

4. Conforme histórico da geração no site do ONS.



um deplecionamento mais lento dos reservatórios quando o nível destes se mostra relativamente baixo durante o período seco. O resultado desta dinâmica é que as termoeletricas têm um nível médio de ociosidade alto.

Como o Brasil ainda possui um expressivo potencial hídrico a ser explorado, a construção de novas centrais hidroelétricas é uma estratégia pertinente e eficiente enquanto existirem recursos hídricos disponíveis, a exemplo do que os países mais desen-

volvidos fizeram.⁵ Assim, compreende-se a política energética brasileira ter a exploração do potencial hídrico remanescente como uma diretriz prioritária.

Apesar das dificuldades crescentes para a obtenção de licenciamento ambiental, o processo de aproveitamento do potencial hídrico da região amazônica encontra-se em curso com a construção de usinas nos rios Madeira, Xingu e Teles-Pires. Entre as grandes bacias hidrográficas da margem sul do Amazonas, a única ainda não explorada é a bacia do Tapajós, mas os estudos para o seu aproveitamento nos próximos anos estão em andamento, focados no dimensionamento e na superação dos inúmeros entraves oriundos da esfera socioambiental.⁶

Em realidade, vislumbra-se que, além da construção de grandes centrais hidroelétricas, os aproveitamentos de médio porte serão explorados em função do papel estratégico que as centrais hidroelétricas desempenham no SIN, oferecendo energia elétrica segura, limpa, renovável e barata. Em contrapartida, no âmbito das pequenas centrais hidroelétricas (PCH) o processo tende a ser mais moroso, pois, apesar de se tratar de uma tecnologia madura, a reduzida escala dos empreendimentos torna o custo unitário da energia gerada bastante superior ao custo de centrais hidroelétricas de grande e médio porte, bem como das outras fontes.

As PCH não vêm apresentando condições de competitividade nos leilões genéricos frente aos projetos eólicos e, até mesmo, diante de projetos de bioeletricidade canavieira. No entanto, por se tratar de uma fonte de energia limpa, justifica-se a formatação de políticas públicas para promoção deste tipo de projeto.

5. De acordo com Tolmasquim (2011), a Alemanha já aproveitou 83% do seu potencial hidroelétrico tecnicamente aproveitável, enquanto a França utiliza a totalidade dos seus aproveitamentos hídricos.

6. A região amazônica caracteriza-se pela predominância de áreas de preservação, florestas e reservas indígenas, logo existe um conflito potencial entre o uso da terra, preservação do meio ambiente e aproveitamento dos recursos hídricos. A situação é agravada pelo fato de a exploração dos recursos naturais estar se processando de modo predatório e os fluxos migratórios ocorrerem de forma desordenada em um contexto de baixo capital humano, desintegração econômica e limitações logísticas (CASTRO et al., 2012).

No horizonte temporal da década de 2030, a maior parte do potencial hídrico econômico e ambientalmente viável já deverá ter sido explorada. A hidroeletricidade continuará tendo uma participação preponderante, embora decrescente, na oferta brasileira de energia elétrica. Prospecta-se que as centrais hidroelétricas responderão por aproximadamente 73% da capacidade instalada em 2030 (dados que incluem importação), e a tendência é que esta participação caia ainda mais nos anos seguintes (EPE, 2007).

No entanto, o paradigma de operação do sistema elétrico brasileiro será distinto daquele verificado no século XX. Esta mudança deriva do fato de a expansão da capacidade de geração hidroelétrica estar baseada em centrais do tipo fio d'água, implicando uma expansão da oferta com redução da capacidade de armazenamento de energia nos reservatórios. Entre 2012 e 2021, o parque hidroelétrico terá uma expansão de 40%, enquanto a capacidade de armazenamento dos reservatórios crescerá apenas 5% (EPE, 2012). Frente ao crescimento da carga, o corolário inevitável da construção de centrais a fio d'água será a redução da capacidade de regularização da oferta de energia hidroelétrica ao longo dos anos.

Concomitantemente, a geração de energia hídrica vai se tornar crescentemente sazonal devido à concentração no primeiro semestre da geração das novas usinas a fio d'água da região Norte, principalmente nas bacias dos rios Madeira, Tapajós, Xingu e Tocantins. É possível utilizar o sistema interligado para transferir a energia destas usinas para os centros de carga na época de grandes aflúências e, com isso, permitir o enchimento mais rápido dos reservatórios existentes. Mas este tipo de mecanismo tem limites, até porque as cascatas das regiões Sudeste e Nordeste que possuem grandes reservatórios não terão potência instalada suficiente para abastecer o país durante a estação seca.

Como resultado direto das características da expansão da geração hidroelétrica, haverá uma crescente e inevitável necessidade de diversificação da matriz brasileira para complementar a geração hídrica cada vez mais sazonal, mas o Brasil apresenta

condições de diversificar sua matriz mantendo uma expressiva participação de fontes renováveis.

As energias eólica e solar e a bioeletricidade deverão exercer importante papel na expansão da matriz elétrica brasileira. A pertinência de uma maior inserção da energia eólica e da bioeletricidade canavieira na matriz do país advém da intrínseca complementariedade destas fontes em relação ao regime de afluições. Já a expansão da oferta de energia solar fotovoltaica está relacionada à sua adequação como fonte de geração distribuída.

No caso da energia eólica, trata-se de uma fonte renovável e complementar ao regime das afluições. Logo, constitui-se em uma relevante alternativa para a expansão da matriz elétrica brasileira. Com um potencial eólico estimado em mais de 300 GW, a contratação de grandes montantes de energia eólica representa uma alternativa consistente sob o ponto de vista econômico e ambiental.

A complementariedade dos recursos eólicos é mais contundente na região Nordeste⁷ e no Norte de Minas Gerais, onde justamente se concentra o maior potencial eólico do país. Nessas regiões, os melhores ventos ocorrem entre junho e novembro, época de baixas afluições tanto no Nordeste como no Norte, no Sudeste e no Centro-Oeste. Assim, justifica-se a inserção da energia eólica na matriz elétrica brasileira em uma escala condizente com o seu potencial. O crescimento da potência de geração eólica pode ser visto como um aumento “virtual” da capacidade dos reservatórios, pois diminui o ritmo de deplecionamento dos reservatórios ao longo do período da seca.

O Brasil possui uma potência eólica instalada de aproximadamente 3.800 MW, sendo que a potência total contratada até 2018 já é da ordem de 13.000 MW. Destaca-se que a inserção da fonte eólica na matriz elétrica brasileira vem ocorrendo em bases extremamente competitivas. A redução em cerca de 35% no

7. Os melhores ventos do Nordeste estão na costa dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte e no interior da Bahia (JONG et al., 2013).

custo do investimento permitiu que a energia eólica no Brasil se tornasse competitiva, mesmo frente a projetos hidroelétricos de médio porte.

Os ganhos de competitividade da energia eólica no Brasil são derivados de um conjunto de fatores, destacando-se o desenvolvimento da indústria de turbinas eólicas, a política de desoneração tributária dos equipamentos, as condições de financiamento concedidas pelo BNDES e os incentivos fiscais estaduais e municipais. Além disso, a crise econômica mundial, ao impactar o mercado de equipamentos para geração eólica, sobretudo na Europa, resultou em uma tendência de baixa nos custos de investimento das eólicas.

Entretanto, o exato entendimento da competitividade da energia eólica no Brasil requer a análise dos fatores de capacidade dos projetos que estão sendo contratados. A intensidade e a regularidade dos ventos brasileiros têm possibilitado recentemente a contratação de projetos com fatores de capacidade superiores aos verificados internacionalmente.⁸ Isto se deve em parte à qualidade dos ventos em alguns lugares, sobretudo do Nordeste, que estão entre os melhores existentes no país e que podem não ser representativos do potencial eólico brasileiro. Por outro lado, a tendência recente no desenho de parques eólicos favorece a obtenção de altos fatores de capacidade, na medida em que se mostra econômico instalar torres altas, com rotores de grandes dimensões em aerogeradores de capacidade relativamente baixa. Este tipo de desenho permite a geração a plena capacidade, mesmo com ventos moderados, tornando o projeto financeiramente atrativo, ainda que com custos mais baixos de energia.

Duas ressalvas precisam ser feitas em relação à forma como a energia eólica vem sendo inserida no sistema elétrico brasileiro:

8. O fator de capacidade dos parques eólicos britânicos entre novembro de 2008 e dezembro de 2010 foi de 24% (STUART YOUNG, 2011). Na Alemanha, em 2012, o fator de capacidade das eólicas foi de 17,5%. No Brasil, há fazendas eólicas ofertadas em leilão com fatores de capacidade da ordem de 50%.

- 1.** Dado que a energia eólica é irregular e não controlável, a questão do atendimento da ponta do sistema passa a exigir cuidados especiais. O parque gerador precisa ter uma capacidade instalada consideravelmente superior à demanda de ponta. O sistema elétrico brasileiro historicamente tende a, em condições normais, possuir alguma capacidade de reserva devido à necessidade de um parque gerador essencialmente hidroelétrico dispor de capacidade instalada, tanto hídrica como térmica, bastante superior à demanda de ponta.⁹ Porém, no futuro, a diminuição da oferta hídrica das novas usinas a fio d'água na região Norte no segundo semestre tende a tornar o balanço de ponta delicado nessa época do ano. Assim, uma expansão em ritmo acelerado da capacidade instalada eólica, sem uma concomitante contratação de usinas termoelétricas ou de aumento de capacidade de hidroelétricas existentes em cascatas com reservatórios de acumulação, pode vir a exacerbar os problemas de atendimento de ponta no SIN.
- 2.** Por outro lado, o potencial eólico se localiza distante dos centros de carga, necessitando de investimentos na expansão e em reforços do sistema de transmissão.

É preciso analisar os preços de contratação de energia eólica derivada dos leilões, pois os valores podem não contabilizar os custos indiretos da tecnologia, que são a necessidade de reserva e de reforços na transmissão de longa distância.

Outra questão a ser tratada é a do desenvolvimento de tecnologia nacional. A instalação de fabricantes de turbinas eólicas no Brasil e a contratação de expressivos montantes de energia eólica ainda não foram capazes de induzir o desenvolvimento de tecnologias projetadas em linhas com as especificidades e características brasileiras. Ou seja, a expansão da indústria eólica no Brasil ainda não domina esta tecnologia, contemplando o conhecimento e a produção local de todas as fases do processo.

9. O recorde de ponta do SIN em 2011, segundo o ONS, foi de 71 GW para um sistema com 105 GW de capacidade instalada (ONS, 2011 e 2012).

Por sua vez, a geração de eletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar também tem características adequadas para funcionar como geração sazonalmente complementar à hidroeletricidade. O potencial da bioeletricidade está concentrado na região Centro-Sul do país, que detém aproximadamente 70% da capacidade dos reservatórios brasileiros.

O caráter complementar entre a bioeletricidade canavieira e o regime fluvial do Sudeste se dá pela concentração da geração na época da safra canavieira, que coincide com o período seco do ano, entre abril e novembro. Em paralelo, a bioeletricidade sucroenergética também se constitui em importante fonte de geração distribuída, já que o cultivo da cana é feito relativamente próximo aos principais centros de carga do país, o que reduz a necessidade de expansão do sistema de transmissão.

Nos últimos anos, foram contratadas térmicas a biomassa através de leilões de energia nova.¹⁰ Tanto as novas usinas sucroenergéticas (*greenfields*) quanto as reformas e as ampliações de usinas existentes (*retrofits*) incluem plantas de cogeração aptas a gerarem energia elétrica destinada à comercialização. De fato, a geração de energia elétrica passou a integrar o core business do setor sucroenergético. Atualmente, qualquer projeto de investimento em uma nova usina contempla os custos e receitas oriundas da comercialização de eletricidade.

O potencial de geração de bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar é função da disponibilidade de biomassa e da tecnologia adotada. No âmbito da biomassa disponível atualmente, a crescente adoção da colheita mecânica, que elimina a prática da queimada, permitirá o aproveitamento de parte da palha como insumo energético. Esse aproveitamento deve ser da ordem de 50%, porque a outra metade necessita permanecer no campo por razões agrícolas.

Por sua vez, vislumbra-se uma ruptura no âmbito tecnológico com o desenvolvimento da gaseificação da biomassa para a geração de eletricidade em plantas ciclo combinado (BIG/GTCC), em substituição

10. Essas térmicas adicionaram uma potência de 4.858 MW ao parque gerador brasileiro.

ao atual padrão tecnológico, baseado em plantas com Ciclo Rankine. Uma planta BIG/GTCC possui uma produtividade aproximadamente 70% maior do que as plantas atuais.¹¹

Desta forma, supondo que em 2030 toda colheita da cana será mecanizada e que 30% das usinas produzam eletricidade em unidades BIG/GTCC e as demais em plantas Ciclo Rankine,¹² estima-se um potencial de 26.000 MWmed¹³ de bioeletricidade comercializável. Ao comparar este valor com a carga de 125.768 MWmed projetada para 2030 (EPE, 2007), torna-se evidente a importância que a bioeletricidade tende a assumir no atendimento da demanda brasileira por energia elétrica, em especial com a complementaridade à hidroeletricidade que foi assinalada anteriormente. No limite, estima-se uma disponibilidade total de 47.000 MWmed entre abril e novembro (EPE, 2007), justamente o período seco do ano.

Contudo, a expansão da capacidade de geração de bioeletricidade é dependente da dinâmica do setor sucroenergético, tendo em vista que o bagaço e a palha são resíduos da atividade principal, isto é, da produção de etanol e de açúcar. Por exemplo, a estagnação que o setor atravessa nos últimos anos é responsável pela participação discreta da bioeletricidade nos últimos leilões de energia. É razoável supor que, na medida em que o setor volte a se expandir, em especial com o recente apoio do governo,¹⁴ a bioeletricidade volte a ser competitiva nos leilões. Destaca-se, então, a relevância do acompanhamento das perspectivas da demanda dos produtos principais

11. Considerando uma utilização de 50% da palha disponível, DANTAS (2013) estima a produtividade da tecnologia BIG/GTCC em 269 kWh por tonelada de cana processada, e a de uma planta Ciclo Rankine com turbinas de condensação e extração e caldeiras de alta pressão em 155 kWh por tonelada de cana processada. Ambos os valores se referem a energia apta a ser comercializada após se descontar a energia para autossuprimento da usina.

12. Mesmo admitindo que a tecnologia BIG/GTCC será a técnica dominante em 2030, ainda existirá um considerável número de plantas Ciclo Rankine em operação que não terão chegado ao fim de suas vidas úteis.

13. Baseada em uma safra de 1,2 bilhão de toneladas de cana.

14. O governo eliminou a incidência de PIS/COFINS sobre o etanol e reduziu as taxas de juros nas linhas de financiamento disponibilizadas pelo BNDES ao setor sucroenergético.

do setor. Em especial, a análise prospectiva do mercado de etanol exige atenção. Além à interdependência em relação ao mercado de gasolina e da política de preços, no horizonte temporal de 2030 a inserção no mercado de veículos com novos sistemas de propulsão, especialmente veículos elétricos a bateria, pode ser importante variável a influenciar a demanda por etanol.

Mesmo que a expansão do setor determine grande disponibilidade de biomassa, não existe garantia que tal biomassa seja destinada exclusivamente para a produção de eletricidade. Em médio/longo prazo estarão disponíveis alternativas tecnológicas para o aproveitamento do bagaço e da palha, como a produção de etanol lignocelulósico, álcoois superiores, líquidos de Fisher Tropsc e produtos químicos. Logo, pode existir um custo de oportunidade para o uso dessa biomassa, e a geração de bioeletricidade poderá concorrer com rotas tecnológicas que produzem bens de maior valor agregado.

Ainda no âmbito da bioenergia, a geração de eletricidade a partir do biogás oriundo do aproveitamento de resíduos sólidos urbanos tende a constituir uma prática disseminada que deve ser prospectada com atenção no horizonte de 2030. Ela não terá escala suficiente para ser uma fonte capaz de ter participação relevante no atendimento da demanda por energia elétrica. Contudo, sua importância maior é de caráter qualitativo, pois é inteiramente compatível com a busca por práticas urbanas sustentáveis, ou seja, com a cidade do futuro. Em realidade, o principal incentivo à adoção dessa tecnologia é sua contribuição para a adequada gestão dos resíduos sólidos urbanos. A viabilização econômica e financeira destes projetos requererá a internalização de benefícios socioambientais inerentes a um melhor manejo do lixo urbano, como por exemplo a extensão da vida útil dos aterros sanitários.

Já a geração de energia solar fotovoltaica também tende a ter crescente participação na matriz elétrica brasileira. Em contraste com a geração eólica¹⁵ e a bioeletricidade canavieira, a inserção da

15. A geração eólica também deverá ser utilizada em geração de pequena escala com a adoção de microturbinas. Porém, como se trata de uma tecnologia que envolve partes móveis, que exigem uma rotina de manutenção rigorosa, a geração eólica de pequeno porte tende a encontrar mais obstáculos à massificação.

energia solar ocorrerá essencialmente como fonte de geração distribuída, mais especificamente como microgeração. Vislumbra-se que não apenas unidades de consumo industriais irão se comportar como geradoras de energia, mas também unidades residenciais e do setor de serviços.

Na medida em que um considerável número de consumidores passe a ser microgerador, a lógica empresarial do setor de distribuição será impactada. A concessionária de distribuição deixará de ser uma mera supridora de energia, porque em muitos momentos estará adquirindo energia. Não é só a dinâmica comercial da distribuidora que se altera, a lógica operativa também, dado o impacto da injeção de energia na rede por parte de unidades que anteriormente eram apenas consumidoras.

Concomitantemente, a atividade reguladora terá um papel vital, tanto no processo de criação de incentivos que incitem investimentos em microgeração, como no estabelecimento das regras que garantam o pleno funcionamento dessa atividade em termos técnicos e comerciais.

Nesta direção, a Resolução 482 da Aneel promulgada em 2012 regulamenta os critérios para micro e minigeração no Brasil e estabelece parâmetros utilizados para a contabilização da energia gerada. A metodologia adotada foi a do *net metering*, um sistema de compensação de energia, sendo a energia gerada valorada ao mesmo preço da adquirida da distribuidora. Por consequência, não estão envolvidos fluxos financeiros, e sim a concessão de créditos de energia sempre que a geração for superior ao consumo.

A introdução de sistemas *feed in* no horizonte de estudo é pouco provável, visto que o desenvolvimento tecnológico por si deve garantir a competitividade da fonte, sem necessidade de pagamento de prêmio para sua viabilização. Tal assertiva é fundamentada pela trajetória dos custos desta tecnologia. Como ilustração, entre 2006 e 2011 houve uma redução de 50% do custo de sistemas fotovoltaicos na Europa, e para os próximos dez anos as estimativas indicam uma redução entre 36 e 51% (EPIA, 2011).

Em termos de geração em maior escala, destaca-se a possibilidade de construção de sistemas híbridos que combinem a geração eólica com a fotovoltaica. Considerando que as fontes eólica e solar apresentam curvas de carga e picos de geração em horários diferentes, justifica-se a construção de plantas e de sistemas que otimizem a capacidade de geração de parques eólicos com plantas fotovoltaicas. Esta coexistência de geração eólica e solar em um mesmo parque permite mitigar o caráter intermitente da geração eólica e da energia solar. Além disso, faz com que os custos médios de conexão e uso da rede sejam menores devido à maior utilização média das instalações de transmissão.

Em contraste com a tecnologia fotovoltaica, a geração termossolar deve ter espaço restrito na matriz elétrica brasileira. Esta assertiva tem como base o fato dessa tecnologia não ser eficiente em locais que apresentem nebulosidade, característica presente em diversas localidades brasileiras de alta incidência solar. Ao mesmo tempo, por se tratar basicamente de uma máquina térmica, o potencial de redução de custos da tecnologia é limitado. De todo modo, a energia termossolar possui a vantagem de poder estocar energia sob a forma de calor, um modo de armazenamento mais barato do que a estocagem de eletricidade em baterias. É preciso considerar a hipótese da realização de investimentos nos estados da Bahia e de São Paulo, que apresentam um razoável potencial para essa tecnologia.

Mesmo tendo grande disponibilidade de energias renováveis a custos competitivos, a geração termoelétrica deverá experimentar substancial avanço no Brasil até 2030. Tal avanço ocorrerá para garantir a segurança do suprimento e fazer contraponto ao crescimento da participação de fontes não controláveis na matriz de geração, em especial das hidroelétricas de fio d'água e parques eólicos.

Desta forma, a geração térmica deve aumentar sua participação na matriz, tanto em termos de capacidade instalada, como, sobretudo, em termos de energia gerada, tendo a geração fortemente concentrada no período seco em anos de hidrologia normal.

O tipo de geração térmica mais alinhado a este novo perfil do parque gerador brasileiro é a com características técnico-econômicas

adequadas para a geração na base da curva de carga durante vários meses de todos os anos. Porém, também deve haver necessidade de contratação de geração térmica para geração de ponta. Este tipo de central é caracterizado por investimentos menores, custos variáveis elevados e capacidade de operar a plena capacidade em intervalos de tempo relativamente curtos.

A necessidade de contratação de produção de ponta deve ocorrer na medida em que parte substancial do parque hídrico – a maior parte das usinas a fio d’água previstas para a região Norte – possui baixa potência disponível durante a estação seca do ano. Isso fará o atendimento à ponta depender em grande medida do volume instalado das usinas de rios com capacidade de regularização substancial e das termoelétricas. Uma alternativa que deve ser explorada para minimizar este problema consiste em aumentar a capacidade instalada das hidroelétricas em bacias com bom nível de regularização, mas isso não deve ser suficiente, sobretudo se levarmos em conta que parte substancial da nova capacidade de geração a partir de fontes alternativas que entrará em operação até 2030 terá geração irregular ao longo do dia. A geração solar, por exemplo, não ocorre durante o horário de pico da noite. A geração eólica, por sua vez, sempre pode se ver reduzida radicalmente em função das condições atmosféricas. Já a geração a partir da biomassa é inflexível, não contribuindo para ajustar a geração global à demanda instantânea de eletricidade.

Logo, com o aumento de participação dessas fontes haverá maior necessidade de capacidade instalada de geração controlável. A contratação de novas termoelétricas com perfil de geração de ponta é uma alternativa, sobretudo após serem exploradas as principais alternativas de aumento de capacidade de hidroelétricas existentes.

Do ponto de vista das fontes primárias de calor, o gás parece ser a principal alternativa em longo prazo para a expansão da geração térmica. Contudo, os desafios são substanciais. Por um lado, é altamente provável que o aumento da produção de petróleo prevista para o período até 2030 gere também um crescimento substancial na oferta de gás associado, uma ótima alternativa para geração de

base, cogeração ou mesmo para geração de ponta distribuída de forma relativamente homogênea ao longo do ano.

Entretanto, o padrão de consumo que se antevê para o uso de termoelétricas até 2030, com geração concentrada no período seco da região Norte (junho a dezembro), não é favorável para o uso do gás associado. Isso acontece porque a disponibilidade deste é subproduto da produção de petróleo que, por sua vez, ocorre ao longo de todo o ano.

Em um cenário em que predomine a disponibilidade de gás associado, é provável que a importação de GNL siga ocupando um papel de regularização da oferta doméstica de gás. Isso implicará, porém, um cenário de custos de gás para geração térmica relativamente elevados em longo prazo, haja vista que o GNL não é uma solução barata.



O padrão de uso das termoeletricas que se prevê seria mais adequado para o uso de gás não associado a petróleo, cuja extração pode ser, em tese, interrompida com facilidade, não necessitando de caras estruturas de armazenamento. A disponibilidade em grandes quantidades de gás não associado não é, no entanto, algo com que se possa contar. A razão principal para isso é a duvidosa economicidade da exploração de gás não associado no pré-sal, a principal base petrolífera brasileira no horizonte de 2030.

A oferta de gás não associado poderia vir de campos em terra. Mas, novamente, trata-se de algo incerto, pois o volume atual de reservas provadas em terra não autoriza um cenário de grande disponibilidade de gás não associado. Há, porém, precedentes interessantes em que a inexistência de qualquer rede de gasodutos capaz de viabilizar a exploração comercial das jazidas descobertas foi contornada pelo uso do gás para geração térmica, com escoamento da energia via sistema interligado.



No que diz respeito à geração a carvão, embora em curto prazo seja provável a contratação de novos projetos, não se prevê uma grande expansão em longo prazo da capacidade instalada desta fonte. Por um lado, trata-se de um recurso natural que o país não possui em abundância e que está concentrado em jazidas situadas na região Sul do país. Por outro, a geração a carvão é sabidamente uma grande emissora de gases do efeito estufa, sendo provável, portanto, que o governo favoreça outras fontes de geração térmica. A não ser, é claro, que avanços tecnológicos substanciais tornem as tecnologias de captura de carbono acessíveis a custos reduzidos.

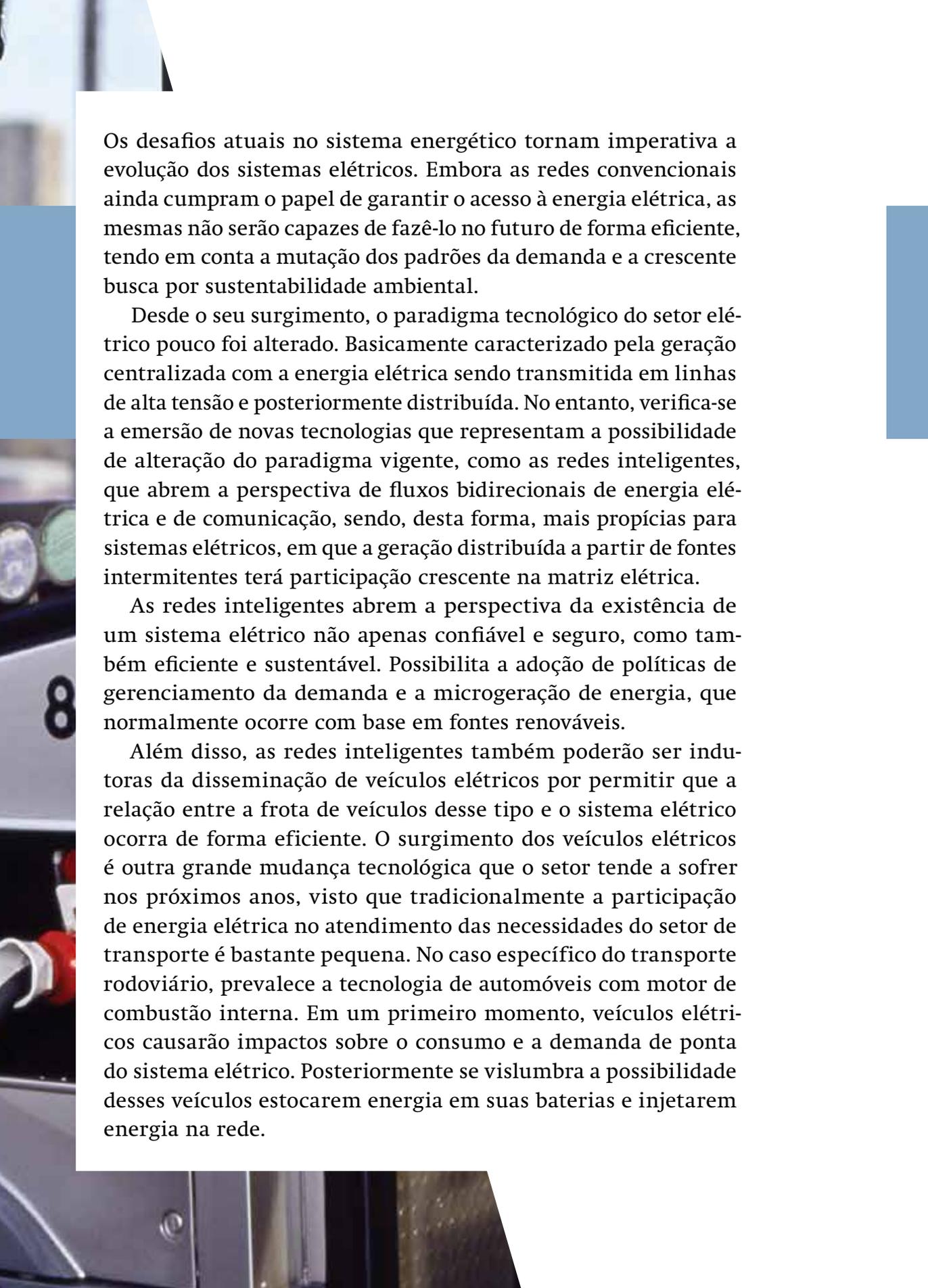
A geração a óleo, que nos últimos anos se expandiu fortemente no Brasil, não tem perspectivas favoráveis em nível global nem nacional. Em termos mundiais, prospecta-se que a participação da geração a óleo no total caia dos atuais 5% para 2% ou 1% em 2035, dependendo do cenário adotado. A razão óbvia é o alto custo de geração a partir de óleo (IEA, 2012a). No Brasil, o cenário é semelhante. Não se prenuncia a contratação de novas térmicas a óleo, e podem ser antevistos problemas para manter operando as centrais existentes quando os contratos por disponibilidade atuais se encerrarem.

Já o desenvolvimento da geração nuclear depende basicamente de decisões de Estado, particularmente no Brasil, onde os projetos nucleares necessariamente envolvem empresas estatais. Se por um lado, a energia nuclear tem o atrativo de não ter emissão de CO₂ e de poder ser localizada em regiões com balanço energético deficitário, por outro, além do temor acerca das consequências de eventuais acidentes, trata-se de uma geração cara hoje em dia e com baixas perspectivas de redução de custo decorrente de desenvolvimento tecnológico.

Uma central nuclear possui basicamente custos fixos e tende a funcionar continuamente durante todo o ano. Assim, acaba perdendo competitividade em relação à geração a partir de fontes que podem economizar custos variáveis substanciais interrompendo a geração durante períodos de sobra de energia hídrica.

3. O setor elétrico do futuro





Os desafios atuais no sistema energético tornam imperativa a evolução dos sistemas elétricos. Embora as redes convencionais ainda cumpram o papel de garantir o acesso à energia elétrica, as mesmas não serão capazes de fazê-lo no futuro de forma eficiente, tendo em conta a mutação dos padrões da demanda e a crescente busca por sustentabilidade ambiental.

Desde o seu surgimento, o paradigma tecnológico do setor elétrico pouco foi alterado. Basicamente caracterizado pela geração centralizada com a energia elétrica sendo transmitida em linhas de alta tensão e posteriormente distribuída. No entanto, verifica-se a emergência de novas tecnologias que representam a possibilidade de alteração do paradigma vigente, como as redes inteligentes, que abrem a perspectiva de fluxos bidirecionais de energia elétrica e de comunicação, sendo, desta forma, mais propícias para sistemas elétricos, em que a geração distribuída a partir de fontes intermitentes terá participação crescente na matriz elétrica.

As redes inteligentes abrem a perspectiva da existência de um sistema elétrico não apenas confiável e seguro, como também eficiente e sustentável. Possibilita a adoção de políticas de gerenciamento da demanda e a microgeração de energia, que normalmente ocorre com base em fontes renováveis.

Além disso, as redes inteligentes também poderão ser indutoras da disseminação de veículos elétricos por permitir que a relação entre a frota de veículos desse tipo e o sistema elétrico ocorra de forma eficiente. O surgimento dos veículos elétricos é outra grande mudança tecnológica que o setor tende a sofrer nos próximos anos, visto que tradicionalmente a participação de energia elétrica no atendimento das necessidades do setor de transporte é bastante pequena. No caso específico do transporte rodoviário, prevalece a tecnologia de automóveis com motor de combustão interna. Em um primeiro momento, veículos elétricos causarão impactos sobre o consumo e a demanda de ponta do sistema elétrico. Posteriormente se vislumbra a possibilidade desses veículos estocarem energia em suas baterias e injetarem energia na rede.

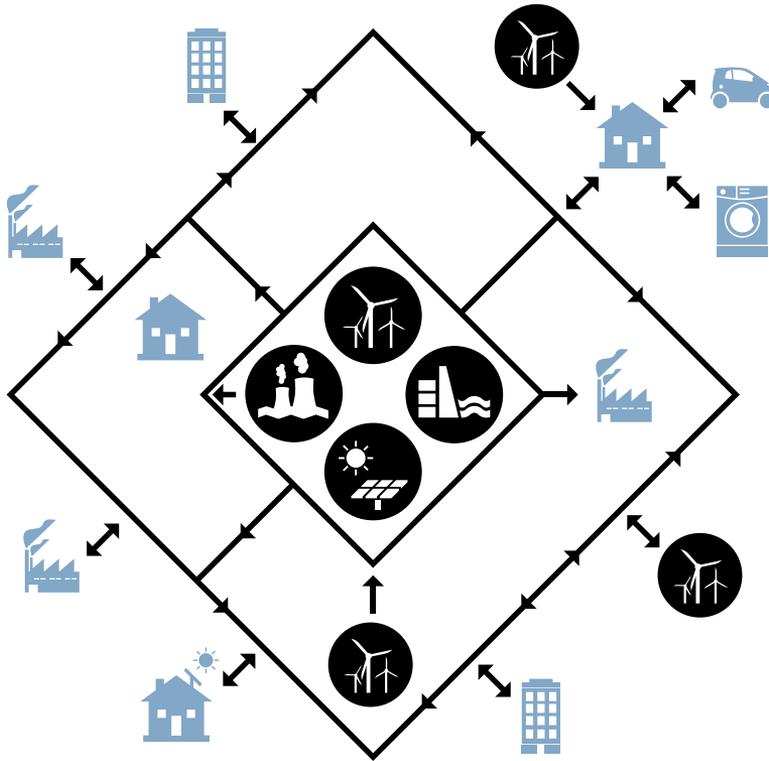
Este capítulo descreve essas tecnologias e apresenta seus benefícios. Na primeira parte, serão apresentados as características, os benefícios das redes inteligentes e os desafios a serem equacionados. Já a segunda seção será dedicada à mobilidade elétrica e abordará sua importância para que a frota de veículos leves tenha condições de ser minimamente sustentável ao longo das próximas décadas.

Distribuição inteligente

Os sistemas de energia elétrica foram construídos baseados em uma estrutura integrada, com geração essencialmente centralizada em grandes unidades produtoras, perfis de carga previsíveis com técnicas estocásticas bem conhecidas e fluxos de energia unidirecionais. Recentemente, por conta do desenvolvimento tecnológico, uma nova realidade está configurando um processo de aumento da participação da geração distribuída, sobretudo baseada em fontes renováveis de natureza intermitente (em particular, eólica e solar), sistemas dotados de tecnologias da informação e comunicação (*Information and Communication Technologies – ICT*), em que o consumidor final, que pode também ser produtor, assume um papel mais ativo. Nesse novo cenário tecnológico, deve-se considerar inclusive a possibilidade da introdução de elementos de armazenagem de energia nos sistemas de transmissão e distribuição através de usinas de bombeamento, ar comprimido em cavernas ou em baterias.

Se a situação atual ainda pode ser caracterizada em larga medida como “geração segue a carga”, é patente a evolução em curso para um novo paradigma caracterizado por “carga segue a geração”. Neste sentido, o desenvolvimento tecnológico e as melhorias na operação dos sistemas de energia elétrica são essenciais para garantir um serviço mais acessível, dinâmico, seguro e confiável a preços relativamente competitivos.

A literatura técnica e científica inclui múltiplas definições e descrições das funcionalidades das redes inteligentes (*smart grids*). Trata-se de redes de energia elétrica que utilizam avançadas tec-



nologias de informação e comunicação para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade a partir de todas as fontes de geração para atender as diferentes demandas de energia elétrica dos consumidores finais, permitindo integrar recursos de geração (incluindo local), de armazenamento e da demanda.

Nesta direção, as redes inteligentes são o produto da evolução dos sistemas elétricos atuais com a adição de consumidores finais “flexíveis”, com a expansão e o reforço das redes, além da implementação de infraestruturas avançadas de controle e informação. Esta evolução para redes elétricas inteligentes é causada, sobretudo, pela difusão da geração distribuída (impulsionada pela injeção de eletricidade derivada de fontes renováveis), com os objetivos adicionais de melhorar a eficiência, a confiabilidade e a segurança de abastecimento.

As redes inteligentes possibilitam a coordenação das necessidades e capacidades dos produtores, dos operadores de rede de transporte e de distribuição, dos sistemas de armazenamento, dos

comercializadores e dos consumidores finais de energia elétrica para operar todas as partes do sistema da forma mais eficiente possível. Ao mesmo tempo, permitem minimizar custos e reduzir os impactos ambientais globais do sistema elétrico, providenciando níveis elevados de confiabilidade, qualidade de serviço e estabilidade de todo o sistema, e otimizando a utilização dos ativos e a eficiência operacional. Além disso, as redes inteligentes dotarão os consumidores finais de informação mais detalhada e capacidade de escolha, permitindo-lhes assumir um papel proativo na operação do sistema.

As redes inteligentes tendem a ser instaladas de forma gradativa e incremental. Por meio do estabelecimento de políticas e mecanismos de regulação claros e consistentes por parte dos reguladores do setor elétrico e energético. Por isso, é vital um envolvimento das entidades governamentais na promoção do investimento e na aproximação e formação de todos os potenciais *stakeholders* sobre os benefícios potenciais das redes inteligentes para toda a cadeia de valor do sistema elétrico.

Em suma, o monitoramento, o controle, a comunicação e capacidade de autorregeneração permitirão melhorar a observação e o monitoramento da rede elétrica, facilitando a conexão e a operação de unidades de geração de diferentes tecnologias e capacidades. As redes inteligentes possibilitarão, deste modo, integrar as ações de diversos agentes que atuam no sistema elétrico – desde a geração até o consumo –, para garantir o suprimento de forma econômica, segura, de acordo com os padrões de qualidade de serviço pretendidos, e de modo sustentável, aproveitando fontes endógenas e renováveis.

A difusão crescente de fontes renováveis com certo grau de intermitência (eólica e solar), embora com claros benefícios ambientais, determinará um aumento da complexidade do sistema elétrico, com impactos diretos na operação do sistema, uma vez que exige um aumento da capacidade instalada global e/ou a implementação de elementos de armazenagem para mitigar o risco de falhas. Ou seja, à medida que aumentar a quota da

geração de eletricidade por fontes renováveis “intermitentes”, irá tornar-se necessário complementá-la com capacidade de fontes energéticas mais estáveis (por exemplo, gás natural) ou métodos de armazenagem, que servirão de *backup* para assegurar a qualidade do suprimento.

Apesar do cenário de médio prazo ser de desafios regulamentares, tecnológicos e de mercado, a integração de uma infraestrutura consolidada de geração distribuída e do armazenamento elétrico, como baterias, pode potencializar um sistema elétrico mais “limpo”, confiável e eficiente, tanto do lado da oferta como do da demanda. Neste sentido, destacam-se duas questões:

1. A infraestrutura da rede inteligente contemplando uma forte componente de geração distribuída melhorará a eficiência na transmissão e distribuição de energia elétrica, reduzirá as necessidades energéticas nos horários de pico, mitigará a intensidade de carbono no lado da oferta e proporcionará um fornecimento de eletricidade de maior qualidade.
2. O aumento da participação das fontes renováveis na matriz elétrica, nomeadamente por meio de microgeração, contribuirá para reduzir possíveis congestionamentos e perdas na transmissão, por serem potencialmente menores as necessidades elétricas da demanda que terão que ser satisfeitas através do transporte de energia elétrica por linhas de transmissão de longa distância.

Outro aspeto crítico que concorre adicionalmente para a necessidade de dotar a distribuição de mais inteligência é a previsível difusão em escala, em médio prazo, da mobilidade elétrica. A indústria automobilística percebe os veículos elétricos, que oferecem a perspectiva de zero emissões de gases de efeito estufa em sua utilização, como uma forte aposta comercial já em médio prazo, e o desenvolvimento e a implementação de infraestruturas de carregamento das baterias são considerados pontos-chave para acelerar o desenvolvimento e a comercialização dos veículos elétricos e híbridos (*plug-in*). Se, por um lado, o seu carregamento

representará uma significativa carga adicional na rede, por outro, com a proliferação das tecnologias *vehicle to grid*, os veículos elétricos poderão apresentar-se como uma solução para o aumento da capacidade de armazenamento de energia elétrica da própria rede, com potenciais impactos na confiabilidade e nos aspetos de qualidade de serviço (IEA, 2011b).

Neste enquadramento, o processo de evolução para as redes inteligentes convocará simultaneamente:

1. Inovações tecnológicas;
2. Enquadramento regulatório;
3. Alterações nas regras comerciais e de mercado;
4. Estabelecimento de padrões;
5. Desenvolvimento de soluções de ICT específicas;
6. Concepção de estratégias de migração;
7. Estudos sobre as implicações sociais.

Esta alteração, que definirá um novo paradigma da operação do sistema elétrico, determinará um profundo impacto no segmento da distribuição. Por um lado, na vertente tecnológica, propiciando uma gestão mais dinâmica e adaptativa dos vários componentes das redes e equipamentos; Por outro no desenvolvimento de negócios inovadores, dos quais poderão beneficiar-se as empresas distribuidoras de energia elétrica e os consumidores, sendo que estes poderão ser também produtores – *prosumer*.

Sob a ótica das empresas distribuidoras, a distribuição inteligente representa a oportunidade de desenvolvimento de novos modelos de negócio, que, no entanto, ficarão condicionados às relações com a agência reguladora e mesmo com a política energética, em função da necessidade de partilhar os riscos, os custos e os benefícios. Por exemplo, a partir da disseminação da instalação dos medidores inteligentes (*smart meters*), as distribuidoras poderão ofertar aos seus clientes informação em tempo real sobre consumos e custos, bem como sugerir a adoção de tarifas dinâmicas com os consequentes impactos na gestão da demanda.

O enorme volume de dados que será gerado a partir dos medidores constituirá uma base essencial para o desenvolvimento de valiosos instrumentos para a otimização da estrutura operacional e para o aumento da eficiência das empresas – redução/aumento do consumo energético de acordo com períodos horários favoráveis, redução de custos operacionais e da demanda de ponta e, além de servirem como potencial plataforma para oferta de novos produtos e serviços. Esta resultante da difusão tecnológica tenderá a garantir às distribuidoras os elementos para respaldar ações na estruturação de novos negócios, compensando assim a diminuição do faturamento reflexo da difusão da geração distribuída.

Para a concretização desses desenvolvimentos será necessária uma política energética consistente, no nível do apoio do financiamento e do próprio investimento público para a progressiva instalação e desenvolvimento da rede inteligente e de suas tecnologias de suporte, de forma a reduzir o risco de investimento que as *utilities* enfrentam comparativamente com o que se deparam na “normal e tradicional” expansão da rede elétrica.

A infraestrutura de medição inteligente é uma das tecnologias mais importantes, seja no desenvolvimento da rede inteligente seja como o caminho para uma economia de baixo carbono. Isso porque, para além do aumento da eficiência operacional do sistema elétrico, permitirá acomodar quotas superiores de fontes de energia renováveis na rede.

Observa-se, assim, que os medidores inteligentes induzirão, Por meio da implementação de tarifas dinâmicas, a redução da demanda de ponta. Mecanismos mais sofisticados de monitoramento e controle – sobretudo promovendo uma melhor utilização combinada dos recursos de geração, do armazenamento e da demanda – também potencializarão a redução dos investimentos na cadeia de valor do sistema elétrico por via do inerente aumento da eficiência operacional, energética e econômica.

A instalação progressiva de medidores inteligentes abrirá um novo horizonte no relacionamento intrassistema elétrico, como:

1. Operação remota de cláusulas contratuais, como, por exemplo, alteração da potência contratada;
2. Aplicação de tarifas diferenciadas ao longo do dia;
3. Registro de perfis de consumo.

Essas possibilidades permitirão o desenvolvimento de aplicações de gestão da demanda tendo como objetivo central a diminuição da fatura energética, de acordo com os requisitos de conforto dos consumidores, com as decisões de compra e venda de energia à rede, com detecção de fraudes e furtos etc., para além da diminuição dos custos de faturamento. Trata-se assim de uma dinâmica aparentemente contraditória com os interesses das empresas de distribuição de energia elétrica. A contradição será “quebrada” com as oportunidades de novos negócios associados direta e indiretamente ao *core business* da distribuição.

Entretanto, dada a complexidade das tecnologias e da própria rede inteligente, poderão surgir problemas resultantes da ainda reduzida compreensão e do diminuto conhecimento dos consumidores finais quanto aos benefícios que advirão, pessoal ou socialmente, da progressiva instalação e difusão das redes inteligentes. O potencial de aceitação, por parte dos consumidores, das inovações tecnológicas que impactarão o seu cotidiano, influenciado pelo design de novos produtos e serviços, será muito importante no sucesso de sua implementação e deve ser uma das variáveis estratégicas na estruturação dos planos de negócios dos novos serviços e produtos. No lado da demanda, é de esperar que consumidores bem informados e sensíveis a alterações das tarifas gerenciem o seu consumo de eletricidade em detrimento de uma atitude somente passiva, com estimativas realistas de poupanças.¹ No lado da oferta, os consumidores poderão também ser produtores de energia elétrica através de produção descentralizada de energia de fontes renováveis – eólica ou solar.

1. Este é um ponto importante a ser considerado em projetos do Grupo CPFL, dado que o nível de renda e educacional dos consumidores de suas áreas de concessão apresentam níveis médios elevados. Isso permitirá a oferta de serviços e produtos inovadores, mas demandará uma atenção especial em relação às informações e aos objetivos das inovações a serem implementadas.

A progressiva penetração dos medidores inteligentes e a sua natural evolução tecnológica, com fluxos bidirecionais de comunicação, permitirão avanços na verificação do consumo em tempo (quase) real dos clientes finais, bem como a inferência de seus padrões de consumo. Assim, as *utilities* poderão se fazer valer dos dados de consumo registrados nos medidores inteligentes com o propósito de recolher informação sobre os seus consumidores ou sobre o mercado, melhor adaptar as suas ofertas comerciais de novos produtos e serviços.

Existem, contudo, barreiras quanto à segurança e à privacidade dos consumidores finais, o que pode atrasar a disseminação de medidores inteligentes e, conseqüentemente, o desenvolvimento das redes inteligentes se não forem devida e atentamente acauteladas, em relação à regulamentação dos *standards* dos equipamentos e da segurança da “rede informacional” das redes inteligentes.

O desenvolvimento de sistemas de medição inteligente vem sendo estimulado em muitos países. Nos EUA e na Europa, a modernização da rede elétrica e de seus componentes tem como objetivos o aumento da confiabilidade no aprovisionamento, da segurança na transmissão e da eficiência energética.

Na Europa, o Reino Unido, França e Itália são os principais países que estão investindo em projetos de redes inteligentes. A proliferação desta tecnologia crescerá nos próximos anos – os governos irlandês, holandês, norueguês e espanhol projetam atingir uma taxa de instalação próxima dos 100% em 2020. Esse índice deverá ser partilhado por outros Estados-membros da União Europeia, em especial por conta da imposição das metas de redução de emissão de gases de efeito estufa que se pode obter, em parte, através dos ganhos de eficiência energética que as redes inteligentes oferecem.

No que concerne aos medidores inteligentes, a Itália é o país com mais equipamentos instalados, com uma taxa de penetração de 85%. A instalação de medidores inteligentes, que se iniciou em 2001 e assumiu um caráter compulsório em 2006, enquadra-se no projeto Telegestore, reconhecido como um caso de *benchmarking* internacional na relação das entidades estatais com os consumidores.

No que diz respeito a projetos-piloto de redes inteligentes, merece ser destacado o projeto Évora InovCity – Smart Energy Living – InovGrid, desenvolvido em Portugal e internacionalmente reconhecido como inovador. Este projeto está sendo desenvolvido pela EDP Distribuição e tem como principal meta demonstrar em contexto real os conceitos e as tecnologias de rede inteligente para um número significativo de utilizadores, através de ferramentas de gestão integrada. Nesse projeto, que a EDP quer tornar um programa de âmbito nacional, dois pontos foram considerados estratégicos: o relacionamento prévio e o envolvimento direto das autoridades municipais com o InovGrid. Esta é certamente uma experiência que deve ser considerada e parametrizada em projetos-piloto em cidades.

Por sua vez, a realidade brasileira diverge em grande medida daquela verificada nos países europeus e nos EUA, tanto em termos socioeconômicos como energéticos. O Brasil apresenta uma matriz elétrica única, com uma clara predominância de fontes renováveis, com destaque para os recursos hídricos. Esta característica da matriz elétrica brasileira deve se manter.

No entanto, a demanda crescerá a taxas expressivas ao longo dos próximos vinte anos, impondo novos desafios ao setor elétrico brasileiro e ao seu planejamento, e potencializando assim os benefícios da implementação das redes inteligentes. Contudo, diferentemente dos países da União Europeia e dos EUA, as forças motrizes para o desenvolvimento da rede inteligente em relação à distribuição são a melhoria dos indicadores de qualidade de serviço, a redução de perdas (técnicas e não técnicas) e o acompanhamento do crescimento da demanda.

Quanto à medição inteligente, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) assinala que está em curso processo de implementação em grande escala de medidores eletrônicos para consumidores de baixa tensão. Todavia, a mesma entidade reconhece também que a inexistência de uma “determinação regulatória” para as funcionalidades mínimas desse tipo de medidor fez com que, durante anos, as distribuidoras instalassem medidores com funções

que atendessem apenas à solução de problemas localizados, principalmente as perdas não técnicas, limitando assim os benefícios para os consumidores e os impactos positivos da evolução da rede inteligente na distribuição.

Neste enquadramento, a Aneel aprovou regulamentação em 2012 para a implementação de sistemas de medição de energia elétrica em unidades consumidoras de baixa tensão, que poderão ou não ter a capacidade de comunicação bidirecional ou mais funcionalidades que as agora definidas como *standard*. O regulador determinou a obrigatoriedade de prestação de informação aos consumidores finais por parte das distribuidoras, bem como a proibição em disponibilizar dados recolhidos das unidades consumidoras a terceiros sem a autorização dos clientes (ANEEL, 2012a).

O reconhecimento e a análise das experiências internacionais – como as de Itália, Estados Unidos e Portugal – por parte dos agentes regulador e de mercado; a definição pela Aneel, em parceria com outras entidades, como o Inmetro, de padrões técnicos que deverão ser seguidos pelos fornecedores dos medidores eletrônicos e pelas distribuidoras; a evolução da regulação e a discussão nacional que se tem desenrolado nos últimos anos; todos esses fatores são pilares consistentes na forte intenção de dotar a distribuição de uma infraestrutura mais moderna e eficiente. O avanço deste processo induzirá, junto com uma alteração do paradigma comportamental dos consumidores finais, a um aumento da eficiência do SEB ao longo de toda a sua cadeia de valor.

Portanto, o desenvolvimento tecnológico das redes inteligentes constitui a busca de uma resposta ao desafio imposto pela necessidade de integrar medidas para:

1. Promoção de eficiência energética e melhoria da qualidade dos serviços;
2. Ampliação da capacidade de dar resposta à dinâmica da demanda;
3. Disposição de uma abordagem integrada para telemedição avançada;
4. Integração em larga escala de geração distribuída (em particular, renováveis de natureza intermitente), microgeração local,

armazenamento e veículos elétricos (os quais poderão atuar como cargas e/ou meios de armazenamento).

Todos esses elementos direcionados e subordinados a um contexto de melhoria continuada dos indicadores de qualidade de serviço e de sustentabilidade do sistema elétrico global.

Mobilidade elétrica

A mobilidade de pessoas e mercadorias de forma eficiente é um dos grandes desafios do mundo contemporâneo. Trata-se de um pré-requisito para a promoção do bem-estar social, para a competitividade econômica com forte dependência do complexo setor energético e para a existência de uma infraestrutura de qualidade para a circulação de veículos.

Na esfera energética, o setor de transportes responde por aproximadamente 20% da demanda por recursos primários de energia. Considerando que o consumo energético desse setor é, em escala



mundial, quase inteiramente atendido a partir de derivados de petróleo, resulta que o setor de transporte é responsável por 25% das emissões de gases do efeito estufa do setor energético (IEA, 2012a). Em paralelo, este uso intensivo de combustíveis fósseis determina expressiva quantidade de emissões de poluentes locais.² Observa-se, assim, que a melhoria da qualidade dos transportes e a adoção de políticas que visem à mitigação das alterações climáticas estão diretamente associadas e dependentes de uma mudança do paradigma tecnológico vigente.

Concomitantemente, a infraestrutura de transportes não vem crescendo em um ritmo compatível com o aumento do deslocamento de pessoas e mercadorias, especialmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, que concentram a maior parte desse aumento do deslocamento. A situação é agravada por se constatar que existe uma relação inequívoca entre crescimento da renda e venda de veículos leves em detrimento da promoção de transportes públicos, e que, em muitos casos, existem equívocos das políticas públicas na escolha do modal de transporte a ser priorizado. Por exemplo, no Brasil o desenvolvimento da rede de transporte historicamente priorizou o modal rodoviário em vez do ferroviário. Desta forma, os congestionamentos de veículos, sobretudo nos perímetros urbanos, são crescentes e tendem a ser maiores nos países não pertencentes a OCDE. O resultado é que estes problemas acabam impactando negativamente a evolução do bem-estar social e comprometem a produtividade econômica desses países.

Exame prospectivo realizado pela Agência Internacional de Energia acerca das tendências do setor de transporte no mundo indica um crescimento anual médio de 1,3% da demanda por energia até 2035, se forem mantidos os padrões de consumo atuais. Tal resultado ocorre em função do crescimento da demanda nos países não pertencentes a OCDE, o qual deverá dobrar no período.

2. Veículos a diesel emitem NO_x , S e material particulado, enquanto veículos a gasolina emitem compostos orgânicos voláteis e CO.



A duplicação da frota de veículos leves entre 2010 e 2035,³ somada ao elevado crescimento do transporte de cargas rodoviário, faz com que o modal rodoviário tenda a permanecer com uma participação de aproximadamente 75% do total de energia consumido no setor de transportes. Por sua vez, a demanda energética por parte dos setores aéreo e marítimo também deverá crescer de forma razoável. Ilogo, na ausência de políticas que restrinjam de modo efetivo o uso de derivados de petróleo, o setor de transportes responderia pela quase totalidade do aumento da demanda por petróleo até 2035.⁴

Segundo estimativas da IEA (2009) sobre a expansão do sistema de transporte, mantendo uma oferta de energia quase que inteiramente composta por derivados do petróleo, o setor passaria a responder por metade das emissões de gases do efeito estufa em 2030, podendo chegar a 80% em 2050.

3. A frota de veículos leves totalizaria 1,7 bilhão de veículos em 2035.

4. De acordo com a IEA (2012b), o consumo de petróleo do setor de transportes aumentaria de 46 milhões barris diários verificados em 2010 para 60 milhões em 2035. A participação do setor de transportes no consumo total aumentaria dos cerca de 50% atuais para 60% em 2035.

Em um contexto no qual a mitigação das alterações climáticas se apresenta como imperativa, tal tendência não parece pertinente, muito menos desejável. Soma-se a isso a questão da mobilidade propriamente dita, na qual o modelo de transportes atual, que prioriza veículos individuais, pode ser considerado inadequado.

É preciso, portanto, uma grande reformulação nos padrões do sistema de transportes. A mudança do paradigma tecnológico e organizacional do setor de transportes é urgente. No nível tecnológico, as alterações irão variar nos diferentes modais, dadas as distintas especificidades técnicas. Porém, é importante enfatizar que esta reformulação não pode estar restrita ao campo tecnológico. Também será preciso a realização de uma alteração estrutural da lógica da mobilidade de pessoas e mercadorias, estando diretamente associada a uma realocação da importância concedida aos diferentes modais de transporte, a qual irá requerer necessariamente modificações em padrões culturais.

A mudança do paradigma tecnológico do setor de transportes é uma condição necessária para que haja uma redução do consumo de derivados de petróleo e, por consequência, de gases do efeito estufa; porém, não é uma condição suficiente. Além disso, não é capaz de promover uma melhoria das condições de mobilidade, sobretudo de pessoas no perímetro urbano. Desta forma, será necessária a adoção de medidas que reduzam a necessidade de deslocamento e uma realocação da demanda por deslocamento entre os diferentes modais para que a mobilidade ocorra em bases mais eficientes. Por exemplo, práticas como *home working* e teleconferências deverão ser intensificadas nas próximas décadas objetivando a redução do tráfego de pessoas, ao passo que o maior uso de trens de alta velocidade, de sistemas do tipo *bus rapid transit* (BRT), práticas como *car*





pooling e *car sharing*, e maior uso de bicicletas (inclusive elétricas) contribuirão para tornar o sistema de transporte mais eficiente.

A frota de veículos leves é responsável pela maior parte da demanda de recursos energéticos do setor de transportes. Por conta desta elevada participação no balanço energético, derivam a importância e a prioridade de modificações do paradigma energético deste modal. Em curto prazo, inovações incrementais nos tradicionais veículos de combustão interna, como por exemplo melhorias na aerodinâmica, redução do peso dos veículos, melhorias nos sistemas de transmissão, entre outras, permitirão uma redução no consumo da frota de veículos leves.⁵ Entretanto, será necessária uma efetiva difusão de veículos que utilizem outros sistemas de propulsão, e este processo deverá ocorrer já a partir da década de 2020.

Mesmo que ainda tenha caráter discreto, nos últimos anos já vem ocorrendo a inserção de veículos híbridos elétricos na frota

5. Essa redução do consumo tende a ser atenuada pela tendência do aumento da participação de veículos maiores na frota dos países em vias de desenvolvimento.

mundial. Esses veículos podem ser vistos como o início do processo de evolução e difusão tecnológica, que inclui veículos híbridos elétricos *plug in*,⁶ os quais também podem ser abastecidos diretamente a partir da rede elétrica, e veículos elétricos a bateria, que utilizam exclusivamente energia elétrica.⁷

Um veículo é classificado como híbrido elétrico quando sua propulsão é realizada pela conjugação de um motor a combustão interna com um motor elétrico.⁸ Em suma, são veículos em que a parte elétrica atua tanto como motor quanto como gerador ao recuperar a energia cinética oriunda das frenagens do veículo. A grande vantagem desses veículos é permitir que o motor de combustão interna opere em sua fração ótima, pois o motor elétrico opera justamente nos momentos em que se requer baixas rotações. Assim, essa tecnologia permite uma maior eficiência e um menor consumo de combustível por parte do veículo, especialmente no tráfego urbano.⁹

6. Os veículos híbridos elétricos *plug in* podem ser vistos como um estágio intermediário da transição de veículos movidos a combustão interna para veículos puramente elétricos. Por serem dotados de um motor a combustão interna, os mesmos não têm a autonomia limitada pela capacidade de armazenar energia da bateria. Por outro lado, podem ser abastecidos a partir da rede elétrica. Logo, contrastam com os veículos híbridos elétricos que só carregam a bateria com o motor a combustão interna em operação.

7. Os veículos a célula combustível, movidos a hidrogênio, são uma alternativa mais para longo prazo, e essa tecnologia possivelmente estaria presente na frota de veículos somente partir de meados da década de 2040. Essa alternativa tecnológica deve ser mais relevante para veículos de maior porte e/ou que requeiram maior autonomia, determinando maior nível de consumo.

8. Existem três configurações possíveis para os veículos híbridos elétricos. No sistema híbrido em série, o motor de combustão interna tem a função de gerar energia para o motor elétrico, responsável pela tração do veículo. Trata-se de um sistema mais adequado para a condução no perímetro urbano. Por sua vez, na configuração em paralelo, os motores de combustão interna e elétrico atuam de forma independente no acionamento das rodas dos, e o funcionamento dessas duas fontes é função do requerimento de carga do veículo. Em síntese, os dois sistemas de propulsão podem fornecer diretamente energia ao eixo do veículo de forma conjunta ou separada. Veículos híbridos elétricos em paralelo possuem um sistema mecânico mais complexo. Já o sistema híbrido misto é uma combinação dos sistemas em série e em paralelo.

9. Um veículo híbrido elétrico é até 40% mais eficiente que um veículo convencional no perímetro urbano e entre 15 a 20% mais eficiente quando trafegando em condições típicas de autoestradas.



Por sua vez, os veículos híbridos elétricos *plug-in* apresentam um carregador que permite o abastecimento da bateria a partir da rede elétrica. Como tais veículos utilizam baterias com maior capacidade,¹⁰ são aptos a realizar deslocamentos de maiores distâncias usando apenas o motor elétrico.¹¹

Já os veículos elétricos possuem a propulsão realizada exclusivamente por um motor elétrico alimentado com a energia armazenada nas baterias. Tal energia advém da rede elétrica e da frenagem regenerativa. Esses veículos costumam ser construídos sobre a plataforma de veículos subcompactos e ter o motor elétrico associado ao seu eixo dianteiro. Estudos indicam que veículos movidos exclusivamente a bateria podem atingir eficiência da ordem de 90%, o que os torna o veículo alternativo com maior nível de eficiência.¹²

Além disso, em contraste com os veículos híbridos, os veículos elétricos a bateria apresentam um sistema de funcionamento menos complexo que os tradicionais veículos com motores de combustão interna devido à ausência de embreagem e de um complexo sistema

10. Os veículos híbridos elétricos *plug-in* utilizam baterias com capacidade de armazenamento cinco vezes maior que a dos HEV, permitindo maiores autonomies no modo elétrico.

11. Os veículos que estão sendo inseridos no mercado possuem capacidade de percorrer entre 30 e 100 km apenas com o uso de eletricidade.

12. O veículo elétrico é três vezes mais eficiente que um veículo com motor de combustão interna convencional e duas vezes mais eficiente que um veículo híbrido. Os veículos elétricos a bateria são eficientes em todas as velocidades, sobretudo na arrancada e em baixas velocidades.



de transmissão.¹³ Por fim, esses veículos apresentam menor nível de ruído e vibração.

Em contrapartida, tais veículos requerem baterias com maiores capacidades de estocagem de energia¹⁴ e estas ocupam mais espaço e aumentam o peso do veículo.¹⁵

13. Em comparação com veículos com motores de combustão interna, os veículos elétricos a bateria também não apresentam outros equipamentos que os tornem mais simples, entre os quais motor de arranque e componentes dos sistemas de exaustão e de arrefecimento.

14. Os veículos elétricos a bateria que estão sendo inseridos no mercado possuem bateria com capacidade entre 30 e 60 kWh. Uma exceção são veículos da Tesla que possuem bateria com capacidade de 85 kWh.

15. O modelo 100% elétrico do Fluence (Fluence ZE), por exemplo, pesa 1.543 kg contra 1.277 kg da versão a combustão interna. Essa diferença de peso de 266 kg pode ser explicada pela bateria, que pesa 250 kg.

No entanto, a estocagem de energia não é uma questão bem equacionada nos veículos elétricos devido à dificuldade de armazenamento eletroquímica de energia,¹⁶ comumente apontada como o principal obstáculo à difusão destes veículos, pois resulta em uma menor autonomia destes veículos em comparação aos tradicionais, movidos a combustão interna. Por exemplo, o Nissan Leaf possui uma autonomia de 116 km enquanto o Volt tem uma autonomia de 56 km no modo eletricidade. Em linhas gerais, um veículo elétrico com bateria de 22-24 kWh possui uma autonomia entre 125 e 150 km.¹⁷ Por sua vez, a autonomia de um veículo híbrido elétrico *plug-in* utilizando apenas eletricidade está compreendida entre 56 e 160 km, podendo atingir 500 km quando se considera também o uso de combustíveis líquidos.

Esta menor autonomia é apontada por grande parte dos consumidores como uma desvantagem. Porém, trata-se muito mais de uma questão de percepção do que um problema real. Tal afirmação é baseada na análise das distâncias diárias médias percorridas por um veículo leve. Como ilustração, essa distância nos EUA é da ordem de 50 km, sendo de 15 km a distância percorrida em cada deslocamento (IEA, 2013b). Dado que os EUA são detentores das maiores distâncias médias percorridas e mesmo lá a autonomia atual dos veículos elétricos a bateria seria suficiente, vislumbra-se que essa questão não se constitui em um problema de fato em nenhuma localidade quando o veículo destina-se a uso no perímetro urbano.

A questão da autonomia de veículos elétricos é ainda mais importante no caso de ônibus e caminhões porque eles consomem mais energia que os veículos leves, devido aos seus maiores pesos. Entretanto, essa situação precisa ser relativizada porque ônibus elétricos com autônias da ordem de 300 km são perfeitamente

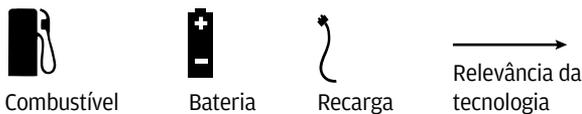
16. Conforme Bradley e Frank (2009), as baterias utilizadas nos veículos elétricos possuem menor energia específica em termos de volume e massa comparativamente aos combustíveis convencionais.

17. O uso de baterias com maior capacidade permitiria que os veículos elétricos a bateria tivessem autônias próximas aos veículos de combustão interna. Por exemplo, o Tesla S com bateria de 85 kWh possui uma autonomia de 480 km. A grande questão é o custo incremental resultante da opção por tecnologias com maior capacidade.

Tecnologias de veículos elétricos

	Motor de combustão interna	Híbrido HEV	Plug-in Híbrido (PHEV)	Veículo elétrico com extensor de alcance (REEV)	Veículo elétrico a bateria (BEV)
					
Combustível					
Descrição	Veículos tradicionais a combustíveis fósseis	Possui motor ICE	Possui ambos motores e bateria recarregável	Motor de combustão pode produzir energia via gerador	Possui apenas motor elétrico e bateria
Desafios	Potencial de eficiência ainda não aproveitado	Custos elevados	Custo e vida útil da bateria	Custo do veículo	Custo da bateria e autonomia
Aplicação		Aplicações em veículos grandes e <i>delivery</i>	Aplicações em veículos familiares		Aplicações em veículos de circulação urbana

Fonte: German National Platform for Electric Mobility (2012).



Fonte: German National Platform for Electric Mobility (2012).

compatíveis com aplicações urbanas. Assim, trata-se de definir qual a tecnologia mais adequada. Há uma maior pertinência da opção por modelos híbridos *plug-in* por permitirem que os veículos tenham uma maior autonomia. Ao mesmo tempo, em termos de transporte rodoviário de carga, caminhões movidos puramente a eletricidade poderão ser utilizados em serviços de distribuição e logística em trajetos curtos, enquanto caminhões híbridos serão



empregados para a execução de atividades que necessitem maiores deslocamentos, desde que não sejam de longo alcance, pois caminhões elétricos tendem a ter seu nicho de operação basicamente restrito ao perímetro urbano.¹⁸

No caso específico do Brasil, a redução do crescimento da demanda por transportes e a adoção de políticas que incitem a maior utilização de modais mais eficientes são fundamentais para que o sistema de transporte seja minimamente sustentável nas próximas décadas. Em paralelo, a peculiaridade brasileira de ter uma frota de veículos leves com elevado consumo de etanol, devido ao grande número de veículos *flex fuel* em circulação e à política energética de misturar etanol à gasolina em proporção relativamente elevada, não torna a inserção de veículos com sistemas de propulsão alternativos no Brasil menos importante.

Esta posição tem como base o fato de que a redução da demanda por combustíveis líquidos é sempre uma medida promotora de eficiência energética e que não necessariamente prejudicará o consumo de etanol. Neste sentido, poderiam ser adotadas medidas que garantam a oferta de um volume de etanol capaz de fazer com que toda a redução do consumo de combustíveis líquidos se materialize por meio da redução do consumo de gasolina. Considerando que a matriz elétrica brasileira permanecerá com grande participação de fontes renováveis, a conjugação de veículos elétricos com utilização em larga escala de etanol permitirá que a frota brasileira de veículos leves tenha uma das menores emissões de gases do efeito estufa por quilômetro percorrido do mundo.

Sob a ótica do setor elétrico, é perceptível que a mudança do paradigma tecnológico do setor de transportes provocará impactos nos sistemas elétricos. Historicamente a energia elétrica tem participação marginal no atendimento das demandas energéticas associadas à mobilidade. Visto que boa parte das medidas de efficientização do sistema de transportes é baseada na eletrificação dos mecanismos

18. Também é preciso considerar o segmento industrial que ainda responde pela maior parte dos veículos elétricos existentes através de equipamentos como empilhadeiras, rebocadores e carregadores.

de propulsão dos veículos, ocorrerá um considerável impacto sobre a demanda e sobre a carga dos sistemas elétricos. Assim, análises prospectivas sobre os sistemas energéticos precisarão incorporar os efeitos inerentes à inserção na frota de veículos híbridos *plug-in* e de veículos elétricos a bateria.

No caso brasileiro, destaca-se o estudo BARAN (2012), que estima um aumento da demanda por energia elétrica de 14%, 28% e 42%, respectivamente, em cenários em que a participação de veículos híbridos elétricos *plug-in* na frota de veículos leves seja de 14%, 27% e 37% no ano de 2030. Por outro lado, BORBA (2012) ressalta que o impacto sobre a demanda máxima de potência tende a ser muito maior do que o impacto sobre o consumo de energia. O autor parte da suposição de que os veículos elétricos representam 20% da frota e em percorrem uma média de 8 mil km por ano com um consumo de 6 kWh/km. Como resultado, o autor calcula que a demanda dos veículos equivaleria a 2% do consumo de energia elétrica brasileira de 2011, enquanto o acréscimo da demanda máxima de potência seria de 10%, caso o abastecimento dos veículos ocorresse após as 18 horas.

A dimensão dos impactos da inserção de veículos abastecidos na rede sobre o consumo e sobre a carga de energia elétrica será função de variáveis internas e externas ao setor elétrico. No âmbito das questões exógenas ao setor, o consumo de energia elétrica por parte da frota de veículos é um elemento central na determinação desses impactos. A dimensão desse consumo será determinada, basicamente, pela conjugação da penetração desses veículos na frota com a eficiência dos mesmos e a distância comumente percorrida. O tipo de bateria a ser utilizada também será um elemento importante desta dinâmica.

Por sua vez, em termos dos fatores inerentes ao setor elétrico que são determinantes desses impactos, a tipologia da infraestrutura da rede de abastecimento desses veículos é uma variável central, especialmente no que se refere ao comportamento da carga do sistema. Paralelamente, o momento da recarga dos veículos também será uma questão importante, que depende da

infraestrutura disponibilizada e do marco regulatório vigente. Por exemplo, a adoção tanto de incentivos tarifários que incitem a recarga ao longo da noite quanto de infraestruturas inteligentes (*smart grids*) que controlem o momento e a intensidade da carga poderá contribuir para a redução da capacidade ociosa do parque gerador atenuando a curva de carga.

Os impactos sobre o sistema elétrico e os custos indiretos da inserção de veículos elétricos são função do tipo de infraestrutura de abastecimento e do modelo de negócio adotados. A escolha deve considerar o tipo de veículos que estão sendo inseridos na frota e o comportamento típico dos usuários para garantir a segurança do abastecimento ao menor custo possível.

O carregamento nas próprias residências ou em edifícios comerciais é mais adequado no caso de usuários que percorram reduzidas distâncias. As tomadas residenciais estão aptas a realizar o carregamento de veículos híbridos elétricos *plug-in*, considerando a autonomia tipicamente demandada pelos usuários para este modelo de veículo. Contudo, no caso dos veículos elétricos a bateria, é imperativa a construção de uma infraestrutura pública de carregamento que garanta maior autonomia a tais veículos, além de postos de recarga rápida que possibilitem viagens de longa distância.¹⁹

Para ser possível a recarga residencial, é necessário que as garagens possuam disponibilidade de tomadas suficientes. Mais do que isso, é preciso que as residências possuam garagens. Em contrapartida, o carregamento diurno em locais públicos exige a construção de uma infraestrutura adequada.

Em termos técnicos, a recarga dos veículos pode ser dividida em três níveis:

19. É importante frisar a existência de um *trade off* entre o aumento da capacidade das baterias e a necessidade de pontos de recarga rápida. Esta questão é extremamente relevante no âmbito da inserção de veículos elétricos. Por exemplo, é preciso analisar se é mais pertinente priorizar investimentos no desenvolvimento de baterias com maior capacidade ou em pontos de recarga rápida.



- 1.** O nível 1 é referente à tomada residencial padrão, sendo que no caso brasileiro a tensão para a distribuição de corrente alternada em redes públicas apresenta dois tipos: 380/220 e 220/127 V. Admitindo o segundo tipo de tensão, existente nas redes de distribuição dos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro, associada a um circuito fase neutro de 127 V e a uma corrente de 15 A, a potência máxima de recarga seria de 1,9 kW;
- 2.** O nível 2 permite recargas em residências, assim como em estações públicas. Este nível de recarga caracteriza-se por uma tensão em 220 V, com uma corrente limitada a 80 A. A adoção do nível 2 requer alterações na infraestrutura, como troca de cabos e disjuntores, sobretudo quando se opta por correntes mais elevadas;

3. Por fim, o nível 3 ocorreria exclusivamente em postos públicos, pois compreende recargas rápidas com tensões da ordem de 600 V e potências que podem atingir 240 kW.

Os veículos elétricos marcam e determinam uma mudança de paradigma no uso do automóvel, pois o conceito de *mobilidade elétrica* se refere a uma noção bem mais complexa que o simples uso do carro de um ponto A para um ponto B. Com o objetivo de limitar o impacto da baixa autonomia e do longo tempo de recarga do veículo elétrico, sua utilização necessita de uma gestão otimizada dos trajetos. Isso implica a estruturação de um ambiente dedicado ao veículo elétrico por meio da cooperação de diversos atores: fabricantes de automóveis, empresas distribuidoras de energia elétrica, operadores de telecomunicações e poder público. Assim definido, a eletrificação veicular abre muitas oportunidades para a emergência de operadores de mobilidade elétrica e favorece a criação de novos serviços.

Não se trata apenas da construção de uma infraestrutura de carregamento de veículos elétricos. Em realidade, o conceito relevante é o de infraestrutura de integração de veículos elétricos, a fim de promover um sistema de transporte inteligente. A interface com a tecnologia da informação é vital, pois possibilita o monitoramento dos veículos e do tráfego como um todo de forma a permitir a otimização da mobilidade de pessoas e mercadorias.

Nestes termos, além de favorecer uma mudança tecnológica da indústria automobilística, essas iniciativas pretendem monitorar o comportamento de recarga dos consumidores, a fim de otimizar a futura integração das estruturas de recarga e sua conexão à rede elétrica.

Em longo prazo, a inserção em larga escala de veículos elétricos, associada à difusão de redes inteligentes, fará com que os veículos deixem de ser meros consumidores de energia e passem também a ser ofertantes. Este sistema é denominado *vehicle to grid* (V2G) e pode assumir vital importância inclusive em larga escala de fontes renováveis e intermitentes na matriz elétrica, na medida

em que funcionando como geradores distribuídos. Como esses veículos tendem a permanecer a maior parte do tempo parados, suas baterias podem ser utilizadas para armazenar energia gerada a partir de fontes intermitentes para um uso posterior. Porém, a emergência do sistema V2G está condicionada ao desenvolvimento em paralelo das redes inteligentes. A oportunidade e a possibilidade de trocas bidirecionais de energia entre as empresas de distribuição de energia elétrica e o consumidor final só serão possíveis com a introdução dessas novas tecnologias.



4. Dinâmica econômica do setor elétrico

A indústria de energia caracteriza-se por ser de capital intensivo com investimentos de maturação em longo prazo. No caso específico do setor elétrico, trata-se de uma indústria de rede, caracterizando-se pela presença de monopólios naturais¹ e de *sunk costs* (custos irrecuperáveis).² Como consequência dessas características econômicas, é notória a necessidade de uma regulação ativa sobre as empresas do setor, a qual garanta o equilíbrio econômico-financeiro destas empresas, mas sem permitir que exista a cobrança de preços abusivos.

Historicamente o setor foi estruturado sob a forma de monopólios que integravam desde a geração de energia elétrica até a distribuição de energia para os consumidores finais com vistas a explorar economias de escala e de escopo e a minimizar custos de transação. Por sua vez, a regulação típica consiste em estabelecer a adequada taxa de remuneração incidente sobre a base de ativos do concessionário, sendo o regime da regulação pelo custo do serviço³ um modelo tarifário amplamente utilizado ao longo do século XX.

A partir do final dos anos 1980, as ineficiências inerentes aos monopólios integrados verticalmente, derivadas em grande me-

1. Monopólio natural é uma estrutura de mercado em que a presença de subaditividade de custos faz com que a solução mais eficiente seja a atuação de uma única firma neste mercado. Isso ocorre devido à escala mínima eficiente de operação ser tão grande em relação ao fato de o mercado só comporta uma firma. No entanto, economias de escala são uma condição suficiente, não necessárias, para a existência de um monopólio natural. Por exemplo, pode existir um monopólio natural derivado de economias de escopo.

2. O caráter irrecuperável dos custos está associado às especificidades dos ativos envolvidos. Por se tratar de investimentos de grande montantes com longo prazo de maturação, os *sunk costs* acabam por se constituírem em uma importante barreira à entrada e à saída no setor elétrico.

3. Esta metodologia consiste em definir uma tarifa capaz de cobrir as despesas operacionais da empresa e garantir uma remuneração sobre a base de capital predefinida. Embora este modelo tenda a garantir a segurança do sistema por incentivar investimentos, a determinação da taxa de retorno não incita a eficiência econômica. No escopo da eficiência produtiva, a garantia de repasse dos custos para o preço não incentiva a adoção de processos mais eficientes. Por sua vez, não se obtém eficiência alocativa porque passam a existir incentivos ao sobreinvestimento em momentos em que a taxa de retorno é superior ao custo do capital e ao subinvestimento nas ocasiões em que os níveis de inflação estejam elevados e/ou em caso de incertezas macroeconômicas.

didada da garantia de rentabilidade das empresas, trouxe à tona a necessidade de profundas reformas estruturais no setor elétrico. A motivação básica para esta reestruturação do setor elétrico de diferentes países era propiciar ganhos de eficiência a partir da introdução de competição e, por consequência, reduzir os custos da energia elétrica. A base das reformas liberalizantes consistia em criar condições para uma efetiva concorrência nos segmentos potencialmente competitivos da indústria (geração e comercialização) por meio da desverticalização. Para isso, a garantia do acesso à rede era uma condição básica, dado que sem esse acesso não haveria entrada de novos agentes nos segmentos de geração e comercialização.⁴

Contudo, o modelo liberalizado implementado impôs novos desafios aos agentes do setor elétrico. O aumento da geração a partir de fontes renováveis já exige ajustes nos arranjos comerciais de diversos países. Concomitantemente, a crescente importância do mercado varejista de energia elétrica, no qual até consumidores residenciais passam a poder escolher seu supridor de energia, conjugada com a disseminação da prática da microgeração, possibilita

4. Para garantir esse acesso, é a necessidade dos segmentos “fio” permanecerem regulados. Não obstante, considerando que a transmissão e a distribuição permanecem monopólios naturais, a presença de uma regulação ativa é imperativa para que haja fixação de tarifas que remunerem o capital de forma adequada sem que os monopolistas auferam lucros extraordinários. A maior preocupação sobre a questão da eficiência resultou na adoção de modelos tarifários que incitam a eficiência, sendo o regime *price cap* o mais conhecido. Neste regime, a tarifação tem seu foco nos preços, e não nos custos. A lógica do modelo é o estabelecimento de um preço teto para as concessionárias de energia. Desta forma, passa a existir um incentivo para que se tornem eficientes, pois isso permitirá a essas firmas auferirem lucros inerentes à diferença entre o preço estabelecido e seus custos efetivos. No período inicial se estabelece um teto que será reajustado com base em um índice amplo de preços, descontado por um índice de produtividade (Fator X), que visa transferir para a sociedade parte dos ganhos de produtividade de forma que o concessionário não seja detentor de tais ganhos por tempo indeterminado. A fórmula do reajuste também costuma contemplar um fator de transferência da variação dos custos não gerenciáveis para a tarifa. Esse processo ocorre anualmente ao longo do intervalo regulatório que costuma ter entre três e quatro anos. Ao fim desse intervalo, ocorre uma revisão tarifária da empresa em que se analisam a estrutura de custos, a base de capital, o custo deste capital etc. Nessa mesma revisão se define o Fator X a ser aplicado no próximo intervalo regulatório.

que se vislumbrem importantes mudanças nos modelos comerciais ao longo dos próximos anos. Logo, é perceptível a necessidade de alterações regulatórias, que deverão ser condizentes com um novo ambiente de negócios prospectado para 2030, em função da presença de consumidores com maior consciência ambiental e da emergência das tecnologias disruptivas descritas no capítulo 3.

Este capítulo analisa as tendências comerciais e regulatórias do setor elétrico no horizonte temporal de 2030, com um novo ambiente de negócios. Para isso, inicialmente serão examinadas as tendências comerciais, sobretudo o caso do setor elétrico brasileiro e por que as suas particularidades fazem com que o modelo comercial seja peculiar. Na sequência, a abordagem estará centrada na identificação das forças que irão alterar o ambiente de negócios das empresas do setor elétrico e na necessidade de mudanças nas diretrizes regulatórias.

Tendências comerciais

No cenário para 2030, os mercados de energia devem seguir o processo de fortalecimento que vem ocorrendo desde o início da desverticalização da indústria de energia elétrica iniciada nos anos 1980. Também deve ter seguimento a tendência para a integração entre mercados com condições para tanto, isto é, interligações físicas e marcos legais e regulatórios capazes de suportar de forma robusta os aspectos técnicos e comerciais da troca de energia entre fronteiras.

Este crescimento dos mercados de energia deve estar acompanhado de uma sofisticação crescente das formas de comercialização de energia no atacado e dos instrumentos financeiros a ela associados. Entretanto, desafios exigirão inovação nos desenhos dos mercados. O previsível crescimento das fontes renováveis de energia impõe desafios para o funcionamento dos mercados.

A compreensão desta problemática passa pelo entendimento de que os primeiros mercados de energia liberalizados surgiram em

sistemas elétricos em que a geração térmica movida a combustíveis fósseis era dominante. Nesses mercados, a energia é comercializada em curto prazo e, dado o predomínio das termoelétricas na formação do preço horário, isso resulta em uma razoável previsibilidade ao preço da energia: a tendência é que o preço horário ou semi-horário seja formado pela térmica com custos variáveis mais caros para suprir demanda. Assim, os preços médios diários tendem a estar correlacionados aos preços de mercado dos combustíveis para geração termoelétrica, normalmente o gás ou o carvão.

Nesse tipo de mercado, a sinalização para a realização de investimentos é clara: novas plantas, normalmente com maior nível de eficiência em termos de conversão de combustíveis em eletricidade, são remuneradas durante uma boa parte do tempo acima de seus custos de produção (uma vez que o preço tem sua formação por plantas de menor eficiência) e, por isso, têm alta probabilidade de recuperar os investimentos. Além disso, há o conforto para o investidor em saber que os preços da energia tendem a variar de acordo com os custos dos insumos energéticos utilizados.

Entretanto, a comercialização da energia baseada em um mercado do dia seguinte não dá uma sinalização clara para investimentos em projetos com custos não relacionados aos preços diários da energia. Usinas que têm estrutura de custos baseadas em custos fixos como as hídricas, nucleares e de fontes alternativas encontram dificuldades para se viabilizar economicamente vendendo a energia a um preço fortemente influenciado pelas flutuações dos preços dos combustíveis para geração térmica. Embora grandes consumidores tenham interesse em contratar energia em longo prazo, dificilmente se consegue em um mercado liberalizado contratos de fornecimentos em prazos e condições compatíveis com o retorno dos investimentos em novos projetos capital intensivos. Por essa razão, quando projetos com tais características são julgados estratégicos ou convenientes, é comum a criação de mecanismos extramercado capazes de lhes conferir viabilidade econômica. O crescimento das energias renováveis em países com mercado liberalizado ocorreu por meio da criação de condições comerciais especiais e adequa-

das a esses empreendimentos, capazes de assegurar a viabilidade econômico-financeira em longo prazo, tais como *feed-in-tariffs* ou certificados de obrigações.⁵

Paradoxalmente, o avanço da participação das plantas renováveis, viabilizadas essencialmente por mecanismos extramercado, tende a determinar perturbações no funcionamento dos mercados de energia e na formação de preços em países onde essas tecnologias conseguem alcançar participações significativas, como Alemanha, Portugal e Espanha, criando o fenômeno de preços de energia muito próximos de zero ou mesmo negativos por alguns períodos.⁶

O aumento da oferta de energia renovável nesses países acaba reduzindo simultaneamente a utilização das centrais térmicas e os preços de mercado. Os dois fatores estão associados: com mais energia renovável, é necessário acionar com menor frequência as térmicas, sobretudo as mais caras; e como são elas que formam o preço horário, um menor acionamento das térmicas mais caras resulta necessariamente em menores preços médios. Com isso,

5. *Grosso modo*, tarifas *feed in* consistem no pagamento de um preço prêmio, ou seja, um preço acima daquele pago às fontes convencionais, para a eletricidade gerada a partir de fontes alternativas e renováveis. Esse preço é estabelecido pelo governo, e as empresas do setor são obrigadas a adquirir essa energia. Por outro lado, a política de certificados de obrigação consiste no estabelecimento de metas quantitativas ou percentuais de energia renovável no total de energia consumida ou produzida. Dada essa meta, forma-se um mercado de certificados que permitem aos produtores de eletricidade a partir de fontes renováveis auferirem uma receita adicional àquela obtida pela comercialização da energia elétrica.

6. Preços negativos têm sido observados na Alemanha em algumas situações em que há oferta abundante de fontes renováveis. A lógica por trás dos preços negativos é a de que, para um gerador térmico com perfil de geração de base, pode fazer sentido pagar para não ser obrigado a parar a produção e incorrer nos custos associados a isso. Em momentos de baixa demanda (normalmente durante a noite) em que haja excesso de oferta, oriundo normalmente de fontes renováveis e de geradoras com alto grau de inflexibilidade, pode ser necessário desligar momentaneamente term-elétricas com perfil de geração de base e com ciclo muito longo (e caro) de arranque. As geradoras que não desejam ser desligadas, para evitar os custos associados à parada para posterior arranque, podem então negociar e pagar para continuar gerando, prática chamada de “preço negativo”. E de fato os consumidores, naquele momento, recebem para consumir. Segundo a EPEXSPOT (www.epexspot.com), em 2012 ocorreram preços negativos no mercado de dia seguinte alemão em 15 dias (56 horas). No mercado Intraday ocorreram preços negativos em dez dias (41 horas).

o modelo de negócio dos geradores tradicionais acaba sendo prejudicado: as plantas térmicas funcionam durante um número menor de horas, sendo remuneradas a preços em queda.

Como ilustração dos desafios atuais de comercialização de energia, as reformas em andamento no mercado de energia britânico são bastante emblemáticas.

A reforma britânica do modelo do setor elétrico em curso partiu do diagnóstico de que o aparato regulatório vigente não seria adequado para garantir o atendimento aos compromissos assumidos junto à União Europeia para redução do nível de emissões de gases do efeito estufa. Tais compromissos implicam substancial descarbonização da economia e, por consequência, da matriz de geração de energia elétrica. Isso requer mecanismos adequados de estímulos à implantação de novas usinas, sobretudo de fontes renováveis e nucleares. Além disso, a regulação corrente poderia não fornecer o estímulo adequado para viabilizar a substituição das diversas usinas a carvão e nucleares já em final de vida útil por outras termoeletricas. A reforma do mercado de energia inglês possui três elementos principais:

Contratos por diferenças entre o governo e novos geradores, sobretudo de fontes renováveis, mas também nucleares e eventualmente outras, que substituem as *Renewables Obligation* anteriormente vigentes.⁷ Os contratos por diferença constituem uma garantia do preço de venda de energia em longo prazo. A ideia é que os geradores vendam a energia no mercado, recebendo o preço de curto prazo. Haverá, porém, a garantia de preço no contrato

7. As *Renewable obligations* são um mecanismo para induzir a construção de usinas de fontes renováveis utilizados no Reino Unido desde 2000. Elas consistem, por um lado, em conceder aos geradores renováveis certificados de energia renovável por cada MWh gerado. Por outro, os geradores tradicionais são obrigados a comprar tais certificados no mercado na proporção da energia gerada. O regulador britânico, a OFGEM, confere se cada gerador tem de fato o número de certificados necessário, obrigando os que não tiverem lastro adequado a depositar uma multa em um fundo setorial dedicado à energia renovável. Em uma revisão do modelo de estímulo às renováveis, estimou-se um mecanismo que garantisse a efetiva fixação da receita para a venda da energia por parte do gerador renovável como uma forma de estímulo mais adequada à promoção do avanço das renováveis.

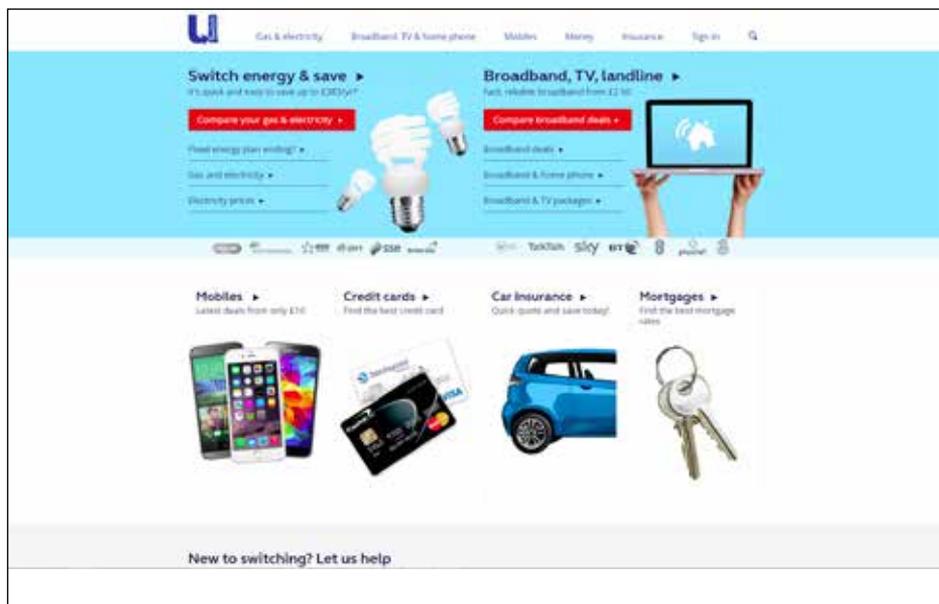
com o governo: se o preço médio de venda for inferior ao preço do contrato, o governo complementarará a receita do gerador. Em contrapartida, se a diferença for favorável ao gerador (preço médio de venda maior que preço do contrato), ele reembolsará o governo. Os contratos serão diferentes de acordo com as fontes para dar conta das peculiaridades de cada uma delas.

Fixação de um piso para o preço do carbono. O preço dos direitos de emissão de carbono deveria funcionar na Europa como um sinalizador para a economicidade de investimento em tecnologias de baixo carbono. As atividades emissoras, uma usina a carvão, por exemplo, precisam dispor de certificados em volume compatível com suas emissões de gases do efeito estufa. Com isso, atividades emissoras são desestimuladas, enquanto tecnologias de baixas emissões são favorecidas economicamente. Entretanto, a grande volatilidade nas cotações e, sobretudo, a prolongada baixa no preço dos direitos de emissão após a crise de 2008 acabaram por tornar o mecanismo europeu disfuncional, na medida em que a falta de um horizonte de preços em longo prazo não sinaliza de forma clara para investimentos. Ao introduzir um piso para o preço de carbono crescente em longo prazo, o governo britânico oferece uma sinalização mais clara neste sentido e dá maior previsibilidade aos investidores.

Criação do mercado de capacidade. Como o aumento da participação de tecnologias com custos marginais baixos ou nulos (renováveis sobretudo) acaba reduzindo os preços da energia, afetando negativamente a economia da geração convencional, o operador do sistema contratará no mercado de capacidade usinas com capacidade instalada controlável em volume suficiente para atender à demanda projetada. A contrapartida será um pagamento fixo aos geradores térmicos, que contarão com uma fonte adicional de receitas, além da venda de energia. A pertinência da criação desse mercado advém da constatação de que a presença de geração controlável é essencial para garantir o equilíbrio instantâneo entre a geração e o consumo.

Em setores elétricos completamente liberalizados já se verifica certo dinamismo no mercado de comercialização varejista. Até os consumidores residenciais podem escolher seus fornecedores de energia e os comercializadores oferecem variados produtos, especialmente nos casos em que a tarifa final de energia elétrica regulada foi extinta. Por exemplo, a E.ON já oferece no Reino Unido quatro tipos de tarifas de energia. Um dos pacotes é caracterizado por tarifas variáveis, sendo as outras três opções de tarifas pre-fixadas por um ou dois anos. No caso do pacote com tarifa variável, os clientes podem realizar pré-pagamento. Para se diferenciar de suas concorrentes no mercado livre, a E.ON oferece pacotes de energia especiais para idosos e também criou um inovador programa de fidelidade, no qual clientes acumulam os chamados “*Reward Points*” (pontos que podem ser trocados por produtos em lojas).

Nesta dinâmica competitiva, em que consumidores devem enxergar a energia, elétrica em si como uma *commodity*, é possível comparar valores de energia elétrica em plataformas de cotação de preços. Tais sites não apenas comparam preços, como também auxiliam os consumidores em suas escolhas. A figura a seguir apresenta plataformas que prestam esse tipo de serviço no Reino Unido.



No horizonte temporal de 2030, *a priori* a liberalização total dos mercados será uma tendência comercial predominante. Entretanto, os benefícios dessa liberalização não vêm se mostrando evidentes nos países a que já realizaram, sobretudo no que se refere à redução dos preços da energia, que é a motivação básica das reformas liberais. Em contrapartida, o surgimento de tecnologias na rede poderá contribuir para o desenvolvimento dos mercados liberalizados em um contexto caracterizado pela coexistência de maior complexidade e competição.

No caso brasileiro, as características do sistema tornam o seu modelo comercial peculiar e, por consequência, existem questões específicas. Trata-se de um mercado de energia que se estruturou a partir de 2003 para, ao seu modo, atender aos principais desafios encontrados em países da OCDE, relacionados à comercialização de energia no atacado. A base da comercialização de energia no Brasil não é um mercado do dia seguinte, e sim um mercado de contratos em que os consumidores devem garantir a contratação da totalidade de seu consumo, sob risco de penalidades. Na verdade, um mercado de energia nos moldes europeus sequer existe, pois o despacho é definido a partir de um modelo computacional de otimização, e não a partir de ofertas de preços e quantidades dos geradores e consumidores.

A característica mais marcante do desenho do mercado brasileiro é a contratação compulsória pelos consumidores de certificados de energia (garantia física no jargão do setor) em volume equivalente ao consumo medido. A forma de assegurar que os contratos de garantia física sejam de longo prazo para novos projetos é por leilões públicos, realizados pelo governo, para a compra em contratos de longo prazo da energia para o mercado regulado. As distribuidoras declaram ao governo suas necessidades de energia para o ano seguinte (para leilões de “Energia Existente” ou A-1) e para os próximos três e cinco anos para compra de “Energia Nova” (leilões A-5 e A-3). De posse de contratos de longo prazo firmados com as distribuidoras, os empreendedores conseguem obter financiamento junto

ao BNDES para a construção dos projetos utilizando os próprios contratos como principal garantia (na modalidade *project finance*).

Este desenho da comercialização de energia é fruto das características do sistema brasileiro com amplo domínio da geração hídrica na matriz. Em um sistema elétrico como o brasileiro, no qual a geração hídrica é dominante, os preços de curto prazo da energia tenderão a ser baixos sempre que ocorrerem hidrologias favoráveis e elevados em hidrologias desfavoráveis. Porém, o modelo de comercialização brasileiro contorna as dificuldades acarretadas pelo caráter errático do preço de curto prazo da energia, oferecendo uma boa solução para a contratação competitiva de novos projetos, inclusive de renováveis. Ainda assim, trata-se de um modelo que também encontra desafios para os próximos anos.

A expansão do sistema brasileiro está baseada na capacidade de pagamento do Ambiente de Contratação Regulado (ACR). As distribuidoras contratam compulsoriamente a energia dos geradores vencedores dos leilões organizados pelo governo e têm a garantia de repassar integralmente os gastos com compra de energia às tarifas dos consumidores cativos. O mercado livre, por sua vez, tem um papel pouco expressivo na viabilização dos novos empreendimentos, ou seja, na expansão da capacidade instalada.

Embora parte da energia ofertada nos leilões de energia nova possa ser destinada à contratação no mercado livre, até agora somente poucos projetos hidráulicos e de fontes alternativas efetivamente comercializaram parte de sua energia fora do ambiente regulado, destinando-a a autoprodutores e consumidores livres. Apesar de projetos de fontes alternativas terem sido viabilizados com o mercado livre como alvo, isso se configura exceção. A esmagadora maioria dos novos projetos de geração, incluindo todas as termoeletricas, não seria viável sem os leilões de energia nova para o ambiente regulado. Essa dependência deve-se à modelagem financeiras que exige como garantia para os vultosos empréstimos em longo prazo oferecidos pelo BNDES os contratos com o mercado cativo.

Ao contrário do que ocorre em diversos países centrais, que tornaram todos os clientes livres ou potencialmente livres, há no

Brasil barreiras à expansão do mercado livre. Esses obstáculos tanto no lado da contratação em longo prazo de novos projetos, como no acesso à energia de hidroelétricas antigas, com baixíssimos custos de produção.

O papel central dos contratos do mercado regulado para a viabilização dos novos projetos de geração de certa maneira conspira contra a expansão do mercado livre no Brasil, por não existirem mecanismos de contratação de longo prazo semelhantes aos do mercado cativo. Contribuem, nesse sentido, as dificuldades da principal fonte de financiamento do setor, o BNDES, em aceitar recebíveis do mercado livre como garantia de projetos de expansão, bem como a metodologia utilizada pela instituição para valorar a energia descontratada desses empreendimentos pelo PLD mínimo.

O consumidor regulado assume riscos, sobretudo na contratação de energia térmica, que dificilmente seriam aceitos por consumidores livres e comercializadoras.⁸ Outro fator que age na mesma direção é o fato de a geração hídrica – que costuma ser a mais barata e é comercializada na modalidade por quantidade (preço fixo em longo prazo) – ser destinada preferencialmente ao mercado regulado, tanto no caso de projetos novos como no caso de hidroelétricas antigas e já amortizadas, cuja concessão foi renovada com tarifas que correspondem somente aos custos de operação e de manutenção.

8. No sistema brasileiro, o acionamento da geração térmica tende a oscilar ao longo do tempo de forma imprevisível, ao sabor da intensidade das chuvas. Em anos úmidos, ou mesmo de hidrologia normal, a maior parte do parque térmico tende a ter níveis de ociosidade elevadíssimos. Mas em anos secos, como em 2013 e 2014, mesmo as mais caras das termoelétricas podem ser acionadas continuamente. A imprevisibilidade da geração térmica e do gasto com combustíveis faz com que seja extremamente difícil repassar o risco hidrológico ao gerador térmico. Essa dificuldade esteve em parte por trás da lenta expansão da geração térmica no período anterior à crise do apagão de 2001. Depois de 2004, passou-se a adotar uma nova modalidade para a contratação das usinas termoelétricas, em que o gerador deixou de correr o risco associado à incerteza do despacho. As novas usinas térmicas passaram a ser contratadas na modalidade por disponibilidade, em que o empreendedor recebe uma receita fixa mensal e o reembolso dos custos variáveis de geração (CVU). Assim, o risco associado a um uso particularmente intenso das térmicas recai sobre o consumidor regulado.

A consequência é que o mercado livre tende a permanecer de nicho, centrado em grandes consumidores, alguns deles investidores em autoprodução, e em consumidores livres incentivados, que podem, em virtude de seu porte, comprar energia de geradores de fontes alternativas fazendo jus a incentivos de custos. No atual desenho do mercado de energia não se vislumbra, portanto, um mecanismo de ampliação significativa da oferta de energia do mercado livre.

Entretanto, no horizonte de 2030, podem ser introduzidas alterações no marco regulatório e institucional capazes de endereçar esta limitação do modelo de comercialização atual. Uma primeira alternativa para fortalecimento do mercado livre seria a criação de condições melhores para sua participação na expansão da geração. Isso depende, em parte, das condições de financiamento, pois novos projetos de geração só conseguem capital de terceiros com base nos recebíveis do mercado regulado e na capacidade das distribuidoras de repassarem para a tarifa os custos com aquisição de energia. Mas a principal questão está ligada à atratividade dos contratos de energia nova para os consumidores livres. Se forem criadas condições que tornem tais contratos atrativos para grandes consumidores ou para comercializadoras, será possível que a participação do mercado livre na expansão da geração cresça.

Outra possível alteração regulatória seria o aumento da base de clientes potencialmente livres, seguindo a tendência dos países desenvolvidos, onde mesmo a venda de energia no varejo é desregulada. Neste modelo, as distribuidoras se encarregam dos serviços de rede, sendo remuneradas por uma tarifa regulada, mas a comercialização de energia é livre e competitiva, e está desvinculada dos serviços de rede. Isso representaria uma alteração substancial na comercialização de energia brasileira atual, centrada na contratação de energia pelo mercado regulado. Mas não é algo a ser descartado, sobretudo porque as distribuidoras vêm experimentando grandes dificuldades para lidar com a imprevisibilidade dos gastos com a compra de energia, que para elas representa um risco não remunerado.

Em um sistema hídrico, o preço de curto prazo do mercado de energia depende das afluições e do nível dos reservatórios, sendo por isso fortemente influenciado pela chuva, ou seja é, por um fator não econômico. Além disso, como as afluições variam muito, o resultado é uma grande volatilidade de preços em curto prazo. Existe, portanto, um preço de curto prazo que é formado por fatores não econômicos e que, ainda por cima, é muito volátil. O desenho da contratação de energia nova contorna este problema, pois nos leilões para expansão da geração a seleção de projetos está pautada pela oferta de energia em curto prazo.

Porém, o mesmo não ocorre com a comercialização de energia existente para o mercado regulado nem para o mercado livre. O agente que possui energia descontratada pauta suas decisões de venda de energia tendo como custo de oportunidade o preço de curto prazo da energia (PLD), sobretudo para contratos curtos, mas também, em menor medida, para contratos de médio prazo. Como o PLD pode, devido à hidrologia, ficar por longos períodos tanto acima como abaixo dos custos de produção, resulta que o PLD tende a se tornar um mau sinalizador econômico para as transações que dele dependem. Por esta razão é provável que, no horizonte de 2030, a lógica de formação dos preços de curto prazo seja alterada.

O novo ambiente de negócios

As mudanças na dinâmica de negócios do setor elétrico transcendem o escopo de novas tendências comerciais. Trata-se de um novo ambiente de negócios compatível com a própria evolução dos sistemas elétricos, os quais tendem a se manter conectados, porém assumindo um caráter mais distribuído.

Três forças começam a atuar para impor um novo ambiente de negócios: maior poder para os clientes, direcionamento para sustentabilidade e introdução de tecnologias disruptivas. A importância dessas forças já se faz presente nos países desenvolvidos.

Entretanto, é possível afirmar que tais forças também terão importância crescente em países como o Brasil ao longo dos próximos vinte anos.

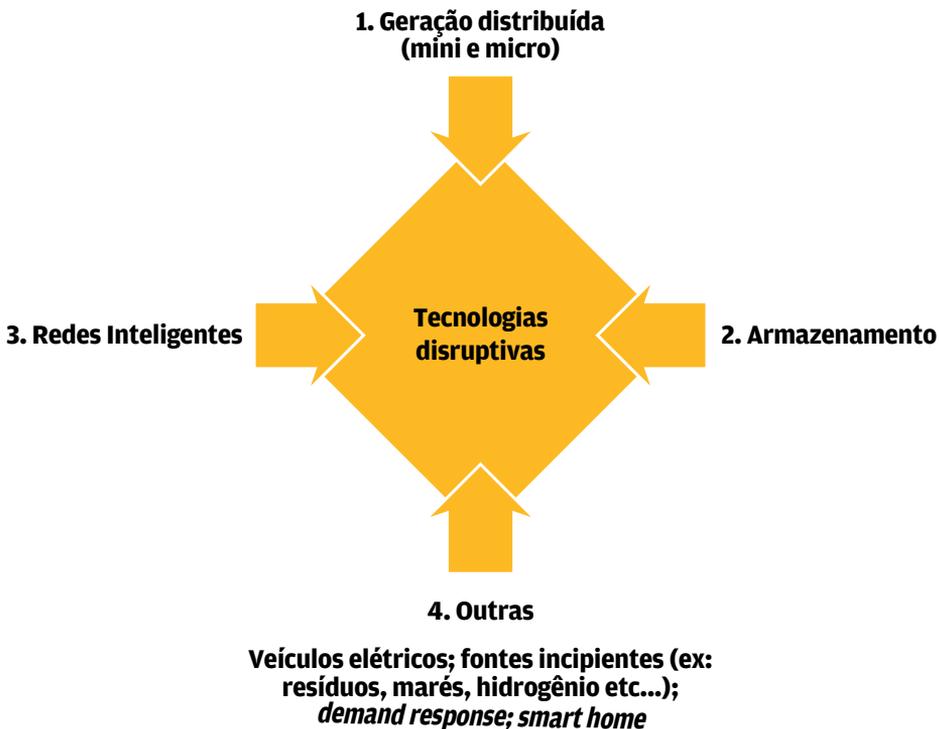
Os consumidores estão cada vez mais preocupados com a qualidade do suprimento de energia e, ao mesmo tempo, com a necessidade de mitigar impactos ambientais com a adoção de práticas sustentáveis. Questões inerentes à regulação do setor elétrico despertam interesse crescente nos consumidores, cujas demandas irão influenciar cada vez mais nas diretrizes regulatórias. O maior poder dos consumidores sobre governos e reguladores é uma tendência que vem ganhando dimensão global. O modelo de concorrência na geração britânica foi revisado recentemente devido à pressão de cliente contra a elevação de tarifas. Na Alemanha, o incentivo às fontes renováveis e as restrições à geração nuclear derivam da reivindicação por uma sociedade mais limpa e sustentável.

O Brasil não é uma exceção à regra. Após a universalização do acesso à eletricidade, é natural que os consumidores se tornem gradativamente mais exigentes. Essa tendência inexorável deve se traduzir em uma demanda por maior qualidade do serviço, levando os consumidores a pressionarem a agência reguladora para que seus anseios sejam atendidos. Um exemplo desse novo estágio da sociedade brasileira pode ser observado nas manifestações populares de 2013, nas quais a qualidade e os preços dos serviços públicos estiveram no centro das principais reivindicações. A questão no Brasil é mais complexa em função da assimetria econômica e social que poderá atingir de forma diferente e segmentada cada distribuidora de energia elétrica. Ou seja, a questão do preço da energia continuará a ter grande relevância nas escolhas dos consumidores.

A preocupação crescente da sociedade com a questão ambiental está transformando, de modo irrevogável, de consumir energia no mundo. A sociedade, os governos e os agentes produtivos estão cada vez mais preocupados com a sustentabilidade do consumo e do próprio crescimento econômico, buscando alternativas menos destrutivas de conviver com o meio ambiente. Em nível internacional,

o direcionamento à sustentabilidade tende a estar mais relacionado sobretudo à mitigação do aquecimento global, com a adoção de políticas capazes de levar a uma menor intensidade de carbono da economia.

Em paralelo, até 2030 diversas novas tecnologias devem ser introduzidas no setor elétrico provocando no seu conjunto condições concretas capazes de transformar o atual paradigma tecnológico do setor. Entre estes vetores tecnológicos, destacam-se a geração distribuída e a distribuição inteligente, que é vital para a disseminação tanto da geração distribuída como para inserção em larga escala de veículos elétricos na frota. Além destes, o desenvolvimento da prática de armazenagem de energia deve ser monitorado com atenção, pois sua disseminação terá relevantes impactos para as empresas do setor elétrico, especialmente ao se considerar que medidas de *demand response* já estão sendo adotadas e tendem a ser disseminadas nos próximos anos.



A geração distribuída tem se desenvolvido rapidamente em alguns países centrais e traz consigo uma radical mudança na relação entre cliente e distribuidora. Com a difusão da geração distribuída, o cliente pode no limite deixar de ser somente um comprador passivo de energia, passando a atuar como produtor de energia, o que torna necessária uma reformulação do perfil dos serviços oferecidos. A distribuidora pode atuar como compradora de excedentes de energia ou mesmo como provedora apenas de confiabilidade. Abre-se também espaço para serviços agregados como montagem e manutenção de equipamentos de geração.

Por sua vez, os impactos dos veículos elétricos na rede de distribuição ocorrerão tanto pelo aumento no consumo quanto pela necessidade de gestão da carga de energia elétrica. Assim, a introdução de *e-mobility* requer, por exemplo, o desenvolvimento de redes inteligentes para monitoramento e gerenciamento da carga, garantia de recarga segura e gestão do faturamento.

O desenvolvimento tecnológico no setor elétrico obriga a uma transformação das redes de distribuição tradicionais em redes inteligentes. Essa alteração já representa uma mudança de paradigma para as *utilities*. As redes inteligentes são redes de energia elétrica que utilizam tecnologias de informação e comunicação para gerenciar e monitorar o transporte e o uso mais eficiente e racional de eletricidade. A introdução de maior capacidade de processamento inteligente na rede irá transformar o modelo atual de operação da distribuição e a rede elétrica tradicional. Entre as principais mudanças de paradigmas, é possível elencar, com base na experiência internacional, entre outras, as seguintes alterações:

- 1.** Papel do consumidor: passará a ser mais ativo e informado, com possibilidade de monitorar o consumo em tempo real e com maior detalhamento;
- 2.** Mercados de energia: serão cada vez mais integrados e multidirecionais;
- 3.** Foco do sistema: cada vez mais centrado na análise dos dados disponibilizados pela rede;

4. Fluxo padrão: a carga será capaz de seguir a geração, via sinais de preço.

Por sua vez, a evolução das tecnologias de armazenamento representa uma ameaça ao modelo de negócios atual das *utilities*, mas também possibilita oportunidades de novos negócios a serem exploradas. O armazenamento de energia – conjugado com microgeração distribuída e medidas de *demand response* – pode, no limite, levar consumidores a saírem do *grid*, o que resultaria em um aumento no custo do uso do sistema para os demais consumidores. Em contrapartida, a disponibilização de uma razoável capacidade de armazenamento propiciaria meios para uma melhor gestão das fontes intermitentes e da demanda de pico do sistema.

Observa-se, assim, o porquê das transformações dos sistemas elétricos gerarem implicações para os modelos de negócios tradicionais. Em especial para as distribuidoras, as redes inteligentes viabilizarão um maior monitoramento da rede e a possibilidade de operações remotas. O aumento no volume de informações disponíveis para as distribuidoras permitirá que diversos novos produtos e serviços sejam oferecidos aos consumidores, tanto residenciais quanto industriais e comerciais.

Esta nova dinâmica implicará tanto a mudança do ambiente competitivo, abrindo a possibilidade de entrada no setor de novos *players*, quanto uma alteração no papel e na atuação da agência reguladora, a fim de se adaptar ao novo paradigma. Neste processo, destaca-se o surgimento de novas oportunidades de modelos de negócios que serão abertas para atuação das *utilities*, principalmente derivadas dos impactos das tecnologias disruptivas, que ampliam o escopo de atuação dessas empresas.

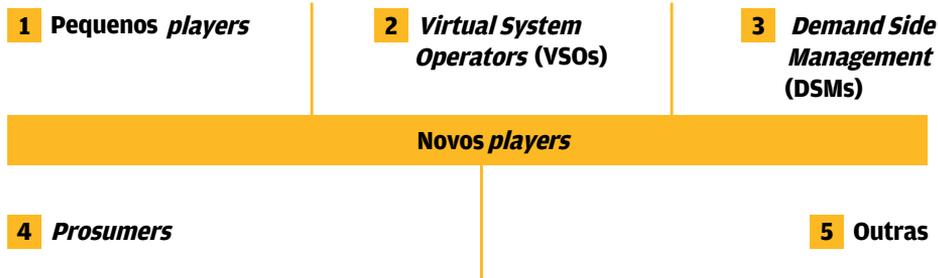
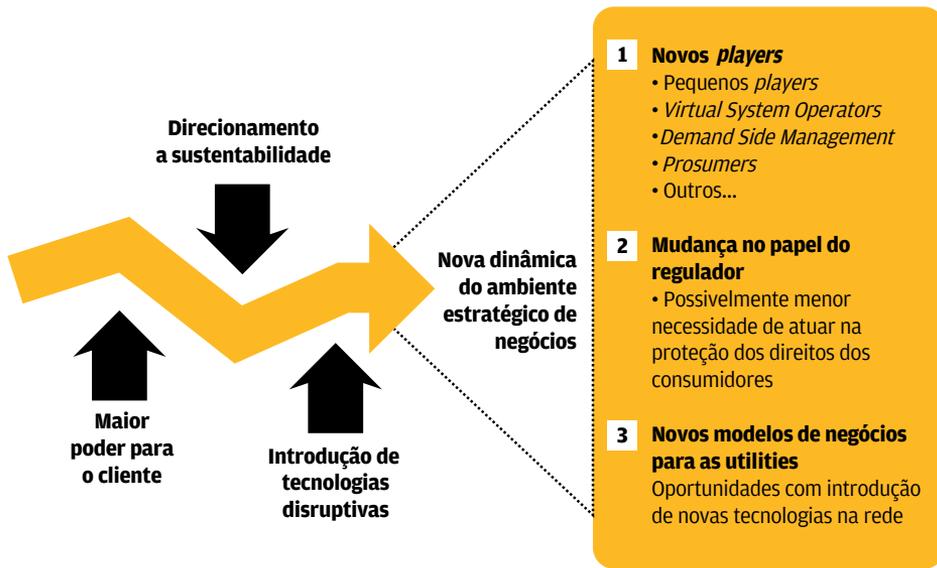
O ambiente competitivo do setor elétrico será afetado pelos novos entrantes deste mercado, em um aprofundamento do movimento iniciado com a desverticalização do setor e com a liberalização dos mercados de energia. *Players* de pequeno porte já encontram hoje espaço no setor elétrico, sobretudo através de investimentos em geração de fontes alternativas, como PCHs,

eólicas e solar. Ao mesmo tempo, surge outro novo entrante do setor com potencial de impactar a dinâmica do ambiente estratégico de negócios: o *Virtual System Operator*. Impulsionado pela disseminação da geração distribuída, esse agente será responsável pela integração de pequenas fontes, geradores intermitentes. Ao gerenciar um portfólio de pequenos geradores, o *Virtual System Operator* consegue operá-los como um recurso único e pode até vender essa energia no mercado como se fosse advinda propriamente de uma usina de geração (essas usinas virtuais são denominadas *Virtual Power Plants* – VPPs). Algumas comercializadoras, ligadas ou não a grandes grupos do setor elétrico, já atuam desta maneira no Brasil.

O surgimento de novas oportunidades de negócios, que abrem a possibilidade de entrada de novos *players*, é uma tendência que se aprofundará nos próximos anos, em função da ruptura do paradigma atual e do surgimento de um novo paradigma. No entanto, merece ser destacado – com base na teoria econômica ortodoxa e nas evidências tantas vezes retratadas e analisadas pela história econômica – que poderá ocorrer um processo de concentração de capital. Este movimento, uma das características do sistema capitalista, pode se fazer presente mais rapidamente no setor elétrico, sobretudo no Brasil, dada a complexidade legal do setor e do custo do capital.

Outro novo tipo de *player* impactará a dinâmica do ambiente estratégico de negócios, os *prosumers*. Trata-se do consumidor que também tem a capacidade de produzir energia e que pode disponibilizá-la a outros consumidores através da rede. Além das mudanças operativas, os *prosumers* causarão efeito no modelo de negócio das *utilities*, por terem uma dependência diferenciada da rede de distribuição convencional.

Sob a ótica regulatória, a postura mais ativa do consumidor, a introdução de inovações técnicas, a entrada de novos atores e a alteração da dinâmica concorrencial tendem a exigir uma inovação e uma adaptação no marco regulatório, que, necessariamente, impactarão a forma de atuação das agências reguladoras. As alterações



no ambiente regulatório são cruciais para estimular a evolução do setor, em função do papel estratégico que a regulação detém ao viabilizar ou não os novos investimentos, ditando assim o ritmo de introdução das inovações que, em última instância, circunscrevem as novas possibilidades de atividades empresariais. Tanto pela novidade dos novos processos e produtos como pela natureza dos novos *players* envolvidos, que não são monopolistas como empresas de rede tradicionais, a tendência é a adoção de uma postura menos determinativa por parte do regulador.

O modelo regulatório atual é um enorme obstáculo à evolução do setor elétrico, pois não apresenta incentivos regulatórios capazes de incitar investimentos na modernização de usinas e da rede,

especialmente quando se trata de redes inteligentes. Tampouco é uma regulação adequada para lidar com a expansão da geração distribuída. Os modelos regulatórios tradicionais não são capazes de rentabilizar investimentos em novas tecnologias.

A transformação do setor elétrico exigirá o estabelecimento de novas diretrizes regulatórias com vistas a incentivar que ocorram inovações no setor e, ao mesmo tempo, a definir modelos de remuneração de ativos compatíveis com as novas tecnologias e com o ambiente de negócios emergente. Tais diretrizes vão desde mecanismos que propiciam investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética até aqueles que permitam às distribuidoras de energia elétrica auferirem remunerações justas de sua base de ativos diante da disseminação de redes inteligentes, geração distribuída e *demand response* em um contexto de liberalização crescente dos mercados.

Grande parte dos novos modelos de negócio para as *utilities* serão viabilizados pelas tecnologias disruptivas, as quais ampliarão o escopo de atuação potencial das empresas. No caso da geração distribuída, por exemplo, além da possibilidade de se tornarem *Virtual System Operator*, as *utilities* poderão atuar com serviços de instalação, manutenção e gestão de painéis solares e minieólicas. Em relação às redes inteligentes, o maior volume de dados viabilizados pela tecnologia será o principal *driver* do desenvolvimento de novos modelos de negócios:

1. Gestão da demanda e de eficiência energética;
2. Comercialização de produtos e serviços customizados, subordinados a uma nova regulamentação;
3. Desenvolvimento e gestão de redes de telecomunicações associadas às redes inteligentes;
4. Prestação de serviços de instalação e operação de redes para *utilities* de outros setores, como gás, água etc.

Por outro lado, as redes inteligentes podem viabilizar também a entrada de novos *players* de diversos setores, especialmente em mo-

delos de negócios que envolvem contato direto com os consumidores. Com a automação residencial, empresas de telecomunicações (por exemplo, AT&T) e de informática (como o Google) podem competir agressivamente, alavancando na *expertise* comercial.

No caso da mobilidade elétrica, ao mesmo tempo que essa nova modalidade de veículos apresenta desafios técnicos e operacionais, a tecnologia abre toda uma gama de possibilidades de novos negócios para as distribuidoras. As *utilities* podem atuar em toda a cadeia de valor de mobilidade elétrica, desde fabricação e venda de baterias até instalação de postos de carregamento e serviços de gestão de frota.

No novo ambiente estratégico de negócios, as *utilities* poderão assumir pelo menos três posicionamentos:

1. Foco na excelência de operação: modelo de negócios de “poste e fio”;
2. Exploração de infraestrutura e serviços de energia, alavancando competências para expandir a base de clientes;
3. Análise de infraestrutura, serviços de energia e outros modelos de negócios direcionados ao consumidor.

Cada um desses posicionamentos se caracteriza pela atuação em diferentes modelos de negócios e por diferentes níveis de profundidade de contato com os consumidores. A *utility* do tipo 1, ao atuar sob o modelo de negócios tradicional de operação da rede elétrica, compete apenas com outras empresas de energia. Já a empresa tipo 2, ao atuar em outros negócios de infraestrutura além da rede elétrica – como telecomunicações e internet –, compete diretamente com empresas especializadas, empreiteiras e empresas de serviços, e precisa desenvolver competências específicas para tanto. Finalmente, a empresa tipo 3 atua no desenvolvimento de novos produtos e serviços oferecidos diretamente ao consumidor e, portanto, concorre com uma gama muito mais ampla de *players*. Para atuar como empresa do tipo 3, a *utility* deve, portanto, saber operar com eficiência a rede elétrica

e também desenvolver um time comercial robusto, uma equipe de desenvolvimento de produtos, além de fortalecer sua marca.

As *utilities* terão que comparar suas competências atuais com as competências demandadas pelo posicionamento ambicionado. Além disso, avaliar se faz sentido estratégico assumir os riscos e desafios de ultrapassar sua atuação para fora do modelo de negócios tradicional de operação da rede elétrica para que possam operar infraestrutura de outras indústrias e, no limite, para que possam se tornar empresas de multi *utility*, que ofertam diversos serviços, como internet, televisão, telefone e até gestão de resíduos.



Sobre os autores

Guilherme de Azevedo Dantas

Professor de Economia da Energia e de Economia Industrial. Doutor em Planejamento Energético pela Coppe/UFRJ com mestrado em Economia e Política da Energia e do Ambiente pela Universidade Técnica de Lisboa e graduação em Economia pela UFRJ. Especialista em Economia Industrial, Economia da Regulação, Fontes Alternativas de Geração de Energia Elétrica e Biocombustíveis. Atua como Pesquisador Sênior do Gesel/IE/UFRJ desde 2007.

Roberto Brandão

Economista com pós-graduação em economia, mestrado e doutorado em Filosofia. É pesquisador sênior do grupo de estudos do setor elétrico, área de concentração em finanças. Ministra cursos na área de finanças destinados ao setor elétrico e desenvolve pesquisas na área de regulação, geração e transmissão de energia elétrica. Desenvolve estudos e trabalhos de consultoria para empresas do setor elétrico.

Rubens Rosental

Economista formado na UFRJ, possui mestrado em Engenharia da Produção na Coppe-UFRJ. É pesquisador sênior nas áreas de Cenários Macroeconômicos, Governança Corporativa e Integração Energética. Atua como pesquisador do Gesel/IE/UFRJ.



Referências



ABRADEE, Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. *Programa de Benchmarking*. Disponível em: < <http://www.abradee.com.br/abradee/atividades/programa-benchmarking> >. Acesso em 13 de maio de 2013.

ACKERMANN, Thomas, ANDERSSON, Göran, SÖDER, Lennart. *Distributed generation: a definition*. *Electric Power Systems Research* 57 (2001): 195–204.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL, 2010a). *Chamada Nº 011/2010 - Projeto Estratégico: “Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente”* (p. 20). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2008-ChamadaPE11-2010.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Normativa Nº 375, de 25 de Agosto de 2009: Regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2009375.pdf>>. Acesso em 15 de maio de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Nota Técnica nº 0044/2010-SRD/ANEEL: Instauração de Audiência Pública no intuito de coletar subsídios para Resolução Normativa acerca da implantação de medidores eletrônicos em unidades consumidoras do Grupo B*. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/043/documento/nota_tecnica_0044_2010_srd.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Nota Técnica nº 0098/2012-SRD/ANEEL: Proposta de Resolução Normativa com base na avaliação do processo de Audiência Pública no 43/2010, instaurada com o objetivo de coletar subsídios acerca da implantação de medidores eletrônicos em unidades consumidoras do Grupo B*. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/043/resultado/nota_tecnica_0098_srd-aneel.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Normativa Nº 502, de 7 de Agosto de 2012: Regulamenta*

sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012502.pdf>>. Acesso em 15 de maio de 2014.

AGHAEI, Jamshid; ALIZADEH, Mohammad-Iman. *Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: a review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18 (2013): 64–72.

AGRELL, Per J.; BOGETOFT, Peter; MIKKERS, Misja. *Smart-grid investments, regulation and organization*. *Energy Policy* 52 (2013): 656–666.

ALONSO, Monica; AMARIS, Hortensia; ALVAREZ-ORTEGA, Carlos. *Integration of renewable energy sources in smart grids by means of evolutionary optimization algorithms*. *Expert Systems with Applications* 39 (2012): 5513–5522.

ANDERSEN, Poul H., MATHEWS, John A., RASK, Morten. *Integrating private transport into renewable energy policy: the strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles*. *Energy Policy* 37 (2009) 2481–2486.

ANDEWS-SPEED, Philip. *Reform Postponed: The Evolution of China's Electricity Markets*. In: SIOSHANSI, Fereidoon P., *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Academic Press, 2013. p. 531-567.

ARGONNE NATIONAL LABORATORY. *How You Will Connect to The Smart Grid*. U.S. Department of Energy. Disponível em: <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/2012energyshowcase/transportation/es_openhouseGridPyramidsp_0812.pdf>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

ASANO, Hiroshi; GOTO, Mika. *After Fukushima: The Evolution of Japanese Electricity Market*. In: SIOSHANSI, Fereidoon P., *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Academic Press, 2013. p. 715-738.

Bagnall, D.M., Boreland, M. *Photovoltaic technologies*. *Energy Policy* 36 (2008): 4390–4396.

BARROS, Luisa Valentim. *Avaliação de modelos de negócios para energia solar fotovoltaica no mercado de distribuição brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Energia) – Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

BOSETTI, Valentina, CATENACCI, Michela, FIORESE, Giulia, VERDOLINI, Elena. *The future prospect of PV and CSP solar technologies: An expert elicitation survey*. *Energy Policy* 49 (2012): 308-317.

BOSETTI, Valentina, LONGDEN, Thomas. *Light duty vehicle transportation and global climate policy: The importance of electric drive vehicles*. *Energy Policy* 58 (2013): 209-219.

BOUDRI, J.C., HORDIJK, L., KROEZE, C., AMANN, M., COFALA, J., BERTOK, I., JUNFENG, Li, LIN, Dai, SHUANG, Zhen, RUNQUING, Hu, PANWAR, T.S., GUPTA, S., SINGH, D., KUMAR, A., VIPRADAS, M.C., DADHICH, P., PRASAD, N.S., SRIVASTAVA, L. *The potential contribution of renewable energy in air pollution abatement in China and India*. *Energy Policy* 30 (2002): 409-424.

BOUTE, Anatole. *The Russian Electricity Market Reform: Toward the Reregulation of the Liberalized Market?* In: SIOSHANSI, Fereidoon P.. *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Academic Press, 2013. p. 461-496.

BP GROUP, *Statistical Review of World Energy*, Junho 2013. Disponível em: < http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statisticalreview/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf >. Acesso em 18 de junho de 2013.

BRADLEY, T. H., FRANK, A. A., 2009. “*Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles*”. *Renewable and Sustainable Energy Review* 13, pp. 115-128.

BRIONES, A. et al. *Vehicle to Grid (V2G) Power Flow Regulations and Building Codes - Review by the AVTA*. 2012. INL - Idaho National Laboratory. US.

BULLIS, Kevin. *Will Fast Charging Make Electric Vehicles Practical?* Disponível em: < <http://www.technologyreview.com/news/429283/will-fast-charging-make-electric-vehicles-practical/>>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

BURGER, Bruno, *Electricity production from solar and wind in Germany in 2012*, Fraunhofer Institute for Solar and Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, 2013.

CAMPILLO, J., FOSTER, S. *Global Solar Photovoltaic Industry Analysis with Focus on the Chinese Market*. The Department of Public Technology Mälardalen University, Västerås. Sweden, 2008.

CARDENAS, Jesus A. et al. *A literature survey on Smart Grid distribution: an analytical approach*. Journal of Cleaner Production 65 (2014): 202–216.

CASTRO, Nivalde de. et al. *Mercados de energia em sistemas elétricos com alta participação de energias renováveis*. Texto de Discussão do Setor Elétrico nº 31, GESEL-IE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

CASTRO, Nivalde José, Brandão, Roberto, Dantas, Guilherme de A, ELY, Rômulo Neves. *Plano de Expensão de Energia – PDE 2020 : Análise do método, metas e riscos*. Texto de Discussão n. 44. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2012b.

CASTRO, Nivalde José, BRANDÃO, Roberto, DANTAS, Guilherme de A. *A bioeletricidade sucroenergética na matriz elétrica. Etanol e Bioeletricidade: a cana de açúcar no futuro da matriz energética*. Unica. São Paulo, 2010b.

CASTRO, Nivalde José, BRANDÃO, Roberto, MARCU, Simona, Dantas, Guilherme de A. *Mercados de energia em sistemas elétricos com alta participação de energia renováveis*. Texto de Discussão n. 31. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2011.

CASTRO, Nivalde José, Brandão, Roberto; Dantas, Guilherme de A. *Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro e o Potencial Hidroelétrico da Região Amazônica*. Texto de Discussão n. 50. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2012a.

CASTRO, Nivalde José, DANTAS, Guilherme de A, BRANDÃO,

Roberto, LEITE, André Luiz da Silva. *Bioeletricidade e a Indústria de Álcool e Açúcar: possibilidades e limites*. Synergia. Rio de Janeiro, 2008.

CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme de A. *Considerações sobre a Ampliação da Geração Complementar ao Parque Hídrico Brasileiro*. Texto de Discussão n. 15. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2010a.

CASTRO, Nivalde José; BARA NETO, Pedro, Brandão, Roberto; Dantas, Guilherme de A. *Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro e o Potencial Hidroelétrico da Região Amazônica*. Texto de Discussão n. 50. Rio de Janeiro: Gesel/IE/UFRJ, 2012a.

CHAZAN, Guy; PICKARD, Jim. *Energy's big six embrace review as way to dispel mistrust*. Disponível em: <<http://www.ft.com/intl/cms/s/0/05dd9624-b423-11e3-a102-00144feabdco.html?siteedition=intl#axzz2xYIjpbeg>>. Acesso em 24 de outubro de 2014

COHEN, B.. *The Top 10 Smartest European Cities*. Disponível em < <http://www.fastcoexist.com/1680856/the-top-10-smartest-european-cities#1>>. Acesso em 10 de abril de 2013.

COMISION NACIONAL DE ENERGIA (CNE). *CNE informa nuevas tarifas de servicios asociados al suministro electrico*. Disponível em: <<http://www.cne.cl/noticias/energia/electricidad/34-cne-informa-nuevas-tarifas-de-servicios-asociados-al-suministro-electrico>>. Acesso em 24 de outubro de 2014.

COPPE. *Mudanças climáticas e seguridade energética no Brasil*. UFRJ, 2008.

CORRÊA NETO, Vicente; RAMON, Dan. *Análise de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-geração no Setor Sucroalcooleiro*. Setap. Brasília, 2002.

COUTURE, Toby D. et al. *A Policymaker's Guide to Feed-in Tariff Policy Design*. U.S. Department Of Energy, Colorado 2010.

CRONEMBERGER, Joara, CAAMAÑO-MARTÍN, Estafanía, SÁNCHEZ, Sergio Vega. *Assessing the solar irradiation potential for solar photovoltaic applications in buildings at low latitudes – Making the case for Brazil*. *Energy and Buildings* 55 (2012): 264-272.

D'ARAÚJO, Roberto Pereira. *Setor elétrico brasileiro: uma aventura mercantil*. Brasília: Confea/Crea, 2009.

DANISH MINISTRY OF CLIMATE. *Energy and Building*, 2013. Smart Grid Strategy: The intelligent energy system of the future. Disponível em: <www.kemin.dk>. Acesso em 15 de maio de 2014.

DANTAS, Guilherme de Azevedo. *Alternativas de Investimento do Setor Sucroenergético Brasileiro para Aproveitamento de Bagaço e de Palha*. Tese de Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.

DARBY, S.. *Smart metering: what potential for householder engagement?* Building Research & Information, 2010. 38(5): p. 442 - 457.

DELFANTI, M.; FALABRETTI, D.; MERLO, M.. *Dispersed generation impact on distribution network losses*. Electric Power Systems Research 97 (2013): 10–18.

DEPARTMENT OF ENERGY AND CLIMATE CHANGE (DECC). *Electricity Market Reform: policy overview*. London, 2012.

DEPARTMENT OF ENERGY AND CLIMATE CHANGE (DECC). *Implementing the Emissions Performance Standard: Further Interpretation and Monitoring and Enforcement Arrangements in England and Wales*. London, 2014.

DEPARTMENT OF ENERGY. *Successes of the Recovery Act*. Washington, 2012.

DESHMUKH, Ranjit, BHARVIRKAR, Ranjit, GAMBHIR, Ashiwn, PHADKE, Amol. *Changing Sunshine: Analyzing the dynamics of solar electricity policies in the global context*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012): 5188-5198.

DEUTSCHE WELLE (DW). *Cúpula do G20 estabelece metas de crescimento econômico*. Disponível em: <<http://www.dw.de/c%C3%BApula-do-g20-estabelece-metas-de-crescimento-econ%C3%B4mico/a-18068085>>. Acesso em 18 de novembro de 2014.

DINCER, Furkan. *The analysis on wind energy electricity generation status, potential and policies in the world*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011): 5135-5142.

EDP DISTRIBUIÇÃO. *Projeto InovGrid*. Disponível em: <<http://www.edpdistribuicao.pt/pt/rede/InovGrid/Pages/InovGrid.aspx>>. Acesso em 15 de maio de 2014.

EKANAYAKE, Janaca. et al. *Smart Grid - Technologies and Applications*. Chichester, United Kingdom: Wiley, 2012, 293 p.

ENEL. *Telegestore – Italy*. Disponível em: <http://www.enel.com/en-GB/innovation/smart_grids/smart_metering/telegestore/>. Acesso em 15 de maio de 2014.

ENERGINET. DK. *Smart Grid in Denmark 2.0: Implementation of three key recommendations from the smart grid network*. Disponível em: <http://www.gridplus.eu/Documents/events/Innogrid_1/1150h_Report_Smart%20Grid%20in%20Denmark%202.0.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2014.

ENERGINET. DK. *Smart Grid in Denmark*. Disponível em: <<http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske dokumenter/Forskning/Smart Grid in Denmark.pdf>>. Acesso em 15 de maio de 2014.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. *Demanda de Energia 2050*. Série Estudos Demanda de Energia. Nota Técnica DEA 13/14. 2014.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2021*. 2012.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia 2030*. 2007.

EPIA, EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. *Global Market Outlook for Photovoltaic - 2014-2018*. Bruxelas, 2014.

EPIA, EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. *Solar Photovoltaics – Competing in the Energy Sector*. Bruxelas, 2011a.

EPIA, EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. *Unlocking the Sunbelt – Potential of Photovoltaics*. Bruxelas, 2011b.

EURELECTRIC, *Deploying publicly accessible charging infrastructure for electric vehicles: how to organize the market?*, Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC, Brussels, 2013.

EUROPEAN COMMISSION (EC). *Europe 2020 targets*. Disponível em: <http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_en.pdf>. Acesso em 13 de outubro de 2014.

EUROPEAN COMMISSION (EC). *Energy Markets in the European Union in 2011*. Disponível em: <<http://europa.eu>>. Acesso em 15 de agosto de 2014.

EUROPEAN COMMISSION (EC). *EU Energy in Figures 2014*. Disponível em: <<http://ec.europa.eu>>. Acesso em 15 de agosto de 2014.

EUROPEAN COMMISSION (EC). *Quarterly Report on European Electricity Markets, 2013 Q2*. Disponível em: <<http://europa.eu>>. Acesso em 15 de agosto de 2014.

FAI, Fundo de Apoio à Inovação. *Novas tecnologias energéticas – Roadmap Portugal 2050*. Lisboa, 2010.

GSMA, Groupe Speciale Mobile Association. *Vision of Smart Home: The Role of Mobile in the Home of the Future*. Londres, Setembro de 2011.

GUERREIRO, A.. *Novos paradigmas de consumo – O comportamento do consumidor em 2030 e seus impactos para o setor energético*. In: *Workshop Padrão de Consumo*, 1. Campinas, 2013, São Paulo.

GWEC, GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Energy Outlook - 2012*. Bruxelas, 2012.

GWEC, GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Report – Annual Market Update 2013*. Bruxelas, 2014.

GWEC, GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. *Global Wind Statistics - 2012*. Bruxelas, 2013.

HAAS, Reinhard, PANZER, Christian, RESCH, Gustav, RAGWITZ, Mario, REECE, Gemma, HELD, Anne. *A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011): 1003-1034.

HEYWOOD, John B.; *More Sustainable Transportation: The Role of Energy Efficient Vehicle Technologies*. Sloan Automotive Laboratory - Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, 2008.

HUO, Mo-lin, ZHANG, Dan-wei. *Lessons from photovoltaic policies in China for future development*. Energy Policy 51 (2012): 38-45.

IEA, International Energy Agency, 2009a. *Transport, Energy and CO₂ – Moving Toward Sustainability*. IEA. Paris.

IEA, International Energy Agency, 2013b. *Global EV Outlook - Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*. IEA. Paris.

IEA, International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives 2008 – In support of the G8 Plan of Action*. IEA. Paris, 2008b.

IEA, International Energy Agency. *Energy Technology Perspectives 2012 – Pathways to a Clean Energy System*. IEA. Paris, 2012b.

IEA, International Energy Agency. *From 1st to 2nd – Generation Biofuel Technologies: an overview of current industry and R D e D activities*. IEA. Paris, 2008.

IEA, International Energy Agency. *From 1st to 2nd – Generation Biofuel Technologies: an overview of current industry and R D e D activities*. IEA. Paris, 2008a.

IEA, International Energy Agency. *Key World Energy Statistics 2013*. IEA. Paris, 2013a.

IEA, International Energy Agency. *Technology Roadmap – Bioenergy for Heat and Power*. IEA. Paris, 2012c.

IEA, International Energy Agency. *Technology Roadmap – Concentrating Solar Power*. IEA. Paris, 2010.

IEA, International Energy Agency. *Technology Roadmap – Smart Grids*. Paris, 2011.

IEA, International Energy Agency. *Technology roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles*. IEA. Paris, 2009b.

IEA, International Energy Agency. *Transport, Energy and CO₂ – Moving Toward Sustainability*. IEA. Paris, 2009a.

IEA, International Energy Agency. *World Energy Outlook 2012*. IEA. Paris, 2012a.

IEEE, Institute for Electrical and Electronics Engineers. *Time in the Sun – The Challenge of High PV Penetration in the German Electric Grid*. IEEE power & energy magazine março/abril 2013, pp 55-64.

IHS. *The Future of Grid-Connected Energy Storage – 2013 Edition*. Disponível em: <<http://www.ihs.com/info/sc/e/solar-storage-report.aspx>>. Acesso em 23 de julho de 2014.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). *Time in the Sun: The Challenge of High PV Penetration in the German Electric Grid*. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=6466545>>. Acesso em 13 de outubro de 2014.

INSTITUTO AKATU. *Pesquisa Akatu 2012 - Rumo à Sociedade do Bem-Estar*. Disponível em: <<http://www.akatu.org.br/pesquisa/2012/PESQUISA AKATU.pdf>>. Acesso em 14 de agosto de 2014.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Working Group II. Genebra, 2014a.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Working Group III. Genebra, 2014b.

IPCC, Painel Intergovernamental sobre a Mudança do Clima. *Câmbio Climático 2013 – Bases Físicas – Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes*. Quinto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho I do IPCC. Genebra, 2013.

IRENA, International Renewable Energy Agency. *Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview*. IRENA. Bonn, 2013.

ISLAM, M.R., MEKHILEF, S., SAIDUR, R. *Progress and recent trends of wind energy technology*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21 (2011): 456-468.

JACKSON, Andrew L.R.. *Renewable energy vs. biodiversity: Policy conflicts and the future of nature conservation*. *Global Environmental Change* 21 (2011): 1195–1208.

JANKO, Ferenc. et al. *Reviewing the climate change reviewers: Exploring controversy through report references and citations*. *Geoforum* 56 (2014): 17–34.

JANUZZI, Gilberto de Martino, MELO, Conrado Augustus, *Grid-connected photovoltaic in Brazil: Policies and potential impacts for 2030*. *Energy for Sustainable Development* 17 (2013): 40-46.

JIMENEZ, Gonzalo; FLORES, Jose Miguel. *Reducing the CO₂ emissions and the energy dependence of a large city area with zero-emission vehicles and nuclear energy*. *Progress in Nuclear Energy* (2014): 1-8.

JONG, P., SÁNCHEZ, A.S., ESQUERRE, K., KALID, R.A., TORRES, E.A. *Solar and wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23 (2013): 526-535.

JRC EUROPEAN COMMISSION. *Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments*. Disponível em: <http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses/files/documents/smart_grid_projects_in_europe_lessons_learned_and_current_developments.pdf>. Acesso em 24 de outubro de 2014.

KEAY, Malcolm; RHYS, John; ROBINSON, David. *Electricity Market Reform in Britain: Central Planning Versus Free Markets*. In: SIOSHANSI, Fereidoon P.. *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Academic Press, 2013. p. 31-57.

KEMPTON, W., TOMI, J. *Vehicle to grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue*. *Journal of Power Sources* 144 (2005) 268-279.

KHAYYAM, H., RANJBARZADEH, H., MARANO, V.. *Intelligent control of vehicle to grid power*. *Journal of Power Sources* 201 (2012) 1-9.

KIM, Suduk; KIM, Yungsan; SHIN, Jeong Shik. *The Korean Electricity Market: Stuck in Transition*. In: SIOSHANSI, Fereidoon P.. *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Academic Press, 2013. p. 679-713.

KIM, Young. *Unfinished Business: The Evolution of US Competitive Retail Electricity Markets*. In: SIOSHANSI, Fereidoon P.. *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Academic Press, 2013. p. 331-361.

KIM, Younghwan. et al. *Effect of the Fukushima nuclear disaster on global public acceptance of nuclear energy*. *Energy Policy* 61(2013): 822–828.

KOELBL, B.S. et al. *Uncertainty in the deployment of Carbon Capture and Storage (CCS): A sensitivity analysis to techno-economic parameter uncertainty*. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 27 (2014): 81–102.

KROH, Kiley. *Germany Sets New Record, Generating 74 Percent Of Power Needs From Renewable Energy*. Disponível em: <<http://thinkprogress.org/climate/2014/05/13/3436923/germany-energy-records/>>. Acesso em 24 de outubro de 2014.

LIM, Hyoung Kyu. *Smart Prosumer: Status and Standardization*. Samsung electronics, Novembro. 2011.

LOPES, Eduardo Leonetti. *Desenvolvendo uma Indústria Nacional de Tecnologias Limpas*. Campinas, 2013.

LOPES, M.A.R., C.H. ANTUNES, and N. MARTINS, *Energy behaviours as promoters of energy efficiency: A 21st century review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012. 16(6): p. 4095-4104.

LUCENA, Andre Frossard P. et al. *Least-cost adaptation options for global climate change impacts on the Brazilian electric power system*. *Global Environmental Change* 20 (2010b): 342–350.

LUCENA, Andre Frossard P. et al. *The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil*. *Energy Policy* 37 (2009): 879–889.

LUCENA, André Frossard Pereira, SZKLO, Alexandre Salem, SCHAEFFER, Roberto, DUTRA, Ricardo Marques. *The vulnerability of wind power to climate change in Brazil*. *Renewable Energy* 35 (2010): 904-912.

LUCENA, André Frossard Pereira, SZKLO, Alexandre Salem, SCHAEFFER, Roberto, SOUZA, Raquel Rodrigues, BORBA, Bruno Soares Moreira Cesar, COSTA, Isabella Vaz Leal, PEREIRA JR., Amaro Olimpio, CUNHA, Sergio Henrique Ferreira. *The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil*. *Energy Policy* 37 (2009): 879-889.

LUCENA, André Frossard Pereira, SZKLO, Alexandre Salem, SCHAEFFER, Roberto, DUTRA, Ricardo Marques. *The vulnerability of wind power to climate change in Brazil*. *Renewable Energy* 35 (2010a): 904-912.

LÜTHI, Sonja; PRÄSSLER, Thomas. *Analyzing policy support instruments and regulatory risk factors for wind energy deployment*. *Energy Policy* 39 (2011): 4876-4892.

MARTINS, Fernando Ramos, PEREIRA, Enio Bueno. *Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil*. *Energy Policy* 39 (2011): 4378-4390.

MAYER, Johannes. *Electricity Spot-Prices and Production Data in Germany 2014*. Disponível em: <www.ise.fraunhofer.de>. Acesso em 15 de agosto de 2014.

MIGDEN-OSTRANDER, Janine. et al. *Decoupling Case Studies: Revenue Regulation Implementation in Six States*. Disponível em: <<http://www.raonline.org/document/download/id/7209>>. Acesso em 24 de outubro de 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *O Novo Modelo do Setor Elétrico*. Brasília, DF, 2003.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Relatório Smart Grid*. 2010. Disponível em < http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/acoes/Energia/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf >. Acesso em: 13 de maio de 2013.

MIT, Massachusetts Institute of Technology. *The Future of the Electric Grid*. MIT. Boston, 2011. Disponível em < <http://web.mit.edu/mitei/research/studies/the-electric-grid-2011.shtml> >.

MIT, Massachusetts Institute of Technology, 2011. *Chapter 5: The Impact of Distributed Generation and Electric Vehicles*. In *The Future of the Electric Grid - An Interdisciplinary MIT Study*. Massachusetts Institute of Technology. US.

MME, Ministério de Minas e Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2012*. 2013.

MORGAN, Pamela. *A Decade of Decoupling for US Energy Utilities: Rate Impacts, Designs, and Observations*. Graceful Systems LLC, USA, 2013.

MORRIS, Craig; PEHNT, Martin. *Energy Transition – The German Energiewende*. Disponível em: <<http://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2012/09/EnergyTransitionEnergiewende.pdf>>. Acesso em 12 de agosto de 2014.

MULLAN, J. et al. *The technical, economic and commercial viability of the vehicle to grid concept*. *Energy Policy* 48 (2012) 394–406.

MÜNSTER, Marie, MEIBOM, Peter. *Optimization of use of waste in the future energy system*. *Energy* 36 (2011) : 1612-1622.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012. *Perspectives on PEV Deployment and Infrastructure Needs*. Washington D.C.: Presentation to the Committee on Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment - National Research Council.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012. *The EV Project: Deployment Barriers*. Washington D.C.: Presentation to the Committee on Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment - National Research Council.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2013. *Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment - Interim Report*. Washington DC: National Academy of Sciences.

NEWBERY, David. *Evolution of the British Electricity Market and the Role for the Role of Policy for the Low Carbon Future*. In: SIOSHANSI, Fereidoon P.. *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Academic Press, 2013. p. 3-29.

NREL, NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. *Renewable Electricity Futures Study. Volume 1: Exploration of High-Penetration Renewable Electricity Futures*. NREL. Denver, 2012.

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. *Looking to 2060: Long-term global growth prospect*. Novembro de 2012.

- OFFICE OF GAS AND ELECTRICITY MARKETS (OFGEM). *Decisions on the Network Innovation Competition and the timing and next steps on implementing the Innovation Stimulus*. London, 2012.
- OFFICE OF GAS AND ELECTRICITY MARKETS (OFGEM). *Project Discovery: options for delivering secure and sustainable energy supplies*. Disponível em: <www.ofgem.gov.uk>. Acesso em 15 de agosto de 2014.
- OFFICE OF GAS AND ELECTRICITY MARKETS (OFGEM). *RIO - ED1 Consumer Challenge Group*. London, 2013.
- ONS, Boletim Diário da Operação, 31/12/2011. Disponível em <www.ons.org.br>. Rio de Janeiro, 2011.
- ONS, Dados relevantes de 2011. Disponível em <http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/dados_relevantes_2011>. Rio de Janeiro, 2012.
- ONU, United Nations. *World Population Prospect. The 2011 Revision*. New York, 2012a. Disponível em <<http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/population.htm>>. Acesso em 18 de junho de 2013.
- ONU, United Nations. *World Urbanization Prospects, The 2011 Revision*. New York, 2012b. Disponível em <<http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>>. Acesso em 18 de junho de 2013.
- OXERA CONSULTING LLP. *Ofwat's final methodology: now for implementation*. London, 2013.
- PASE, Hemerson. L.; ROCHA, Humberto. J. O Governo Lula e as Políticas Públicas do Setor Elétrico. *Revista Debates*, Porto Alegre, v.4, n.2, dez. 2010.
- PEREIRA JR., Amaro Olimpio, COSTA, Ricardo Cunha, MARRECO, Juliana de Moraes, LA ROVERE, Emilio Lèbre. *Perspectives for the expansion of new renewable energy sources in Brazil*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23 (2013): 49-59.
- PEREIRA JR., Amaro Olimpio, PEREIRA, André Santos, LA ROVERE, Emilio Lèbre, BARATA, Martha Macedo de Lima, VILLAR, Sandra de Castro, PIRES, Silvia Helena. *Strategies to promote renewable energy in Brazil*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011): 681-688.

PEREIRA, Marcio Giannini, CARNACHO, Cristiane Farias, FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos, SILVA, Neilton Fidelis. *The renewable energy market in Brazil: Current status and potential*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012): 3786-3802.

PINTO JUNIOR, H. Q. et al. *Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial*. Elsevier. Rio de Janeiro, 2007.

QUINN, C., ZIMMERLE, D., BRADLEY, T. H.. *The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle to grid ancillary services*. *Journal of Power Sources* 195 (2010) 1500–1509.

RAJ, N.T.; INIYAN, S.; GOIC, R., 2011. “A review of renewable energy based cogeneration technologies”. *Renew Sustain Energy Rev*, v.15, pp.3640-3648.

REGULATORY ASSISTANCE PROJECT (RAP). *Revenue Regulation Decoupling: A Guide to Theory and Application*. Montpellier, 2011.

REN21, RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21st CENTURY. *Renewables 2014 – Global Status Report*. REN21. Paris, 2014.

REN21, RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21st CENTURY. *Renewables 2013 – Global Futures Report*. REN21. Paris, 2013.

ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS. *Hot Spots in CEE: The Roland Berger CEE city ranking survey 2009*. Maio de 2009.

ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS. *Trend Compendium 2030*. Munique 2011. Disponível em < http://www.rolandberger.com/expertise/trend_compendium_2030/ >. Acesso em 13 de maio de 2013.

RÜTHER, Ricardo, KNOB, Paul José, JARDIM, Carolina da Silva, REBECHI, Samuel Hilário. *Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil*. *Energy Conversion and Management* 49 (2008): 1047-1079.

SAE, Hybrid Committee, 2012. *SAE Charging Configurations and Ratings Terminology*. SAE International. Warrendale.

- SAIDUR, R., ISLAM, M.R., RAHIM, N.A., SOLANGI, K.H. *A review on global wind energy policy*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010): 1744-1762.
- SAN ROMÁN, Tomás, et al. *Regulatory framework and business models for charging plug-in electric vehicles: Infrastructure, agents, and commercial relationships*. *Energy Policy* 39 (2011) 6360–6375.
- SCHAEFFER, Roberto. et al. *Energy sector vulnerability to climate change: A review*. *Energy* 38 (2012): 1-12.
- SCHEY, S. *The EV Project - Q1, 2013 Quarterly Report*. Disponível em: < <http://www.theevproject.com/cms-assets/documents/113177-646795.q1-2013-rpt.pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.
- SCHUMAN, Sara, LIN, Alvin. *China's Renewable Energy Law and its impact on renewable power in China: Progress, challenges and recommendations for improving implementation*. *Energy Policy* 51 (2012): 89-109.
- SEN, Anupama; JAMASB, Tooraj. *Not Seeing the Wood for the Trees? Electricity Market Reform in India*. In: SIOSHANSI, Fereidoon P.. *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*. Academic Press, 2013. p. 497-530.
- SIEMENS AG. *European Green City Index: Assessing the environmental impact of Europe's major cities*. Munique, 2009.
- SOITO, João Leonardo da Silva. *Amazônia e a Expansão da Hidroeletricidade no Brasil: vulnerabilidades, impactos e desafios*. Tese de Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2011.
- SOUZA, Fabio Cavaliere; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. *Dynamics of risk management tools and auctions in the second phase of the Brazilian Electricity Market reform*. *Energy Policy* 2010; 38: 1715–1733.
- SOVACOOOL, B. K., HIRSH, R. F. *Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle to grid (V2G) transition*. *Energy Policy* 37 (2009) 1095–1103.

STANDARD CHARTERED. *The Super Cycle Report*. November, 2010. Disponível em: < https://www.sc.com/id/_documents/press-releases/en/The%20Super-cycle%20Report-12112010-final.pdf >. Acesso em 18 de junho de 2013.

STUART YOUNG CONSULTING, *Analysis of UK Wind Power Generation, November 2008 to December 2010*, John Muir Trust, Pitlochry, Escócia, 2011.

SUSTERAS, Guilherme Luiz; RAMOS, Dorel Soares; CHAVES, José Roberto de Andrade; SUSTERAS, Alexandra Cristina Vidal Januário. *Attracting Wind Generators to the Wholesale Market by Mitigating Individual Exposure to Intermittent Outputs: an Adaptation of the Brazilian Experience with Hydro Generation*. 8th International Conference on the European Energy Market. Zagreb, Croácia, 2011.

UK Department Energy and Climate Changes. *Electricity Market Reform: Policy overview*. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65634/7090-electricity-market-reform-policy-overview-.pdf>. Acesso em 12 de agosto de 2014.

UNEP, United Nations Environment Programme. *The Emissions Gap Report 2012 –A UNEP Synthesis Report*. Nairobi, 2012.

UNESCO, Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWDR4)*, Resumo histórico. Disponível em http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Brasilia/pdf/WWDR4%20Background%20Briefing%20Note_pt_2012.pdf>. Acesso em 18 de junho de 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Regulatory Impact Analysis for the Proposed Carbon Pollution Guidelines for Existing Power Plants and Emission Standards for Modified and Reconstructed Power Plant*. Disponível em: <<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/20140602ria-clean-power-plan.pdf>>. Acesso em 12 de agosto de 2014.

UTILITY DIVE. *The State of Electric Utility*. Disponível em: <<http://www.utilitydive.com/library/2014-state-of-the-electric-utility/>>. Acesso em 24 de outubro de 2014.

VAN der HOEVEN, M., apresentação do relatório *Tracking Clean Energy Progress*, 4th Clean Energy Ministerial Delhi, India 17 de abril de 2013.

VON APPEN, Jan. et al. Time in the Sun: The Challenge of High PV Penetration in the German Electric Grid. *Power and Energy Magazine*, IEEE, v.11, Issue. 2, mar./abr. 2013.

WATER SERVICES REGULATION AUTHORITY (OFWAT). *Inputs, outputs and outcomes– what should price limits deliver?* London, 2010.

WHAT Happens When Consumers Turn into Prosumers? *The Electricity Journal* Volume 25, Issue 3, abr. 2012, p. 3–4.

WISSNER, M., *The Smart Grid - A saucerful of secrets?* Applied Energy, 2011. 88(7): p. 2509-2518.

XU, Hao, MIAO, Shihong, ZHANG, Chunyong, SHI, Dongyuan. *Optimal placement of charging infrastructures for large-scale integration of pure electric vehicles into grid*. *Electrical Power and Energy Systems* 53 (2013): 159-165.

ZURBORG, Aaron. *Unlocking Customer Value: The Virtual Power Plant*. Disponível em: <http://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/ABB_Attachment.pdf>. Acesso em 12 de agosto de 2014.

1ª edição: março de 2015

Este livro foi composto com as tipografias Swift e Amplitude
e foi impresso em papel X na gráfica X em X.

Parabenizo a CPFL, seu corpo diretivo e acionistas pelo projeto A Energia na Cidade do Futuro. A despeito dos recentes desafios por que passa o setor elétrico brasileiro, são muito poucos os que possuem a visão para abordar de maneira estruturada e completa a necessidade da busca de atualização tecnológica, regulatória e comercial deste setor, com o objetivo de produzir um material indispensável para agentes discutirem como deverá ser o setor elétrico brasileiro na década de 2030.

O cuidado com a seleção dos temas e convidados, combinando representantes da sociedade (nacional e internacional), da esfera institucional do setor elétrico, da academia e da indús-

tria, através de um debate franco e aberto, proporcionaram a elaboração deste livro. O conteúdo aqui exposto contribui para planejar a cidade do futuro, baseada no uso de fontes renováveis e sustentáveis, uma gestão inteligente dos nossos recursos energéticos e a conscientização para um consumo eficiente pela população.

É um prazer como executivo e como cidadão participar deste projeto.

Alessandro Leal

Diretor de Negócios do Google Brasil

O projeto da CPFL Energia – “A Energia na Cidade do Futuro” – mobilizou a sociedade em geral e todos os atores do setor elétrico a refletirem sobre o que devemos fazer hoje para alcançar o ideal de cidade do futuro. Como representante do Instituto ABRADÉE, posso dizer que foi uma honra ter a oportunidade de ter participado de alguns dos workshops temáticos e poder conhecer de perto essa iniciativa

audaciosa de construção de uma visão para o horizonte de 2030. Parabenizo a equipe do projeto por terem tido uma iniciativa tão bem estruturada e completa, contribuindo para a construção de um mundo melhor para as futuras gerações.

Nelson Fonseca Leite

Presidente do Instituto Abradee da Energia