



**Visão 2030:
cenários e diretrizes para o setor elétrico brasileiro**

Relatório Técnico

**Campinas
Março de 2015**

Índice

Introdução	3
1 – Metodologia Adotada.....	6
2 – O Cenário Base	12
3 – “Energia na Cidade do Futuro”	26
4 – Diretrizes para Viabilização do Cenário “Energia na Cidade do	

Futuro”	37
Referências Bibliográficas –	44

Introdução

O nível de atividade e a estrutura de uma economia, em conjunto com a intensidade com que os recursos energéticos são utilizados, determinam o consumo energético de uma região. Dado que os padrões tecnológicos e a estrutura da economia não apresentam grandes mudanças no curto prazo, é razoável a estimativa do consumo de energia ser baseado em relações econométricas que associem este consumo ao nível de atividade econômica. Entretanto, no médio/longo prazo é preciso considerar as trajetórias de evolução tecnológica e da estrutura econômica e, desta forma, existem incertezas associadas (PINTO JUNIOR *et al.*, 2007). Mais do que isso, dentro de uma visão de planejamento integrado, existe a possibilidade da adoção de políticas e medidas que possibilitem induzir uma trajetória de desenvolvimento menos intensiva no uso de energia, vide que a demanda não deve ser assumida como dada (DANTAS, 2013).

Em paralelo, é preciso destacar que os impactos ambientais da produção e do uso de energia são função da tipologia da oferta. Não obstante as características da oferta serem determinadas pelas tecnologias de suprimento disponíveis e pela dotação de recursos naturais, a variável custo é central na escolha dos investimentos a serem realizados (GOLDEMBERG e LUCON, 2007). No caso do setor elétrico, trata-se de uma indústria de rede essencial para o desenvolvimento das atividades socioeconômicas contemporâneas. Compreende-se assim porque historicamente o mesmo é objeto de regulação.

O exposto até aqui já evidencia a complexidade da realização de análises de médio/longo prazo relativas ao setor elétrico. No entanto, este tipo de análise é ainda mais complexo quando o horizonte temporal são os próximos 20 anos.

Conforme fora examinado no Relatório Técnico 1 deste projeto¹, por um lado, existe uma tendência de difusão do conhecimento e, por consequência, a perspectiva que a sociedade se torne mais exigente em termos de qualidade e sustentabilidade dos bens e serviços ofertados. Ao mesmo tempo, o setor elétrico se depara com a emergência de tecnologias disruptivas e a necessidade de mitigar suas emissões de gases do efeito estufa. Como todos estes elementos apresentam um razoável nível de incertezas associados, nota-se a dificuldade intrínseca a esta análise.

Para lidar com tamanhas incertezas, a construção de cenários apresenta-se como uma ferramenta analítica relevante. Entretanto, além de apresentar possíveis trajetórias para o setor elétrico, é importante examinar as diretrizes regulatórias e de estratégias empresariais requeridas para que ocorra uma efetiva transformação do setor elétrico com vistas a torna-lo mais eficiente e sustentável.

O projeto de pesquisa e desenvolvimento “Energia da Cidade do Futuro” teve como objetivo examinar as perspectivas do setor elétrico brasileiro para a década de 2030 e apresentar um conjunto de políticas e medidas que possibilitem sua transformação. Desta forma, ao longo da pesquisa foram identificadas tendências e incertezas críticas em diferentes áreas:

- i. Novos Paradigmas de Consumo;
- ii. Perspectivas da Matriz Elétrica (Renovável e Não-Renovável);
- iii. Mobilidade Elétrica;
- iv. Distribuição Inteligente;
- v. Tendências Comerciais do Setor Elétrico;
- vi. Novo Ambiente de Negócios;
- vii. Economia de Baixo Carbono;
- viii. Tendências Regulatórias.

¹ Este relatório aborda os novos paradigmas de consumo prospectados para a década de 2030.

Com base na massa crítica reunida, partiu-se para a construção de cenários e definição de um conjunto de diretrizes a serem adotadas com vistas a transformação do setor elétrico brasileiro.

Apesar de reconhecer a importância de variáveis relativas à dinâmica do desenvolvimento tecnológico, ao nível de renda per-capita e aos preços relativos dos insumos energéticos, adotou-se a hipótese que tais variáveis são pré-determinadas e/ou exógenas. É o comportamento da sociedade a variável crítica considerada na construção dos cenários. Foram construídos dois cenários. Em um cenário base, o comportamento da sociedade não sofrerá alterações significativas e o setor tende a evoluir sem grandes modificações estruturais. Em contrapartida, no cenário “Energia na Cidade do Futuro” os consumidores terão um comportamento mais ativo e concederão mais relevância à qualidade e à sustentabilidade, sobretudo diante à necessidade de mitigar as mudanças climáticas.

É importante ressaltar que o projeto teve início em abril de 2013 e, portanto, o período da atividade de pesquisa e das discussões associadas foi coincidente com um momento muito difícil para o setor elétrico brasileiro. Em linhas gerais, verifica-se que sucessivos períodos úmidos com hidrologias críticas resultaram na necessidade do despacho contínuo de todo parque térmico e, por consequência, vem ocasionando um grande impacto financeiro. Mais do que isso, o setor passou a ter que conviver com o risco de racionamento de energia, o qual tende a ser mitigado pelo arrefecimento do crescimento da economia brasileira.

A crise atual impactará as perspectivas do setor elétrico brasileiro ao longo dos próximos anos. Os efeitos sobre o paradigma operativo do sistema, o qual precisará diversificar sua matriz e de geração de base complementar ao parque hídrico, foram excessivamente examinados ao longo do projeto. Explica-se: trata-se de uma questão estrutural. As hidrologias críticas apenas o explicitou de forma mais imediata. Em contrapartida, os efeitos sobre a demanda de

energia de um eventual racionamento de energia não estiveram contemplados nas análises do projeto. Não bastasse o mesmo não ter sido efetivamente decretado, na maior parte do período de execução do projeto a possibilidade de racionamento não chegava ser tão relevante, sendo este risco potencializado apenas no período final do projeto.

Em suma, o objetivo deste relatório é apresentar os cenários construídos e as diretrizes propostas. Desta forma, espera-se que a partir da leitura do mesmo seja possível ter uma visão sintética dos principais resultados do projeto desenvolvido e a compreensão das perspectivas do setor elétrico na década de 2030, ou seja, uma Visão 2030.

O relatório está estruturado em 4 seções. Inicialmente é descrita a metodologia adotada no projeto. Na sequência, as seções 2 e 3 são dedicadas, respectivamente, a descrição do cenário base e do cenário “Energia na Cidade do Futuro”. Por fim, a última seção apresenta uma série de diretrizes necessárias para viabilização do cenário “Energia na Cidade do Futuro”.

1 – Metodologia Adotada

A prospecção do setor elétrico em um horizonte temporal de 20 anos precisa considerar não apenas o tamanho da população e o nível de atividade econômica, como também, a estrutura da economia, os padrões tecnológicos, a disponibilidade de recursos, as restrições impostas pelo meio ambiente e os hábitos culturais. A dificuldade da análise é perceptível, pois cada uma destas dimensões é detentora de um razoável nível de incerteza. E, mais importante, as incertezas aqui presentes são do tipo que não podem ser quantificadas e, por consequência, não permite a atribuição de uma distribuição de probabilidade (KNIGHT, 1921; MORGAN e HERION, 1990).

Por esta razão, as abordagens baseadas em modelos econométricos, as quais são pertinentes para estudos de curto prazo, não são válidas quando se tratam de projeções para o setor elétrico na década de 2030 sujeitas a incertezas não quantificáveis. Tal assertiva é embasada por HUSS (1988) que ressalta o caráter frágil da realização de previsões através da extrapolação de dados históricos a partir de ferramentas estatísticas. Desta forma, mesmo com a utilização de instrumental sofisticado, este tipo de abordagem possui enorme dificuldade em lidar com horizontes temporais de longo prazo quando existe escassez de dados e/ou variáveis não quantificáveis.

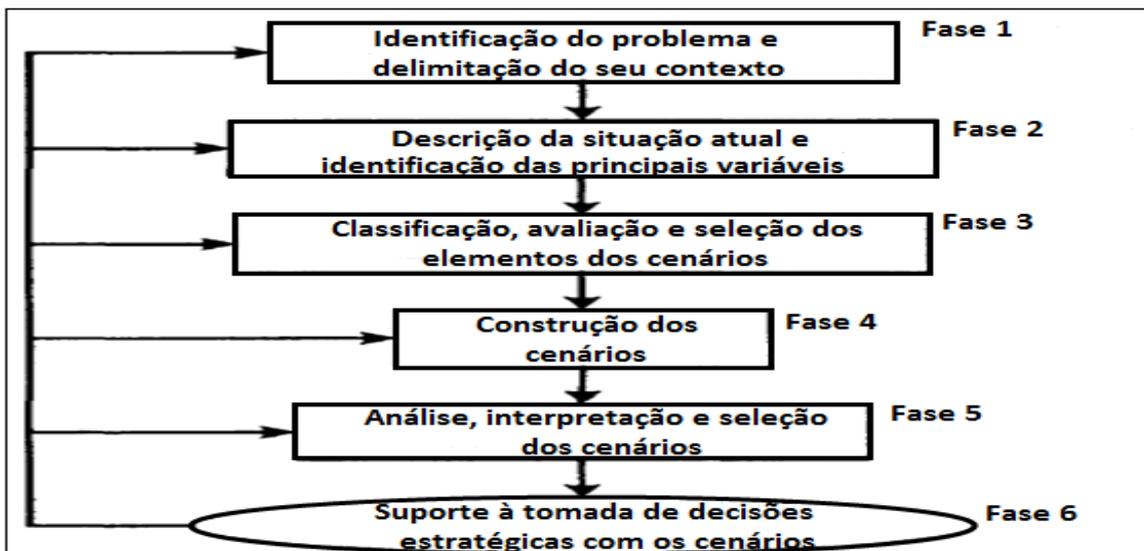
Perante a impossibilidade da utilização de uma metodologia matemática que permita a previsão do futuro, a alternativa consiste em um enfoque eminentemente qualitativo que permita a descrição das possíveis trajetórias a serem percorridas pelas variáveis dentro do contexto em que as mesmas estão inseridas, ou seja, a construção e análise de cenários (SCHNAARS, 1987).

Além de ser uma ferramenta analítica relevante para tomada de decisões por parte do Estado, dado que explicita os riscos inerentes às decisões, a metodologia de cenários também é importante na elaboração de estratégias empresariais, sobretudo naquelas relativas à realização de investimentos (POSTMA *et al.*, 2012).

Os cenários podem ser tidos como narrativas das trajetórias do comportamento de sistemas que possuem variáveis interdependentes dotadas de incerteza. De tal forma, a construção dos cenários exige a adequada delimitação do problema, o estado inicial das variáveis e a definição de hipóteses consistentes com vistas à obtenção de cenários plausíveis e pertinentes que permitam o real entendimento dos possíveis comportamentos do sistema em questão ao longo do tempo (SWART *et al.*, 2004).

A delimitação do problema deve considerar o horizonte temporal da análise e descrever o contexto onde a questão a ser examinada está inserida. Na sequência, deve ser examinado o status atual do problema e é imperativa a identificação das variáveis relevantes e a relação entre tomadas de decisões no presente sobre o estado destas variáveis no momento futuro. É necessário também definir as variáveis que serão tidas como as detentoras de incerteza, pois são as mesmas que irão distinguir os cenários a serem construídos, enquanto as demais variáveis serão supostas constantes ou pré-determinadas em todos os cenários. Por fim, ocorre a construção dos cenários e a posterior análise dos mesmos (BOOD e POSTMA, 1997). A Figura 1 a seguir é um fluxograma que apresenta a metodologia típica de construção de cenários.

Figura 1 – Fluxograma da Análise de Cenários



Fonte: BOOD e POSTMA (1997).

No âmbito do presente projeto de pesquisa, a questão consiste em identificar quais serão as características do setor elétrico brasileiro na década de 2030, dada as perspectivas de mudanças nos padrões de consumo conjugadas com a necessidade de mitigação dos impactos ambientais e emergência de novas tecnologias e, por consequência, o possível surgimento de um novo ambiente de negócios e novas tendências comerciais que serão condicionados pela forma como as normas regulatórias irão evoluir.

O padrão operativo atual do sistema elétrico brasileiro é o mesmo prevalecente em todo mundo desde o início do Século XX, ou seja, geração centralizada associada a longas linhas de transmissão e posterior distribuição em uma lógica onde a geração “segue” a carga. A especificidade do sistema brasileiro é a matriz predominantemente hidroelétrica. No âmbito comercial, nota-se que o nível de liberalização dos mercados é inferior aquele verificado nos países desenvolvidos, sobretudo na Europa, coexistindo um mercado regulado de energia com um mercado livre.

Considerando a abrangência das mudanças prospectadas, é possível identificar diversas variáveis críticas. A grande dificuldade na estruturação do

problema refere-se à seleção e classificação destas variáveis. Mais especificamente, a questão é delimitar qual a variável dotada de incerteza que será considerada na construção dos distintos cenários.

A presença de muitas variáveis dotadas de incerteza é um traço característico da dinâmica de sistemas complexos. Porém, a pertinência da técnica de construção de cenários requer um esforço para a construção do menor número possível de trajetórias do problema em análise. Como o número de cenários cresce em função do número de variáveis que sejam consideradas como incertas, é notória a necessidade da adoção de critérios muito bem fundamentados (SCHNAARS, 1987).

No âmbito desta pesquisa, há incertezas inerentes aos padrões de uso da energia, à forma como ocorrerá a expansão da oferta de energia elétrica, ao ritmo de desenvolvimento e disseminação das redes inteligentes, à inserção de veículos elétricos, às tendências comerciais e regulatórias, assim como, à estruturação do ambiente de negócios.

Para lidar com esse problema, convém construir cenários que se diferenciem em função de uma incógnita de comportamento incerto que permeie todas as esferas, ou seja, que se refira ao sistema como um todo. Por exemplo, a Agência Internacional de Energia em seus estudos acerca das perspectivas do setor energético, costuma construir cenários que se distinguem a partir dos supostos relativos aos esforços que serão implementados para mitigação das mudanças climáticas. Por sua vez, é comum planos nacionais de energia diferenciarem seus cenários em função das projeções de crescimento econômico.

O desafio é, portanto, definir a variável capaz de distinguir os cenários base e o “Energia na Cidade do Futuro” do setor elétrico brasileiro na década de 2030. Considerando que o comportamento da sociedade impacta as diretrizes

regulatórias, políticas e empresariais e interfere no desenvolvimento e disseminação de novas tecnologias, é justamente este comportamento que foi adotado como a variável central para a construção dos cenários. Assim, o suposto é que no cenário “Energia na Cidade do Futuro” os consumidores terão um comportamento mais ativo e concederão mais relevância à qualidade e à sustentabilidade, sobretudo diante à necessidade de mitigar as mudanças climáticas.

No entanto, a consistência dos cenários está diretamente associada à razoabilidade dos supostos adotados. Dado que a definição das hipóteses apresenta algum nível de discricionariedade, é preciso atenção para que os cenários construídos não sejam enviesados, especialmente quando se trata do cenário “Energia na Cidade do Futuro”, pois o mesmo pode ser visto como o “desejável” e tal conceito envolve algum grau de subjetividade.

Com vistas a minimizar este risco, além de uma ampla pesquisa de bibliografia técnica e acadêmica realizada pelo corpo técnico das entidades executoras do projeto, a elaboração dos cenários contemplou uma grande interatividade com especialistas e representantes dos principais órgãos institucionais do setor elétrico. Desta forma, buscou-se a construção de uma Visão 2030 que considere os posicionamentos empresariais, do agente regulador, do planejador e da sociedade civil.

Neste contexto, é importante destacar que cada uma das linhas de pesquisa do projeto teve a realização de um workshop com palestras de especialistas e uma plateia composta, não apenas por profissionais da CPFL Energia, como também convidados externos de órgãos governamentais, universidades, associações e outras empresas. O Quadro 1 a seguir apresenta de forma sintética os palestrantes dos workshops realizados.

Quadro 1 – Palestrantes dos Workshops

	Mediador	Palestrante 1	Palestrante 2	Palestrante 3
Novos paradigmas de consumo	> Nelson Hubner - ex-Diretor geral Aneel	> Helio Mattar – Pres. do Instituto Akatu	> Sidnei Martini – Prefeito USP	> Amílcar Guerreiro – Diretor da EPE
Perspectivas da Matriz Elétrica Brasileira I	> Nelson Hubner - ex-Diretor geral Aneel	> José Carlos Miranda – Diretor EPE	> Eduardo Lopes – Diretor da Wobben	> Ricardo Ranieri – Diretor do Banco Mundial
Perspectivas da Matriz Elétrica Brasileira II	> Nivalde Castro - Gesel	> Hermes Chipp - Diretor geral ONS	> Marcelo - Professor do IE-UFRJ	> Suzana Domingues - Bioenergy CoE Leader
Mobilidade Elétrica	> Amílcar Guerreiro – Diretor da EPE	> Wolfgang Benhart - Sócio Roland Berger	> Olivier Murguet – CEO Renault Brasil	> João Dias - CEO Prio.e
Redes Inteligentes	> Nelson Hubner - ex-Diretor geral Aneel	> Reive Barros – Diretor da ANEEL	> Carlos Henggeler – Profº da Universidade de Coimbra	> James Meadows - Diretor PG&E
Ambiente Estratégico de Negócios	> Profº Pedro Verdelho – Universidade do Porto	> Profº Isabel Soares – Universidade do Porto	> Jaap Rietter – COO Delta Holanda	> Alessandro Leal – Diretor Google
Tendências Comerciais	> Fábio Zanfelice – Diretor Presidente CPFL Brasil	> Luiz Barata - Presidente do Conselho da CCEE	> Nelson Siffert - BNDES	> Paulo Sena Esteves – Cons. OMIP
Economia de Baixo Carbono	> Rodolfo Sirol – Diretor de Sustentabilidade CPFL	> Roberto Schaeffer – COPPE/ UFRJ	> Gilberto Jannuzzi – UNICAMP	> Antonio Martins – Univ. Coimbra
Tendências Regulatórias	> Nivalde Castro - Gesel	> Romeu Rufino – Diretor Geral ANEEL		

Fonte: Elaboração Própria.

A dinâmica da pesquisa obedeceu a um processo gradativo, onde foram realizadas sucessivas rodadas para refinar os supostos adotados e incorporar os resultados das diversas contribuições. Neste processo, a partir da pesquisa básica sobre os temas em questão foram elaborados documentos de apoio, que foram construídos com base em pesquisas e entrevistas com alguns especialistas da empresa antes da realização dos workshops, após cada um dos encontros, esses documentos eram consolidados com informações adicionais trazidas pelos palestrantes e discutidos em reuniões de trabalho com diretores, gerentes e analistas da CPFL Energia, direta ou indiretamente ligados ao assunto. Posteriormente, foram elaborados relatórios, que também passaram por um processo de revisões críticas de especialistas no assunto.

Além disso, destaca-se que o envolvimento da sociedade civil permitiu que a pesquisa contemplasse em suas discussões e resultados a percepção pública. O principal meio de interação com a sociedade em geral foi o programa “Invenção do Contemporâneo”, no qual o coordenador do projeto, Nivalde de

Castro, debatia com especialistas as temáticas inerentes ao projeto. Estes programas foram transmitidos via internet e pela TV Cultura.

Esta dinâmica metodológica da construção dos cenários também foi utilizada para a identificação das proposições de políticas públicas, regulatórias e de estratégias empresariais, as quais possibilitem a efetiva transformação do setor elétrico brasileiro. Ou seja, além de construir-se o cenário base e o cenário “Energia na Cidade do Futuro”, toda metodologia aplicada teve o objetivo de delimitar as diretrizes necessárias para a concretização do Cenário “Energia na Cidade do Futuro”.

2 – O Cenário Base

Nos próximos 20 anos, a taxa de crescimento da população brasileira irá manter-se em patamares reduzidos em função da contínua queda da taxa de natalidade. Desta forma, a população brasileira no início da década de 2030 será de aproximadamente 220 milhões de habitantes (ONU, 2012), sendo crescente a participação residente no perímetro urbano. Soma-se a isso a redução da taxa de mortalidade e, por consequência, o aumento da expectativa de vida. Logo, o processo em curso de envelhecimento da população brasileira. Cabe destacar, que este envelhecimento fará com que o Brasil apresente o fenômeno do bônus demográfico na década de 2020, ou seja, tenha uma população economicamente ativa numericamente maior que a população dependente (jovens e idosos).²

Na esfera econômica, apesar do período atual de estagnação, prospecta-se que a economia brasileira voltará a crescer ao longo dos próximos 20 anos³. A dinâmica da economia brasileira estará diretamente associada ao crescente fortalecimento do mercado interno em um contexto onde, não apenas a renda per-capita estará crescendo, como a desigualdade de renda será reduzida. Contudo, a competitividade das *commodities* brasileiras também será relevante para o crescimento da economia. Não são projetadas mudanças significativas na estrutura da economia, com o setor de serviços continuando a ser preponderante. Além disso, o desenvolvimento da infraestrutura irá requerer um conjunto de obras que impactará positivamente a taxa de investimento e, por consequência, impulsionará o crescimento econômico.

² Os especialistas no assunto afirmam que o bônus demográfico brasileiro teve início por volta do ano 2000 e deverá perdurar até meados da década de 2030. Sua importância econômica advém da possibilidade de potencializar o crescimento da economia. Explica-se: dado que o trabalho é um dos principais fatores de produção de uma economia, o aumento da força de trabalho derivado do aumento da participação da população economicamente ativa na população total é um elemento indutor de crescimento econômico.

³ Conforme OCDE (2015), o crescimento cumulativo da economia brasileira entre os anos de 2015 e 2035 será de aproximadamente 70%.

Na década de 2030, muitas tecnologias, atualmente em estágio de desenvolvimento, estarão disponíveis. Dentre os avanços tecnológicos, a robotização de atividades cotidianas em conjunto com as tecnologias de informação e comunicação irão impactar a dinâmica das atividades sociais e econômicas. Por exemplo, no setor de transportes, haverá uma maior integração e adoção de procedimentos de controle e monitoramento do tráfego urbano com o intuito melhorar a mobilidade de pessoas e mercadorias. No entanto, a difusão destas tecnologias estará restrita aos grandes centros urbanos e/ou concentradas nos segmentos sociais com maior nível de renda.

No que se refere ao comportamento da sociedade, haverá uma maior interação entre os indivíduos e isso irá propiciar uma maior troca de informações e uma maior valorização do conhecimento em relação aos dias atuais.⁴ Entretanto, a sociedade civil brasileira continuará a ter uma atuação essencialmente passiva nas decisões do Estado e na definição de estratégias empresariais. Concomitantemente, é preciso destacar que, apesar dos consumidores atribuírem importância crescente à qualidade e à sustentabilidade dos bens e serviços, a variável custo permanecerá predominante.

Diante da magnitude do desafio de mitigar as mudanças climáticas e, considerando a predominância dos países em vias de desenvolvimento nas emissões correntes, os acordos climáticos devem contemplar metas de redução de emissões para os países em vias de desenvolvimento, sobretudo China, Índia e Brasil. Porém, o estabelecimento de um abrangente e relevante acordo de metas de redução das emissões já em 2015 na Convenção do Clima de Paris, provavelmente não será compatível com a busca de uma estabilização da concentração de gases do efeito estufa que limite o aquecimento global em 2°C.

⁴ Por exemplo, as redes sociais atuam de forma a disseminar de forma mais rápida as informações.

De todo modo, a questão da sustentabilidade estará na agenda brasileira, porém, não será uma diretriz política prioritária, sobretudo devido à dotação de recursos naturais brasileira, que torna relativamente fácil a manutenção de uma pegada de carbono baixa para os padrões internacionais. Logo, embora haja uma tendência ao uso mais eficiente dos recursos energéticos, em grande medida isso ocorrerá de forma tendencial e não induzida a partir de políticas e regulamentações específicas.

Em nível mundial, a descarbonização da economia estará associada a um uso mais intenso da energia elétrica e a uma menor pegada de carbono do setor elétrico. Assim uma série de demandas energéticas, anteriormente atendidas a partir a queima direta de combustíveis fósseis, passarão a ser atendidas por energia elétrica. E paralelamente, há uma expectativa de descarbonização da geração de energia elétrica. Como ilustração, além da substituição de acionamentos mecânicos por elétricos na esfera industrial, o período marcará a inserção de veículos elétricos na frota de veículos leves mundial. Neste sentido, a conjugação desta tendência com a constatação que a necessidade de atendimento de diversas demandas sociais exige um maior uso de eletricidade, permite compreender porque em nível mundial prospecta-se que o crescimento da demanda por energia entre 2012 e 2035 será de 31% enquanto que o crescimento da demanda mundial por energia elétrica será de 78% no mesmo período (IEA, 2014).

O Brasil não será uma exceção. Assume-se que o crescimento da demanda brasileira por energia será de 106% até 2040 e o crescimento da demanda por energia elétrica será de 150% no mesmo período. Todavia, o próprio consumo de energia elétrica se processará em bases mais eficientes em todos os setores consumidores (residencial, industrial, comercial, etc), sendo crescentes estes ganhos de eficiência: até o fim desta década, os ganhos serão da ordem de 5% enquanto que nas décadas de 2020 e de 2030 os ganhos de eficiência serão de, respectivamente, 9 e 12%. Em termos cumulativos, este uso mais eficiente da energia elétrica representará uma redução de 300 TWh na

demanda projetada para o final da década de 2030. Logo, a demanda por energia projetada será de 965 TWh em 2030 e de 1285 TWh em 2040. Observa-se assim que, embora as medidas de eficiência energética sejam de grande relevância, as mesmas não eliminam a necessidade de uma grande expansão do sistema elétrico brasileiro para atender uma carga que será de 114.414 MWmed em 2030 e de 154.195 MWmed em 2040 (EPE, 2014).

O atendimento desta carga irá exigir vultosos investimentos em novas centrais de geração de energia elétrica. Como ilustração da magnitude da expansão do parque gerador, prospecta-se a necessidade de uma adição média de 6.000 MW ao longo dos próximos 20 anos. Considerando a disponibilidade de recursos diversos, existem várias alternativas para esta expansão (IEA, 2013). Desta forma, a questão a ser equacionada é o perfil que a expansão do parque gerador deve ter com vistas a garantir a segurança do suprimento ao menor custo possível e, ao mesmo tempo, seja capaz de minimizar os impactos ambientais da geração de energia elétrica.

Apesar da mudança climática não consistir em uma questão prioritária para o sistema elétrico brasileiro, o planejamento do setor, assim como, as decisões empresariais não deverão desconsiderar a variável climática em suas análises. Por um lado, a maior instabilidade do clima e a maior frequência de eventos climáticos extremos fará com que os agentes do setor elétrico contemplem em suas ações o risco climático. Em contrapartida, a necessidade de mitigar as emissões de gases do efeito estufa poderá vir a impor políticas e regulamentações cada vez mais estritas para o setor energético. Dado que, além de medidas de eficiência energética, tal mitigação requer uma redução na participação das fontes fósseis na oferta de energia, a busca por uma economia de baixo carbono poderá impactar as decisões de investimentos no setor elétrico.

Ao contrário da realidade mundial, a geração de energia elétrica no Brasil é

historicamente baseada em fontes renováveis. Logo, reduções adicionais da intensidade de carbono da oferta de energia elétrica tendem a ser bastante custosa, pois o cenário de referência já apresenta um baixo nível de emissão. Por outro lado, existem potencialidades naturais para a expansão da geração a partir de fontes renováveis em base competitivas de custos. Concomitantemente, é preciso considerar que tradicionalmente o desmatamento e o uso da terra são os principais responsáveis pelas emissões brasileiras, as quais estão sendo reduzido de forma expressiva nos últimos anos⁵. Desta forma, é possível afirmar que a redução das emissões brasileiras não terá o setor energético, sobretudo o setor elétrico, como seu foco principal.

Portanto, sob a ótica do setor elétrico brasileiro, considera-se que as condicionantes e os desafios postos para os próximos 20 anos serão de natureza distintos daqueles verificados em nível mundial. Em outras palavras, a expansão do sistema elétrico brasileiro não terá as restrições impostas pela necessidade de mitigar as emissões de gases do efeito estufa como um *driver* principal⁶. Em suma, esta expansão será condicionada por questões operativas, custos e, mesmo no âmbito da sustentabilidade, os impactos ambientais locais tendem a assumir uma maior relevância que a emissão de gases do efeito estufa.

Apesar de perder participação na geração total de energia elétrica, a hidroeletricidade permanecerá sendo a principal fonte supridora de eletricidade no Brasil na década de 2030. Para isso, ao longo dos próximos anos será explorado a quase a totalidade do potencial hídrico remanescente que seja viável do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Esta assertiva tem como base o suposto que a construção de centrais hidroelétricas irá permanecer sendo uma diretriz prioritária da política energética brasileira.

⁵ Segundo MCTI *et al.* (2013), as emissões inerentes ao desmatamento foram reduzidas em 76% entre 2005 e 2010.

⁶ No caso brasileiro, as mudanças climáticas precisam ser consideradas muito mais como um elemento perturbador da oferta de energia e as medidas de adaptação que devem ser adotadas.

Conforme CASTRO *et al.* (2012), ressalta-se que a exploração do potencial hídrico não estará restrita a construção de grandes centrais hidroelétricas pois o pleno aproveitamento do potencial hídrico brasileiro também requer a construção de centrais de médio porte, assim como, de pequenas centrais hidroelétricas (PCH). No caso específico das PCH, o ritmo desta expansão vai ser mais lento porque, dada a menor escala dos empreendimentos, seus custos são maiores e em muitos casos os empreendimentos não são competitivos com outras fontes.

Porém, esta exploração do potencial hídrico não ocorrerá sem sobressaltos, pois a relação conflituosa com a esfera sócio-ambiental irá permanecer. Neste sentido, não apenas leilões de contratação de empreendimentos hídricos tendem a ser postergados perante a dificuldade de obtenção de licenciamento, como a própria construção das centrais hidroelétricas deverá sofrer atrasos em seus cronogramas, sobretudo empreendimentos de maior porte como é o caso das usinas da Bacia do São Luis do Tapajós que enfrentarão dificuldades semelhantes às verificadas nas usinas do Rio Madeira e de Belo Monte no Rio Xingu⁷.

Dado que a expansão do parque gerador ocorrerá sem a concomitantemente expansão da capacidade dos reservatórios, pois as novas usinas serão construídas preponderantemente a fio d'água, haverá uma importante mudança no padrão operativo do sistema elétrico em função da redução da capacidade de regularização da oferta de energia hídrica ao longo do ano⁸. Em anos de hidrologia típica, o sistema tenderá a ter abundância de oferta hídrica no período úmido, com algumas usinas vertendo água. Em contrapartida, no período seco do ano haverá pouca energia, devido à limitada capacidade de estocar água. Além disso, as aflúências da Região Norte, onde se situam os

⁷ Estes atrasos impactam negativamente a viabilidade econômica dos projetos. Desta forma, é plausível supor que os investidores precificarão este risco e, por consequência, exista uma tendência de aumento do preço de comercialização da hidroeletricidade.

⁸ De acordo com EPE e MME (2012a) no período compreendido entre 2012 e 2021 o parque hidroelétrico terá uma expansão de 40%, enquanto a capacidade de armazenamento dos reservatórios crescerá apenas 5%.

principais novos aproveitamentos hídricos, apresentam uma sazonalidade mais acentuada. Há, assim, uma necessidade de diversificação da matriz elétrica brasileiro através da complementação da geração hídrica, sobretudo no período seco do ano.

A intrínseca complementariedade entre os ventos e o regime das aflúências, especialmente nas regiões de maior potencial de geração eólica⁹, conjugada com a grande competitividade que esta fonte detém no Brasil, fará com que o ciclo de investimentos no setor seja mantido ao longo dos próximos 20 anos e, por consequência, que na década de 2030 a energia eólica tenha consolidada sua posição de destaque no parque gerador brasileiro.

No período prospectado, não existirão avanços tecnológicos significativos no desenvolvimento de turbinas eólicas. Já a estratégia de submotorizar os parques com vistas a trabalhar com maiores fatores de capacidade e, por consequência, obter maior competitividade será mantida.

Por sua vez, a bioeletricidade produzida a partir da biomassa canavieira, não somente é complementar à produção hidroelétrica, como também é uma fonte de geração distribuída¹⁰. Dado que a estagnação do setor sucroenergético na primeira metade da década de 2010 é resultante da crise que assolou o setor, na medida que a crise seja superada e um novo ciclo de investimentos tenha início na segunda metade desta década, a produção de bioeletricidade deve voltar a crescer.

É importante destacar que o paradigma tecnológico vigente continuará baseado em plantas Ciclo Rankine. A tecnologia de gaseificação de biomassa para produção de eletricidade (BIG/GTCC) ainda estará restrita a projetos piloto e de demonstração na década de 2030, sendo os primeiros projetos em

⁹ Na Região Nordeste, sobretudo na costa dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte e no interior da Bahia, e no Norte de Minas Gerais os melhores ventos ocorrem entre junho e novembro, isto é, na época de baixas aflúências tanto no Nordeste como no Norte, no Sudeste e no Centro Oeste.

¹⁰ A produção de cana de açúcar está concentrada na Região Sudeste entre os meses de abril/maio e novembro. Esta região possui a maior parte dos reservatórios brasileiros e seu período seco é coincidente com a safra canavieira e consiste no centro de carga do sistema elétrico brasileiro. Nota-se assim a complementariedade da produção de bioeletricidade em relação ao regime fluvial e o caráter de geração distribuída da bioeletricidade.

escala comercial implementados apenas ao fim da década¹¹. No âmbito da disponibilidade de biomassa, embora a expansão do cultivo de cana de açúcar para produção de etanol convencional e de açúcar aumentará a oferta de bagaço, deve ser ressaltado que uma parte deste bagaço será destinada a produção de biocombustíveis lignocelulósicos e produtos químicos. Em contrapartida, existirá uma crescente utilização da palha como insumo para geração de energia elétrica.

Em termos de geração solar, haverá o início de um ciclo de investimentos em energia solar fotovoltaica. Em linhas gerais, tais investimentos estarão associados à expansão da microgeração, devido ao expressivo decréscimo do custo desta tecnologia ao longo dos próximos 20 anos (EPE, 2014). No entanto, dado que atualmente a capacidade de geração fotovoltaica é quase nula, a participação desta fonte ainda será pequena na década de 2030. As estimativas indicam uma participação em torno de 1% do total da energia produzida¹². Por sua vez, devido ao seu custo, a tecnologia de concentradores solar para geração de eletricidade terá participação marginal na matriz elétrica brasileira (IEA, 2013).

Contudo, esta expansão baseada em usinas fio d'água conjugada com fontes intermitentes, resultará na necessidade de contratação de centrais de geração controláveis com vistas a garantir a segurança do suprimento, sobretudo da ponta do sistema. Por um lado, a mudança de paradigma operativo do parque hídrico irá requerer plantas aptas a operarem na base do sistema durante todo o período seco para que exista equilíbrio entre oferta e demanda ao longo do ano. Ao mesmo tempo, o aumento da participação de fontes não controláveis na matriz elétricas fará com que a garantia do atendimento da ponta do sistema exija a disponibilidade de geração de reserva controlável.

¹¹ A gaseificação da biomassa permite ganhos de produtividade de 70% em relação à queima da biomassa em plantas Ciclo Rankine.

¹² Na busca de soluções que minimizem o risco de déficit de energia no contexto da crise iniciada em 2013, existem sinalizações por parte do Governo que investimentos em energia solar fotovoltaica podem exercer uma importante função estratégica. Caso esta possibilidade se confirme, a penetração da energia solar fotovoltaica na matriz assumirá valores mais expressivos.

Esta necessidade se acentua diante à constatação de que as tecnologias de armazenamento de energia não estarão disseminadas no horizonte de análise devido a dificuldades técnicas e elevados custos. Considerando que fontes renováveis capazes de suprir energia de forma regular e/ou controláveis, especialmente o uso de biomassa florestal e plantas CSP híbridas, permanecerão restritas a projetos pontuais, será preciso uma substancial expansão do parque termoelétrico.

Esta expansão do parque térmico ocorrerá essencialmente a partir da construção de centrais movidas a gás natural, sendo priorizadas plantas ciclo combinado construídas para operar na base e plantas ciclo aberto para operação na ponta do sistema. Muitas destas térmicas serão construídas na região costeira, pois serão abastecidas por gás natural liquefeito (GNL). Concomitantemente, centrais serão construídas próximas a poços *onshore* que não possuam rede de escoamento do gás em suas proximidades.

Embora também sejam fontes adequadas a geração de base, a expansão da capacidade instalada das centrais a carvão e nucleares será menor. No caso das térmicas a carvão, a expansão estará restrita à Região Sul e as restrições ambientais conjugadas com a má qualidade do carvão brasileiro serão decisivas para a limitação desta expansão. Por sua vez, no âmbito da geração nuclear, além da construção da usina de Angra III prospecta-se para a década de 2030 que apenas mais uma central estará em operação devido ao longo prazo requerido entre a decisão de se construir uma central nuclear e a sua efetiva entrada em operação. Nota-se que, assim como no caso de centrais a gás natural, o aumento da geração será maior que o aumento da capacidade instalada em função do uso mais frequente das centrais térmicas. Em contrapartida, apesar de investimentos em novas usinas para garantir o balanço de ponta, haverá um decréscimo da geração a óleo com as mesmas tendo um papel estrito de *backup* do sistema.

Em síntese, o atendimento da demanda continuará sendo realizado primordialmente a partir dos recursos hídricos. Porém, a geração de energia eólica e de bioeletricidade assumirão grande relevância, sobretudo no período

seco do ano. Centrais térmicas nucleares e movidas a carvão serão despachadas na base enquanto que centrais a gás serão despachadas, tanto na base, como, em algumas situações, na ponta, fazendo a modulação da carga. Por sua vez, centrais a óleo, enquanto reserva de energia, e a geração solar terão participação marginal na geração de energia elétrica.

Acho que cabe aqui uma tabela estilo a tabela montada abaixo pelo Lucas Salgado – RB. Pode pedir para o Paulo montar:

O crescimento das fontes térmicas na matriz irá desacelerar e dependerá da expansão das renováveis e da aprovação de políticas ambientais

Visão geral do cenário base das térmicas

	Status atual	Desafios ¹⁾	Habilitadores ¹⁾	Cenário 2030 ²⁾	Tendência
 Visão geral	> Participação na capacidade instalada elétrica é de 17%	> Pressões a favor de fontes menos poluentes	> Alternativa às fontes renováveis intermitentes > Maturação das tecnologias > Menor crescimento dos reservatórios	> CAGR entre 3,0 a 6,3% - crescimento depende de reservatórios e políticas de emissão de CO ₂	➡
 Gás	> Crescimento impulsionado para complementar a geração hidrelétrica	> Fortes barreiras de entrada > Players com atuação verticalizada	> Vantagem de preço em relação ao óleo combustível > Grandes reservas de gás não convencional	> CAGR entre 3,8 a 8,1% - maior participação na matriz futura	➡
 Óleo Combustível	> Baixa participação na geração elétrica, mas grande peso na demanda primária	> Volatilidade de preços > Endereçamento de políticas a favor de fontes de baixa emissão	> Possibilidade de maior oferta de óleos combustíveis devido à descoberta do pré-sal	> CAGR entre 0,0 a 1,45% - estabilização do crescimento após 2020	➡
 Carvão	> Baixa participação na capacidade instalada elétrica	> Endereçamento de políticas a favor de fontes de baixa emissão	> Disponibilidade de reservas > Desenvolvimento de tecnologias menos poluentes	> CAGR entre 2,0 a 4,7% - evolução atrelada às políticas sobre emissão de carbono	➡
 Nuclear	> Baixo crescimento nos últimos anos devido ao incidente em Fukushima	> Aceitação pública devido a impactos ambientais > Custos de financiamento	> Pressões pela redução dos níveis de emissão GEE > Opção à intermitência das fontes renováveis	> CAGR entre 3,5 a 5,6% - aumento da participação, apesar de incertezas	➡

1) Não exaustivo 2) Capacidade elétrica instalada, Limite mínimo - WEO Current Policies Scenario; Limite máximo WEO 450 Scenario
Fonte: CPFL, IEA 2012, EPE 2012, Roland Berger Strategy Consultants

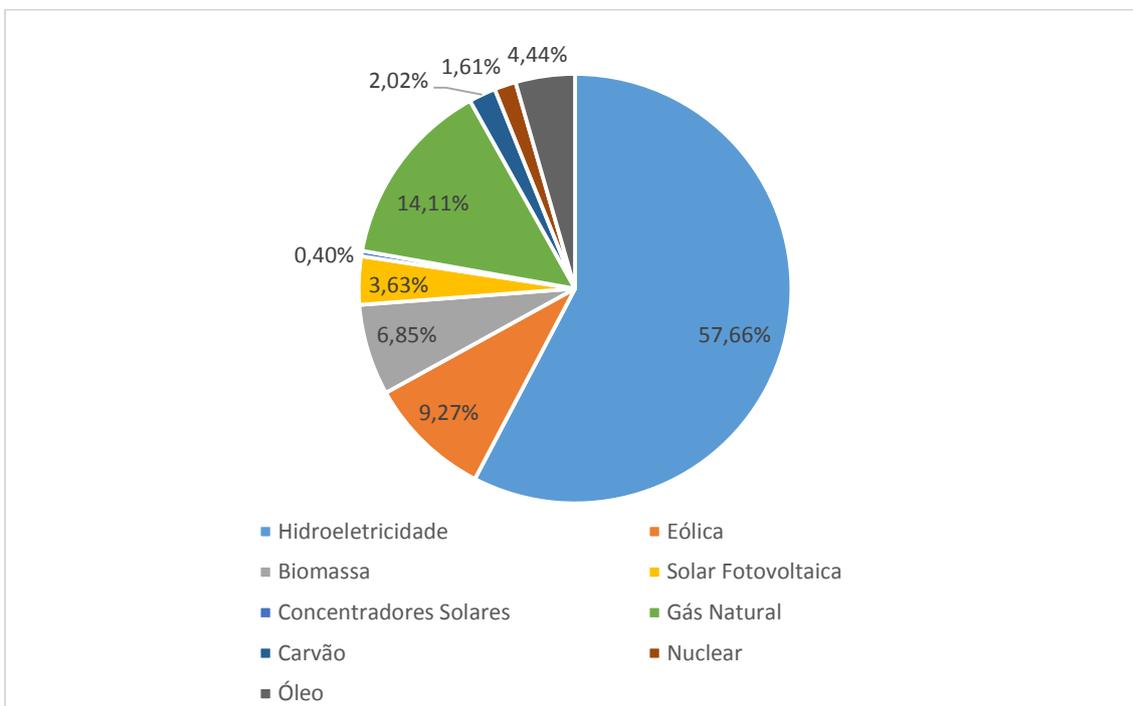
SAO-0180-05977 035 01.40-23 v3.pptx | 10

Esta matriz prospectada é compatível com o parque estimado por IEA (2014a)¹³. Em seu cenário de referência, este estudo projeta para 2035 que o parque gerador brasileiro terá uma capacidade instalada de 253 GW enquanto

¹³ A estimativa da demanda por energia de IEA (2014) é entre 15 e 20% inferior a demanda estimada por EPE (2014a) para a década de 2030.

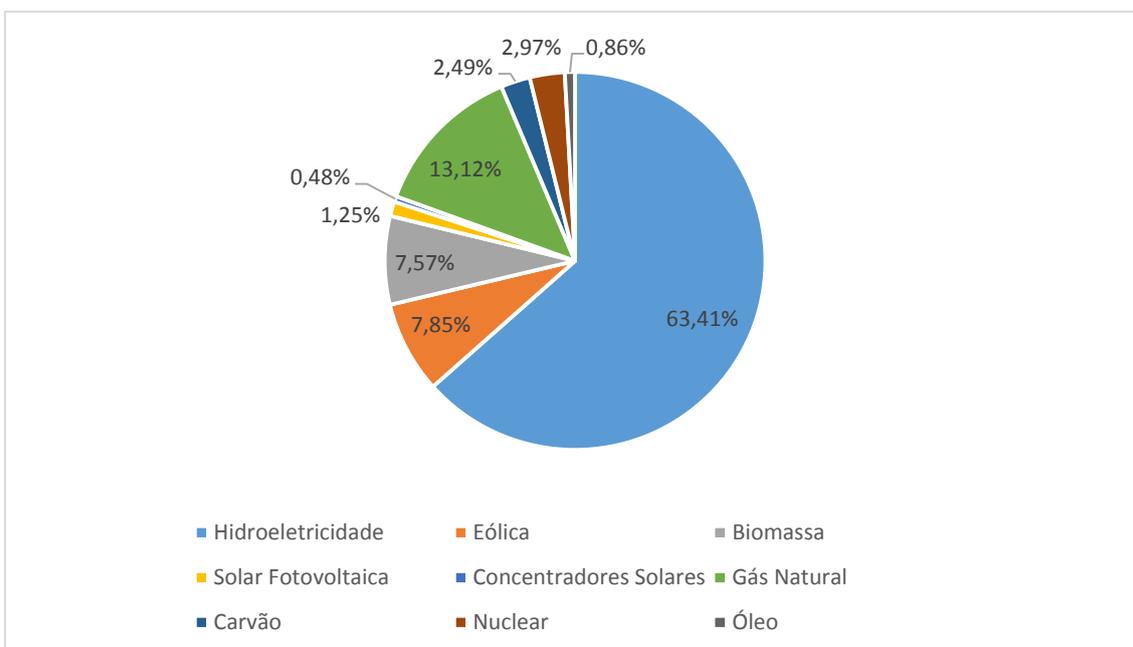
que a geração total será de 1052 TWh. Os gráficos 1 e 2 a seguir apresentação a participação das diferentes fontes na composição da matriz elétrica brasileira.

Gráfico 1 – Parque Gerador Brasileiro em 2035



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de IEA (2014a).

Gráfico 2 – Oferta Brasileira de Energia Elétrica em 2035



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de IEA (2014a).

Em termos da caracterização espacial do sistema, existirão poucas mudanças em relação ao padrão atual. A autoprodução clássica em unidades industriais¹⁴, na maior parte dos casos realizada através de plantas de cogeração, permanecerá representando algo em torno de 10% do consumo total de eletricidade. Por sua vez, a penetração relativamente modesta da geração solar fotovoltaica nas unidades consumidoras fará com que a microgeração detenha participação marginal no atendimento da carga. Portanto, embora a maior participação de centrais eólicas e de biomassa induzam a uma descentralização da geração, o sistema continuará a ser baseado na lógica da geração centralizada associada a uma robusta rede de transmissão.

De todo modo, apesar da disseminação da microgeração ser modesta, a mesma resultará na inserção fluxos bidirecionais de energia na rede. Neste sentido, dotar a rede e os medidores de inteligência será imperativo. Além disso, estas redes, na medida em que apresentam um maior nível de automação, permitem a regeneração da rede em tempos menores através de sistemas corte-religa automatizados e, por consequência, permitem uma melhoria da qualidade do serviço prestado aos clientes. O Quadro 2 sintetiza as mudanças ocasionadas pelas redes inteligentes em comparação com as redes tradicionais.

Quadro 2 – Redes Convencionais x Redes Inteligentes

¹⁴ Às indústrias de papel e celulose, siderúrgica, petroquímica, sucroenergética consistem em importantes exemplos de setores que utilizam autoprodução.

Tópico	 Redes tradicionais	 Redes inteligentes
Comunicação	Unidirecional e com <i>delay</i>	Bidirecional e em tempo real
Interação com consumidor	Limitada, não personalizada	Específica por necessidade Possibilidade de modular consumo
Medição	Eletromecânica	Digital
Operação	Checagem e manutenção manual de equipamento	Monitoramento remoto, preditivo, manutenção periódica
Geração	Centralizada	Centralizada e distribuída
Controle de fluxo	Limitado	Automatizado
Confiabilidade	Falhas podem causar interrupções em cascata Essencialmente reativa	Proteção automatizada e proativa Previne interrupções
Topologia do sistema	Radial Geralmente unidirecional	Rede Vias múltiplas de fluxo

Fonte: Elaboração Própria.

Em linhas com o verificado em outros países, a redução de medições presenciais e a melhoria da qualidade do serviço serão motivações para investimentos em redes inteligentes. No entanto, a redução das perdas técnicas e, principalmente, das perdas não técnicas de energia consistirá no principal motivo para investimentos em redes inteligentes em função do seu impacto financeiro.

A implementação de redes inteligentes ocorrerá de forma gradual, ou seja, será uma dinâmica evolucionária e não revolucionária. O que irá diferenciar os países será o ritmo desta evolução. No caso brasileiro, na década de 2030 as redes inteligentes estarão em um estágio intermediário de desenvolvimento. Por um lado, quase a totalidade da rede será monitorada de forma online e estará automatizada. Ao mesmo tempo, haverá disseminação de medidores digitais com telemedição, sendo esta medição fundamental para redução das perdas não técnicas. Porém, a presença de medidores efetivamente inteligentes no Grupo B, ou seja, medidores que permitam tarifas dinâmicas ainda será relativamente limitada. Logo, práticas de *demand response* só estarão disponíveis para um número restrito de consumidores detentores de medidores desse tipo.

No âmbito da mobilidade elétrica, os veículos elétricos estarão presentes na frota brasileira. Entretanto, dado que a frota brasileira de veículos leves é composta essencialmente por veículos *flex fuel*, a inserção destes veículos na frota ocorrerá em um ritmo lento e os veículos elétricos *plug in* serão predominantes em comparação com os veículos elétricos a bateria. Desta forma, os PHEV e os VE representarão, respectivamente, 4% e 0,5% da frota de 56 milhões veículos¹⁵ projetada para o início da década de 2030. Com base neste estoque de 2,25 milhões de PHEV e de 280 mil VE, estima-se que os veículos elétricos consumirão por ano 6,85 TWh¹⁶. Ao se comparar esta demanda com a demanda total de energia elétrica estimada para a década de 2030, nota-se que a comercialização de energia elétrica para abastecimento dos veículos elétricos não consistirá em um *business* relevante.

Em termos da infraestrutura de recarga necessária para o desenvolvimento da mobilidade elétrica, será necessária a instalação de 2,15 milhões de pontos de recarga. Deste montante, 1,92 milhões serão pontos residenciais em linha com o suposto que mais de 80% das recargas ocorrerão nas próprias residências. No que se refere aos postos públicos, serão instalados 200 mil postos de recarga lenta e 30 mil postos de recarga rápida, sendo a instalação de postos de recarga rápido justificada pela necessidade da infraestrutura de recarga ser plural com vistas a atender aos diferentes tipos de demanda dos usuários, dentre os quais, se destaca deslocamentos de grandes distâncias que exigem a recarga rápida dos veículos.

A mudança do paradigma operativo do sistema elétrico brasileiro terá impactos na esfera comercial. Em realidade, tais impactos já se manifestaram de forma bastante contundente nos anos de 2013 e de 2014. Desta forma, ajustes no

¹⁵ Valor estimado a partir da frota de 31,4 milhões em 2013 (ANFAVEA, 2014) e a perspectiva que mesma cresça a uma taxa anual média de 3,5% (EPE, 2014).

¹⁶ Todos os dados relativos à mobilidade elétrica deste relatório foram compilados do Relatório Técnico de Mobilidade Elétrica do presente projeto de pesquisa. Logo, o leitor interessado em maiores detalhes da metodologia utilizada deve consultar o referido relatório.

arcabouço comercial serão requeridas. Mais do que isso, ao se considerar a emergência de novas tecnologias conjugadas com a mudança no comportamento dos consumidores e a necessidade de prover o sistema elétrico de maior sustentabilidade, nota-se que um novo ambiente de negócio será constituído.

No âmbito estritamente comercial, haverá uma tendência de realizações de leilões por fontes e, em alguns casos leilões regionais, em detrimento a certames genéricos de contratação. A justificativa desta tendência é a necessidade de contratação de projetos compatíveis com o novo padrão operativo do sistema. Dado que leilões genéricos não apresentam a garantia que o parque gerador irá se expandir de forma adequada, a realização de leilões específicas será verificada.

Em termos de liberalização de mercados, existirão avanços com a ampliação dos limites de migração para o ambiente de contratação livre, mas o setor elétrico brasileiro continuará com um nível de liberalização ainda aquém daquele verificado nos países que mais avançaram nesta questão.

No mercado atacadista de energia, as características do sistema brasileiro baseado em fontes renováveis permanecerão como um fator impeditivo do estabelecimento de um mercado a vista de energia que funcione de forma eficiente. Desta forma, bolsas de energia no Brasil continuarão a consistir em meras plataformas de comercialização de energia, pois a presença de contratos de longo prazo permanecerá essencial no arcabouço comercial brasileiro. Em contrapartida, ao nível varejista, a figura do comercializador varejista ficará restrita a nichos específicos e, em linhas gerais, não haverá grandes avanços em termos de liberalização dos mercados.

Em síntese, o mercado regulado permanecerá como o principal responsável pela expansão da oferta brasileira de energia. Não obstante a manutenção dos sistemas de contratação de energia através de leilões reversos, os certames

irão permanecer competitivos, especialmente considerando-se a tendência de pulverização do mercado, sobretudo em leilões de fontes renováveis de energia onde os projetos costumam apresentar uma menor escala mínima eficiente, e da participação crescente de *players* estrangeiros no mercado brasileiro. Por sua vez, O principal nicho de expansão do mercado livre brasileiro estará atrelado à exploração do nicho de consumidores livres especiais, considerando que a o desconto da tarifa fio para energia proveniente de fontes renováveis de energia será mantido.

Em uma visão mais ampla das perspectivas do setor elétrico, o exame dos contornos do novo ambiente de negócios é de grande importância. Neste sentido, é preciso ressaltar que haverá a criação de novos agentes e a entrada de novos *players* na indústria, a qual tenderá a se tornar mais pulverizada em alguns segmentos.

Os grandes propulsores destas modificações serão a geração distribuída, especialmente a microgeração, a partir de fontes renováveis de energia e a promoção de medidas de gerenciamento da demanda. Por um lado, a geração de energia de forma descentralizada disponibiliza para os consumidores a possibilidade de também serem produtores de energia e de exportarem para a rede, ou seja, os consumidores tornam-se *prosumers*¹⁷. No caso do gerenciamento da demanda, irá emergir a figura do *demand side management*.

Observa-se assim que haverá espaço para a provisão de uma diversidade de serviços, os quais vão desde a instalação e manutenção dos equipamentos de microgeração até a prestação de consultoria sobre medidas de eficiência energética a serem adotadas e a própria execução destas próprias medidas.

¹⁷ Na medida em que a geração distribuída seja disseminada, deverá surgir a figura do *Virtual Power Plant*. A atribuição deste agente é a a integração de pequenas fontes de geração intermitente. 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 oriunda propriamente de uma usina de geração.

O mercado de prestação de serviços é por natureza competitivo. Portanto, as *utilities* do setor elétrico precisarão elaborar estratégias distintas daquelas utilizadas tradicionalmente no setor elétrico. Em realidade, a principal questão a ser respondida pelas empresas refere-se à redefinição do seu *core business*, ou seja, se a empresa deseja permanecer como uma provedora de energia, se pretende também passar a atuar na prestação de serviços de energia ou se pretende atuar em outras indústrias de rede. Em linhas gerais, vislumbra-se que as empresas optarão por permanecer como empresas de energia, prestando eventualmente serviços estritamente no âmbito do setor elétrico.

Por fim, é importante destacar que o setor elétrico brasileiro permanecerá com um nível de regulação bastante elevado. Neste sentido, o suposto é que os medidores inteligentes e os pontos de recarga dos veículos elétricos serão considerados extensão da infraestrutura da distribuidora, logo pertencentes à base de ativos regulados. Já o *big data* irá pertencer às concessionárias, mas parte das receitas oriundas do mesmo precisarão ser revertidas em prol da modicidade tarifária.

Em síntese, apesar deste cenário base não ser exatamente tendencial, o mesmo não caracteriza-se por uma grande transformação do setor elétrico brasileiro. No âmbito da matriz elétrica, a diversificação requerida em função da redução da capacidade de regularização da oferta hidroelétrica ocorrerá em bases essencialmente convencionais. Por sua vez, a disseminação de redes inteligentes será gradual motivada pela necessidade de reduzir as perdas do sistema enquanto os veículos elétricos terão participação marginal na frota de veículos leves. Concomitantemente, as tendências comerciais e as diretrizes regulatórias não sofrerão grandes alterações, assim como, não são prospectadas grandes mudanças nos posicionamentos empresariais. Portanto, acabam por inexistir diretrizes que possibilitem o desenvolvimento e, conseqüente disseminação, de novas tecnologias.

3 – “Energia na Cidade do Futuro”

Um processo de difusão da sociedade do conhecimento mais intenso do que o adotado no cenário base, resulta em uma mudança no comportamento da sociedade mais contundente. Em linhas gerais, a qualidade e a sustentabilidade dos bens e serviços ofertados passarão a ser variáveis centrais nas decisões dos consumidores, sendo que para alguns nichos de mercado tais variáveis irão se sobrepor até mesmo à questão do custo do objeto demandado.

O corolário desta atuação mais ativa da sociedade civil será o Estado definindo prioridades de forma aderente aos anseios sociais e, ao mesmo tempo, as empresas traçando estratégias empresariais compatíveis com os desejos dos consumidores mais participativos e engajados. Logo, o processo de desenvolvimento e disseminação de tecnologias compatíveis com a promoção da sustentabilidade será mais acelerado.

Prospecta-se que no cenário “Energia na Cidade do Futuro” o nível de automação do setor industrial brasileiro será compatível com o verificado nos países desenvolvidos e a robotização das atividades cotidianas apresentará um amplo processo de difusão ao longo da década de 2020. Estas tendências tecnológicas conjugadas a avanços nas tecnologias de informação e comunicação e, sobretudo, à universalização do acesso às mesmas, modificarão a dinâmica das atividades sócio econômicas.

No escopo do setor elétrico brasileiro, vislumbra-se que questões como a frequência e a duração das falhas de suprimento de energia elétrica¹⁸, a

¹⁸ Enquanto na década de 1990 os indicadores de duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC) e de frequência de interrupção por unidade consumidora (FEC) eram

disponibilidade da rede de abastecimento, o desempenho dos veículos e os impactos ambientais do suprimento elétrico irão se tornar em muitos casos tão importantes na escolha dos consumidores quanto o próprio custo do suprimento.

Em linhas com o prospectado para os países desenvolvidos, a promoção da sustentabilidade terá importância crescente no Brasil. Mais especificamente, haverá uma pressão da sociedade por políticas e ações mitigadoras das alterações climáticas derivada do comportamento anômalo do clima e de eventos climáticos extremos que irão impactar as atividades socioeconômicas. Observa-se assim que serão tomadas medidas efetivas com vistas a limitar o aquecimento global em 2º C. Logo, haverá maior ênfase no uso eficiente dos recursos energéticos, como no estímulo a uma maior participação de fontes não emissoras na de carbono na oferta de energia.

Os ganhos adicionais de eficiência energética em relação ao cenário base ocorrerão essencialmente no consumo final de energia. Por um lado, deve ser destacado que isso induzirá a uma tendência ainda maior de eletrificação do setor energético. Ao mesmo tempo, é preciso enfatizar que considerável parte destes ganhos serão derivados de mudanças comportamentais/culturais por parte dos consumidores.

Embora a participação da eletricidade no suprimento energético aumente, é preciso ressaltar que as medidas de eficiência energética farão com que a demanda por energia elétrica seja menor do que no cenário de referência. Desta forma, o suposto é que a carga de energia elétrica no Brasil ao longo da década de 2030 será entre 10 a 15 % inferior a carga do cenário base¹⁹.

respectivamente 26,09 e 20,13, em 2010 eles já tinham avançado para 18,36 e 11,30 sendo a expectativa para 2030 a redução para 4,09 e 5,45, respectivamente (ABRADEE, 2013).

¹⁹ Optou-se aqui por trabalhar com valores mais conservadores que aqueles adotados em outros estudos. Por exemplo, IEA (2014a), estima uma redução de 17% da produção de energia elétrica estimado no seu cenário 450 ppm em relação ao seu cenário base.

Apesar deste ligeiro decréscimo na demanda por energia, a expansão da oferta não será mais simples, pois precisará atender novas condicionantes, especialmente no que se refere à sustentabilidade do suprimento energético.

Em contraste com o cenário base, a questão da trajetória das emissões de gases do efeito estufa será uma variável a ser considerada nas decisões inerentes à construção de novas unidades de geração de energia elétrica, dado que os esforços mitigadores brasileiros não estarão restritos à mudança e uso da terra.

A priori esta necessidade induz a crença que a exploração do potencial hídrico remanescente será uma diretriz ainda mais prioritária da política energética brasileira. Porém, considerando que a preocupação com sustentabilidade não se resume às mudanças climáticas, o suposto é que existirão grandes dificuldades para a construção de novas centrais hidroelétricas em função dos seus impactos sócio-ambientais. Desta forma, o aproveitamento de potenciais hídricos em regiões onde a construção de centrais de geração resultará em relevantes danos para o ecossistema local, sobretudo no caso de projetos próximos a reservas florestais, tenderá a não ser realizado. Como consequência, se assume que a geração hídrica será menor que a prevista no cenário base, ressaltando a importância da diversificação da matriz.

Desta forma, não chega a ser surpresa os investimentos em parques eólicos serem maiores neste cenário. Não obstante, o caráter estratégico que a energia eólica assumirá no setor elétrico brasileiro fará com que sejam desenvolvidas turbinas eólicas adaptadas às especificidades dos ventos brasileiros. Ainda no âmbito do desenvolvimento tecnológico, destaca-se que as turbinas eólicas terão pesos menores e a tecnologia de ímã permanente será predominante.

Concomitantemente, a partir da década de 2020 será bastante comum a construção de parques de geração híbridos onde coexistam turbinas eólicas e painéis fotovoltaicos, sobretudo na Região Nordeste, devido à complementariedade entre estes recursos. Desta forma, é possível obter maiores fatores de capacidade e, por consequência, ofertar energia a preços menores em função da diluição de custos fixos, especialmente os referentes à conexão e uso da rede.

Em conjunto com a energia eólica, a bioeletricidade gerada nas usinas sucroenergéticas também terá relevante participação na matriz elétrica, a qual será consideravelmente maior que a prospectada no cenário base, e será essencial para a garantia do suprimento, sobretudo no período seco do ano.

O suposto é que haverá uma grande disponibilidade de biomassa a ser utilizada como insumo em função do aumento da produção de etanol, considerando a importância do uso em larga escala de biocombustíveis para a promoção da sustentabilidade no setor de transportes e que o etanol produzido a partir da cana de açúcar no Brasil ser um dos poucos biocombustíveis convencionais que efetivamente mitigam a emissão de gases do efeito estufa, e do fato que o uso de 50% da palha será prática corrente a partir da década de 2020. Desta forma, embora um razoável montante desta biomassa seja destinado à produção de biocombustíveis lignocelulósicos e plataformas químicas de alto valor agregado, ainda assim existirá biomassa a ser utilizada como insumo para a produção de eletricidade.

Não obstante, a disseminação comercial de plantas IGCC na primeira metade da década de 2020 induzirá a avanços e superação de obstáculos na tecnologia BIG/GTCC. Neste sentido, já no início da década de 2030 o paradigma tecnológico vigente nas novas plantas será a gaseificação da biomassa para posterior utilização em plantas ciclo combinado. Tal tecnologia permitiria um ganho de produtividade de 70% em relação às plantas convencionais Ciclo Rankine. Considerando o uso da palha como insumo energético, isso significa a produção de aproximadamente 269 kWh

comercializáveis por tonelada de cana em contraste com a produção atual de 80 kWh por tonelada de cana²⁰.

Além de sua importância para a lógica operativa do sistema elétrico brasileiro, a bioeletricidade sucroenergética pode assumir importante papel na mitigação das mudanças climáticas, importância essa que transcende o fato de ser uma fonte renovável de energia. Explica-se: mesmo que ao longo deste século consiga se estabilizar a concentração de gases do efeito estufa em um montante que limite o aquecimento global em 2º. C, é muito provável que antes esta concentração seja ultrapassada. Logo, será necessário o sequestro de gases do efeito estufa da atmosfera. Dado que a bioenergia já apresenta, grosso modo, emissões neutras de gases do efeito estufa quando considerado todo seu ciclo de vida, a adoção de sistemas CCS resultaria em emissões negativas. Esta tecnologia é denominada BIO-CCS. Considerando as potencialidades do setor sucroenergético brasileiro para produção de etanol e eletricidade, é razoável supor que na década de 2030 algumas plantas sucroenergéticas brasileiras possuam esta tecnologia.

Além da utilização da biomassa canavieira, existirão relevantes investimentos no aproveitamento de biomassa florestal, sobretudo eucalipto, como insumo para geração de eletricidade. O uso da biomassa florestal ocorrerá, não somente em centrais específicas, mas também em plantas sucroenergéticas com vistas a possibilitar a operação destas usinas ao longo de todo ano e em práticas de *co-firing* em centrais térmicas a carvão.

Por sua vez, mesmo não vindo a deter grande participação na oferta brasileira de energia elétrica, é possível destacar a importância da bioenergia produzida a partir dos resíduos sólidos urbanos. Esta relevância advém da constatação que a busca pela sustentabilidade não está restrita ao setor energético. Neste sentido, o manejo dos resíduos sólidos urbanos de forma adequada com vistas a minimizar seus impactos ambientais e o reaproveitamento dos mesmos será

²⁰ Esta produtividade atual considera apenas o uso do bagaço como insumo. O uso de 50% da palha permitiria uma produtividade da ordem de 155 kWh por tonelada de cana processada nas plantas Ciclo Rankine.

imperativo na cidade do futuro. O suposto aqui adotado é que todas as cidades brasileiras com mais de 30 mil habitantes terão aterros sanitários com instalações para geração de energia. Tais instalações irão variar desde a mera incineração do lixo com vistas a produção de energia elétrica até a digestão anaeróbica para a produção de biogás, o qual em grande medida também será usado para produção de energia elétrica.

A geração solar fotovoltaica também apresentará uma expansão bastante superior à estimada no cenário base. Este resultado será função dos avanços tecnológicos ao longo dos próximos anos, dentre as quais, o aumento da eficiência das células fotovoltaicas de silício cristalino para algo em torno de 24% e especialmente a tecnologia de filme fino atingir eficiências superiores a 10%, vide a importância da mesma para aplicações de pequena escala²¹.

Apesar da construção de centrais de grande porte, sobretudo os já mencionados parques conjugados com turbinas eólicas, o principal nicho de expansão da energia solar fotovoltaica será a microgeração. Dado que os ganhos de eficiência contribuirão para que o custo de sistemas fotovoltaicos na modalidade de microgeração sofram um decréscimo de aproximadamente 50% ao longo dos próximos 20 anos, neste período os sistemas fotovoltaicos atingirão a paridade econômica na maior parte dos seus mercados potenciais. Desta forma, o suposto é que estes sistemas representem algo em torno de 2,5% da carga do Sistema Interligado Nacional no início da década de 2030 e quase 8% no fim da década de 2030²².

Em paralelo, é preciso destacar que a tecnologia de concentradores solares para geração de energia elétrica estará presente na matriz elétrica brasileira, sendo esta inserção derivada dos ganhos de eficiência que possibilitarão a redução dos custos de investimento. Neste contexto, a disseminação em escala comercial das torres centrais a partir da década de 2020 assume grande relevância, vide que opera com maiores temperaturas que os cilindros

²¹ Na década de 2030, as tecnologias de células orgânicas e fotovoltaica concentrada, assim como, módulos multijunções ainda estarão na fase de projetos de demonstração.

²² Todas as estimativas deste parágrafo possuem EPE (2014) como base.

parabólicos e, mais que isso, a possibilidade da geração direta permitirá com temperaturas ainda maiores e, desta forma, com maiores níveis de eficiência.

De todo modo, a grande importância de investimentos em plantas de concentradores solares advém do fato que tais plantas permitem estocar energia sob a forma de calor. Logo, plantas com capacidade de armazenamento são controláveis e, por consequência, condizentes com a crescente necessidade do sistema elétrico brasileiro de aumentar a oferta de centrais com estas características em função da expansão hidroelétrica ser baseada em usinas fio d'água e da intermitência intrínseca à energia eólica e à energia solar fotovoltaica.

Uma alternativa a instalação de sistemas de armazenamento consiste na construção de plantas híbridas, utilizando também algum combustível (carvão, biomassa). No limite, é possível a construção de plantas onde coexista a armazenagem de calor com a utilização de outros combustíveis e com isso se maximize os fatores de capacidade. Em suma, na década de 2030 existirão plantas de concentradores solares, especialmente no interior da Bahia e no interior de São Paulo. Todas terão capacidade de armazenamento de calor, sendo que algumas unidades no interior paulista também utilizarão biomassa como combustível.

Dado o uso da biomassa florestal e investimentos em plantas com concentradores solares, é perceptível que neste cenário as fontes renováveis serão dotadas de maior controlabilidade. Soma-se a isso o fato que as tecnologias de armazenamento de energia estarão difundidas na década de 2030. Assim, a necessidade de contratação de usinas termoelétricas será bem menor neste cenário. Não obstante, esta expansão tende a ter características diferentes.

No âmbito das térmicas contratadas para operar na base, considerando que o suposto referente a centrais nucleares não se altera em relação ao cenário base, é preciso examinar as alternativas fósseis. Neste sentido, em um primeiro momento mantém-se a tendência de construção de centrais movidas a

gás natural, a partir de meados da década de 2020 é preciso considerar a hipótese que a expansão passe a ocorrer predominantemente através de investimentos em centrais a carvão. Esta assertiva tem como base a necessidade de minimizar as emissões de gases do efeito estufa, conjugada com a disseminação comercial das plantas IGCC. Porém, embora vislumbre-se uma maior facilidade em se adotar sistemas de captura de carbono em plantas a carvão, não é possível descartar a possibilidade do desenvolvimento de técnicas eficientes de captura de carbono em plantas a gás natural. Em síntese, dado que o relevante será as emissões e não o tipo de combustível, a tipologia da expansão da geração térmica para operar na base será determinada pela tecnologia que venha se apresentar mais custo-eficiente.

Em contrapartida, a necessidade de geração controlável para a garantia do atendimento da ponta do sistema será atendida predominantemente a partir de plantas movidas a gás natural, sendo as centrais térmicas movidas a óleo existentes então apenas aquelas construídas antes da década de 2020 que ainda estejam em condições de operação.

Portanto, o exame da perspectiva do equilíbrio entre a oferta e a demanda por energia elétrica indica que, apesar do uso mais eficiente dos recursos energéticos reduzir a demanda por energia elétrica, os desafios para o atendimento da demanda permanecerão relevantes, sobretudo considerando as maiores restrições a construção de novas centrais hidroelétricas que irão resultar em uma maior necessidade de diversificar a matriz elétrica. Contudo, prospecta-se que os ganhos de eficiência da geração eólica, da bioeletricidade, dos painéis fotovoltaicos e dos concentradores solares conjugados com a exploração de biomassa florestal e a disseminação de tecnologias de armazenamento de energia levarão a uma menor necessidade de usar fontes fósseis e, desta forma, possibilitarão a garantia da segurança do suprimento com sustentabilidade ambiental.

O sistema elétrico em si irá se tornar gradativamente um sistema distribuído e conectado. Esta tendência não irá advir de uma maior participação da

autoprodução clássica em unidades industriais, a qual manterá a participação do cenário base, mas da disseminação da microgeração, que atingirá patamares bastante superiores aos esperados no cenário base, sobretudo através da instalação de painéis fotovoltaicos.

As redes precisarão estar estruturadas para lidar com expressivos montantes de fluxos bidirecionais de energia. O corolário desta necessidade será a consolidação das redes inteligentes como o paradigma tecnológico preponderante. Estas redes inteligentes também serão habilitadoras de medidas de gerenciamento da demanda por permitirem a adoção de tarifas dinâmicas, de armazenagem de energia e de uma maior disseminação da mobilidade elétrica em função de viabilizarem a tecnologia *vehicle to grid* (V2g). Nota-se assim que as novas tecnologias de rede assumirão grande relevância na promoção de um sistema elétrico onde a sustentabilidade seja uma de suas diretrizes básicas.

Em suma, os principais *drivers* para o desenvolvimento das redes inteligentes serão a necessidade de substituir a atual infraestrutura de distribuição já envelhecida em um contexto onde prospecta-se uma maior eletrificação das atividades socioeconômicas, a tendência de descentralização da geração de energia a partir de fontes renováveis e intermitentes e a presença de consumidores requerendo níveis crescentes de qualidade e sustentabilidade do setor elétrico. Em contraste com o cenário base, a motivação para investimentos em redes inteligentes não estará restrita à redução de perdas, pois o gerenciamento da demanda e a qualidade do suprimento também serão questões de grande relevância para a realização dos investimentos, devido ao comportamento cada vez mais ativo dos consumidores brasileiros. Além de até mesmo consumidores residenciais apresentarem medidas de gerenciamento da demanda, destaca-se que algumas unidades consumidoras já serão dotadas de sistemas de armazenagem de energia e um percentual dos proprietários de veículos elétricos serão usuários da tecnologia *vehicle to grid* (V2g).

Desta forma, é possível afirmar que na década de 2030 as redes inteligentes estarão em um estágio avançado de desenvolvimento no Brasil. Além do monitoramento online e a automatização de toda a rede, medidores inteligentes com tarifas dinâmicas estarão presentes em todas as unidades consumidores do Grupo B.

Já em termos da inserção de veículos elétricos na frota de veículos leves, a penetração continuará sendo modesta em função da predominância de veículos *flex fuel* na frota brasileira. Entretanto, a participação dos veículos elétricos na frota será consideravelmente maior que aquela estimada para o cenário base. Prospecta-se que os PHEV e os VE representarão, respectivamente, 9% e 3% da frota de 56 milhões veículos leves projetada para o início da década de 2030. Como consequência, o consumo de energia elétrica destes 5,06 milhões de PHEV e de 1,69 milhões de VE será de 18 TWh. Para abastecer esta frota de veículos elétricos, serão necessários 5,72 milhões de pontos de recarga, sendo 5,11 milhões pontos residenciais enquanto que os postos públicos serão divididos entre 540 mil postos de recarga lenta e 70 mil postos de recarga rápida.

Na esfera comercial, tal qual enunciado no cenário base, a dinâmica de contratação de energia no mercado regulado será reformulada com a adoção leilões por fontes. Porém, a mudança prospectada de maior relevância é o aumento da participação do mercado livre de energia. Desta forma, o suposto é que haverá a liberalização do mercado de energia elétrica brasileiro.

Contudo, isso não significa que haverá o estabelecimento de um mercado a vista de energia no Brasil, vide que a matriz elétrica brasileira, baseada essencialmente em fontes renováveis, continuará a ser um fator impeditivo para o estabelecimento de mercados do tipo bolsa de energia. Desta forma, o mercado livre brasileiro continuará sendo baseado em contratos bilaterais,

entretanto, apresentará crescente liquidez e transparência na formação de preços com vistas a incitar um maior número de *players* a participarem do mesmo.

Cabe destacar que, embora a liberalização total dos mercados elimine a figura do consumidor livre especial, isso não irá tirar mercado das fontes renováveis de energia, devido à participação crescente destas fontes e às rígidas restrições de ordem ambiental incidentes sobre projetos termoelétricos movidos a combustíveis fósseis. Assim como nos leilões do mercado regulado, prospecta-se que o ambiente de contratação livre será extremamente competitivo.

No que se refere ao comércio varejista, embora se antecipe todos os consumidores terão direito a escolher seu supridor de energia, em nível residencial apenas os consumidores com maior nível de consumo exercerão o direito de ser livre.

As mudanças tecnológicas prospectadas neste cenário terão uma relevância que transcenderá o surgimento de novas diretrizes comerciais. Em realidade, o que ocorrerá é a emergência de um novo ambiente de negócios que irá exigir o reposicionamento por parte das empresas do setor.

Em linhas com o novo posicionamento da sociedade, a regulação tende a se tornar menos intervencionista na proteção aos consumidores, vide que os mesmos terão postura mais ativa, e passará a ter um caráter mais fiscalizatório. Vislumbra-se que estruturas como medidores inteligentes e os pontos de recarga dos veículos elétricos serão considerados abertas à livre competição, desde que os ofertantes atendam pré-requisitos técnicos pré-definidos enquanto que o *big data* pertencerá aos detentores da rede transmissora de dados.

Neste contexto, as empresas precisarão elaborar estratégias empresarias condizentes com um ambiente onde a microgeração conjugada com medidas de gerenciamento da demanda reduzirão o tradicional mercado de energia. Em contrapartida, existirá um amplo universo de serviços a serem ofertados, criando novas oportunidades de negócios, mesmo que este mercado de serviços seja potencialmente muito competitivo. O suposto adotado neste cenário é que as empresas do setor elétrico redefinirão seu *core business* com vistas a se tornarem empresas que também prestam serviços e atuam em outras indústrias de rede.

Observa-se assim que trata-se de um cenário onde a diversificação da matriz não estará restrita a soluções convencionais e tecnologias disruptivas assumirão grande importância. Para lidar com este novo contexto, prospectam-se mudanças mais relevantes do ponto de vista comercial e novos posicionamentos estratégicos por parte das empresas. Neste cenário, efetivamente ocorre uma significativa transformação do setor elétrico brasileiro. Porém, mesmo que o ponto inicial desta transformação seja a maior preocupação da sociedade com qualidade e sustentabilidade dos bens e serviços ofertados, esta mudança do comportamento da sociedade não é condição suficiente. Nota-se a necessidade da adoção de diretrizes que possibilitem esta efetiva transformação. A próxima seção deste relatório trata justamente de diretrizes necessárias para a realização do cenário “Energia na Cidade do Futuro”.

4 – Diretrizes para Viabilização do Cenário “Energia na Cidade do Futuro”

Apesar do comportamento mais ativo e engajado da sociedade ser um elemento central para a transformação do setor elétrico com vistas a aumentar sua qualidade e promover sua sustentabilidade, as mudanças requeridas para a transformação do setor não ocorrerão de forma autônoma. Em síntese, serão necessárias medidas que incentivem a eficiência, investimentos em tecnologias disruptivas e, por consequência, possibilitem inovações. Além disso, é preciso examinar maneiras de viabilizar economicamente as novas tecnologias em um contexto de crescente influência dos *stakeholders*. Portanto, é preciso delimitar o conjunto de diretrizes de políticas públicas, regulatórias e de estratégias empresarias para que o cenário a “Energia na Cidade do Futuro” possa ser viabilizado.

A própria mudança prospectada nos padrões de consumo irá exigir políticas indutoras. Explica-se: o maior valor concedido à qualidade e à sustentabilidade irão emergir em alguns nichos da sociedade. Desta forma, a mudança no padrão de consumo da sociedade como um todo passará pela implementação de políticas públicas e ações institucionais que possibilitem a generalização das mudanças nos padrões de consumo. Tais políticas são dos mais variados tipos.

Considerando o caráter imperativo do uso mais prudente dos recursos naturais, a adoção de políticas públicas, incluindo campanhas educacionais, visando a economia de água e dos recursos energéticos assumirão relevância. Estas políticas serão impulsionadas pela difusão prevista das tecnologias de informação e comunicação. Entretanto, no caso específico de campanhas educacionais, embora as mesmas apresentem custos de implementação relativamente modestos, este tipo de política tem um longo prazo de maturação, pois envolve mudanças de padrões culturais. Desta forma, sua

eficácia é restrita e seus efeitos tendem a estarem concentrados nas gerações futuras.

Observa-se assim a necessidade de implementação de normas restritivas e/ou de instrumentos de mercado que direcionem o consumo para uma trajetória de maior sustentabilidade. Por trás destas diretrizes, está a noção que a sociedade do conhecimento deverá constantemente buscar atender a necessidade de serviços e não necessariamente a demanda material. Por exemplo, dada a noção que o relevante é o atendimento da demanda por mobilidade, é possível propor o estabelecimento de normas que restrinjam o uso de veículos leves nos centros das grandes cidades em dias úteis em um contexto onde existam massivos investimentos em transportes públicos.

No escopo específico do setor elétrico, é perceptível que em primeiro lugar será preciso criar as condições para a emergência e disseminação de novas tecnologias, sobretudo aquelas com potencial para modificar o paradigma tecnológico vigente.

Para isso, o estabelecimento de programas de pesquisa e desenvolvimento focados em projetos com maior nível de risco será um elemento central para o desenvolvimento de tecnologias como concentradores solares para geração de energia elétrica com armazenamento e/ou híbridas, centrais de gaseificação da biomassa, *smart grid* e, as tecnologias induzidas pela mesma como é o caso de sistemas de armazenamento na unidade de consumo.

Em um segundo momento, com o intuito de realizar a disseminação comercial destas tecnologias vislumbra-se a necessidade da implementação de incentivos ao investimento que possibilitem a expansão da oferta e, por consequência, a redução de custos através da exploração de economias de escala. A concessão de incentivos não chega a ser novidade, vide o caso da energia eólica. A questão passa a ser mensurar a necessidade adequada de

subsídios requeridas por cada tecnologia para que haja o seu desenvolvimento, mas ao mesmo tempo não existam subsídios excessivos que venham a onerar os contribuintes ou usuários.

Neste sentido, nota-se a pertinência da adoção de melhores condições de financiamento para projetos que optem por tecnologias com maior nível de eficiência, sendo este um incentivo de grande relevância para o desenvolvimento de plantas BIG/GTCC por parte do setor sucroenergético brasileiro. Concomitantemente, é preciso destacar a relevância das isenções tributárias e incentivos fiscais.

No caso da energia solar fotovoltaica na modalidade de microgeração, é importante mencionar que existe uma adequação tributária que consistiria em um grande incentivo para sua disseminação e não representa a concessão de subsídios: a tributação do ICMS por parte do Estado ocorrer sobre a energia líquida consumida e não sobre a energia bruta como vem ocorrendo, vide que o regime vigente da microgeração no Brasil é o *net metering*.

Em paralelo, o desenvolvimento de *clusters* industriais destas tecnologias também assume grande importância. Tais clusters devem buscar integrar as indústrias com as universidades e agências de fomento com o objetivo desenvolver soluções adequadas às especificidades brasileiras. Por exemplo, plantas de geração com concentradores solares que também utilizem biomassa da cana de açúcar são uma alternativa específica para o Brasil, assim como veículos PHEV que trafegue com etanol e eletricidade. Não obstante, é preciso considerar os efeitos sistêmicos sobre a economia da implementação de *clusters* industriais.

Contudo, não basta garantir as condições de oferta. É preciso possibilitar a inserção no mercado destas tecnologias. No caso das fontes de geração de energia elétrica, embora a realização dos leilões por fonte seja um importante

instrumento para a garantia de mercado para as tecnologias (fontes) emergentes, não é condição suficiente, pois nada impede que sejam adotados critérios que acabem por priorizar fontes convencionais. Por exemplo, isso poderia ocorrer em um cenário em que seja priorizada a modicidade tarifária. No caso do mercado livre de energia, este risco de contratação de fontes convencionais é ainda mais contundente.

Em realidade, dada a busca por sustentabilidade, o maior risco consiste em uma eventual contratação excessiva de plantas térmicas poluentes. Neste sentido, é imperativo o estabelecimento de rigorosas normas relativas aos padrões de emissões de gases do efeito estufa e de poluentes locais, os quais acabarão por restringir a contratação de térmicas eficientes e com desprezível nível de emissões, como é o caso de plantas IGCC. Adicionalmente, a existência de um mercado de carbono que estabeleça um preço mínimo para o carbono, compatível com seus impactos ambientais, elevaria o custo da geração termoelétrica movida a combustíveis fósseis e garantia maior competitividade as fontes alternativas de energia.

Ainda no âmbito da comercialização de energia, o suposto de maior liberalização dos mercados exigirá a disponibilidade de modalidades de financiamento diferentes do tradicional *Project finance* utilizado pelo BNDES em projetos do setor elétrico. Esta necessidade advém do fato que no mercado livre os contratos transacionados apresentam um menor período de duração. Por isso não atendem aos requisitos do padrão de financiamento atualmente vigente e, por consequência, existe uma grande dificuldade do mercado livre em contribuir para a expansão da oferta. Portanto, a participação do mercado de capitais, sobretudo a partir da emissão de debêntures, será essencial para que de fato o mercado livre aumente sua participação no setor elétrico brasileiro.

No âmbito da promoção da mobilidade elétrica, as medidas não poderão estar

restritas a incentivos fiscais para incitar a compra de veículos elétricos. Dado que a infraestrutura de recarga não fará parte da base de ativos da distribuidora, é imperativo que em um primeiro momento existam parcerias público-privadas com o objetivo de instalar os primeiros pontos de recarga e, desta forma, mitigar a percepção negativa dos usuários em relação à autonomia dos veículos.

De todo modo, não basta promover investimentos que transformem o setor elétrico. É fundamental garantir a viabilidade econômica dos novos negócios. Caso contrário, as empresas do setor elétrico podem adotar uma postura reativa que dificulte e, no limite, impeça esta transformação. Desta forma, as normas regulatórias assumem grande importância, vide que podem acelerar o processo ou consistir em um forte empecilho.

Considerando que o regulador será mais interveniente e haverá uma maior interação com os *stakeholders*, a adoção de modelos regulatórios *output-based* em detrimento aos modelos *input-based* atuais será relevante. Dado o suposto que as empresas são os agentes mais capacitados para dimensionar quanto e como os investimentos devem ser realizados, a lógica por trás desta substituição é que a regulação por *outputs* concederá maior de autonomia para as distribuidoras decidirem os investimentos que irão realizar. O papel do regulador passará a se definir os requisitos mínimos de qualidade que incitem a realização de investimentos através do estabelecimento de recompensa e penalidades a partir de *benchmarks* que definam os padrões e níveis de investimento adequados.

Especificamente no escopo dos incentivos às medidas de eficiência energética, dois modelos de negócios assumem grande importância: retorno diferenciado e compartilhamento dos ganhos. No primeiro caso, os investimentos em eficiência energética receberiam uma remuneração mais alta do que outros ativos. Como consequência desta remuneração privilegiada, os

investimentos em eficiência energética passam a ser atrativos para as empresas. Porém, considerando que o modelo de remuneração diferenciada possui o risco de não incitar a melhoria do desempenho dos projetos de eficiência energética, o modelo de compartilhamento de ganhos precisa ser considerado. Em suma, este modelo consiste na repartição dos benefícios líquidos inerentes ao projeto e já comumente utilizado por parte das ESCO (EMPRESA DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA). No entanto, é preciso que a regulação permita a utilização do mesmo por parte das distribuidoras de energia elétrica.

Os rumos da regulação *stricto sensu* são especialmente relevantes no segmento de distribuição de energia elétrica, dado que muitas das novas tecnologias irão impactar suas atividades. Observa-se que a disseminação da microgeração, medidas de *demand response* e sistemas de armazenamento atuarão em conjunto para reduzir a necessidade dos consumidores em serem abastecidos pela rede. Porém, isso não significa que os mesmos poderão preferir de estarem conectados à rede.

Observa-se que a dissociação da receita requerida pela distribuidora do volume de energia transportado será uma diretriz regulatória essencial para viabilizar economicamente a distribuição de energia elétrica. Esta dissociação, ao garantir as receitas requeridas para viabilizar economicamente a atividade de distribuição, faz com que a microgeração, medidas de eficiência energética e armazenamento de energia não sejam vistos como tecnologias conflitantes com o negócio da distribuição. Desta forma, o modelo de *decoupling*²³ precisará estar presente na década de 2030 na definição das tarifas das concessionárias de distribuição, sobretudo daquelas localizadas nas áreas de concessão com maior renda per-capita.

Nesta redefinição do escopo de atuação e regulação incidente sobre as

²³ Este modelo visa desassociar a receita requerida da energia distribuída. Para maiores detalhes deste modelo, ver Relatório Técnico 9 deste projeto que versa sobre tendências regulatórias.

distribuidoras, também deve ser destacada a relevância da realização do *unbundling* total, ou seja, definir que a remuneração da distribuição se dará exclusivamente pelo uso da sua rede. Neste sentido, esta delimitação de atuação eliminaria o risco comercial da contratação de energia elétrica atualmente pertencente às concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Por fim, em termos das atividades potencialmente não reguladas, nota-se que, mesmo atividades com algum nível de essencialidade (instalação de medidores e de pontos de recarga de veículos elétricos, etc) deve ser permitida a livre concorrência sem o estabelecimento de preços tetos. Desta forma, estes serviços poderão ser ofertados com preços livres. Em alguns casos, tendem a serem ofertados predominantemente por empresas especializadas, especialmente no âmbito de soluções de eficiência energética.

Sob a ótica empresarial, a atuação em outras indústrias de rede, mas sobretudo em mercados competitivos, exigirá o desenvolvimento de novas competências, dentre as quais, o desenvolvimento de produtos atrativos aos consumidores em um ambiente de intensa competição, desenvolvimento e monitoramento da base de clientes, utilização de ferramentas de gestão de riscos. Além disso, nota-se a importância da formação de uma equipe comercial especializada em vendas de produtos e serviços conjugada com a implementação de modelos de inteligência do mercado.

Contudo, a modificação mais importante a ser adotadas pelas empresas do setor elétrico será a implementação o modelo de *holding* estratégica, ou seja, é preciso que a governança destas empresas defina com clareza os objetivos da diversificação dos negócios e como a mesma vai ser implementada. No âmbito da atuação em outras indústrias de rede, ressalte-se a pertinência em se priorizar investimentos que resultem em sinergias com as atividades de empresa de energia elétrica. Por sua vez, a presença em mercados competitivos irá exigir constantes inovações em nível dos produtos e serviços

ofertados aos consumidores, os quais deverão ser vistos como clientes.

A tabela a seguir sintetiza como estas diretrizes podem possibilitar a transformação do setor elétrico brasileiro.

Assunto	Cenário Base	Cidade do futuro	Diretrizes
1. Paradigmas de consumo 	>Variável custo permanece sendo predominante na decisão do consumidor;	>A qualidade e a sustentabilidade dos bens e serviços passam a ser tão, ou mais importantes, que o custo; >Preocupação do consumidor com a frequência e duração das falhas de suprimento de energia elétrica;	>Implementação de políticas públicas e campanhas educacionais, visando à conscientização social e a economia dos recursos naturais;
2. Matriz elétrica brasileira 	>Exploração do potencial hídrico remanescente; >Ciclo consistente de investimentos em energia eólica e bioeletricidade, mas sem inovações tecnológicas; >Participação da geração fotovoltaica pequena, com 1% do total produzido;	>Carga de energia de 10 a 15% inferior ao cenário base; >Menor exploração do potencial hídrico; >Maiores investimentos em usinas eólicas, incluindo híbridos com fotovoltaica; >Maior relevância da bioeletricidade canavieira, a qual terá o BIG/GTCC como	>Estabelecimento de programas de pesquisa e desenvolvimento focados em projetos com maior nível de risco >Implementação de incentivos que incentivem a geração sustentável, como isenções tributárias, incentivos fiscais e

<p>>Necessidade de geração controlável sendo atendida por usinas térmicas a gás natural;</p>	<p>paradigma tecnológico vigente;</p> <p>>Expansão da energia solar fotovoltaica baseada na microgeração, representando 8% da geração;</p> <p>>Plantas CSP com armazenagem e algumas híbridas;</p> <p>>Menor necessidade de contratação de projetos térmicos controláveis;</p> <p>>Maior facilidade de capturar carbono em plantas IGCC fazendo com que carvão substitua térmicas a gás</p>	<p>financiamento direcionado</p> <p>>Estabelecimento de um mercado de carbono, visando elevar o custo da geração termoelétrica fóssil e garantir competitividade das fontes alternativas</p>
---	---	---

3. Mobilidade elétrica



<p>>Participação na frota total de 4% e 0,5% para os PHEV e os VE, respectivamente</p>	<p>>Participação na frota total de 9% e 3% para os PHEV e os VE, respectivamente</p> <p>>Consumo de 18 TWh por ano, fazendo com que a comercialização de energia elétrica para veículos já seja um <i>business</i> relevante</p> <p>>Necessidade de instalação de 5,72</p>	<p>>Estabelecimento de programas de pesquisa e desenvolvimento focados em projetos com maior nível de risco</p> <p>>Instalação dos primeiros pontos de recarga através de parcerias público-privadas, visando</p>
<p>>Consumo de 6,85 TWh por ano, fazendo com que a comercialização de energia elétrica para veículos não seja um <i>business</i> relevante</p> <p>>Necessidade de</p>		

	instalação de 2,15 milhões de pontos de recarga	milhões de pontos de recarga	mitigar a percepção negativa em relação à autonomia dos veículos >Desenvolvimento de <i>clusters</i> industriais com o objetivo de desenvolver soluções adequadas à realidade brasileira
--	---	------------------------------	---

4. Redes inteligentes



>Redução das perdas técnicas e das perdas não técnicas de energia como principal motivador para os investimentos. >Inserção gradual; >Desenvolvimento intermediário das redes inteligentes, onde quase a totalidade da rede será monitorada de forma online e estará automatizada; >Disseminação de medidores com telemedição; >Tarifas dinâmicas e, por consequência, medidas de gerenciamento de demanda restritas a	>Necessidade de lidar com crescentes fluxos bidirecionais de energia; >Consolidação das redes inteligentes como o paradigma tecnológico preponderante; >Adoção de tarifas dinâmicas, de armazenagem de energia e da disseminação da tecnologia <i>vehicle to grid</i> >Predominância do gerenciamento da demanda e da qualidade do suprimento como principal motivação para os investimentos	>Estabelecimento de programas de pesquisa e desenvolvimento focados em projetos com maior nível de risco para permitir o desenvolvimento da tecnologia necessária >Desenvolvimento de <i>clusters</i> industriais com o objetivo de desenvolver soluções adequadas à realidade brasileira
--	---	--

determinados nichos;

em redes inteligentes

>Desenvolvimento avançado das redes inteligentes, com monitoramento online, a automatização de toda a rede e com tarifas dinâmicas para os consumidores

Grupo B

5. **Ambiente e estratégia de negócios**



>Demanda brasileira por energia elétrica será de 965 TWh em 2030, representando um crescimento de 88%

>Permanência do *core business* das empresas do setor elétrico, que passam a oferecer eventuais serviços estritamente no âmbito do setor elétrico

>Demanda brasileira por energia elétrica entre 10 a 15 % inferior a do Cenário Base, tendo em vista o crescimento da

eficiência energética;

>Surgimento de um amplo universo de serviços a serem ofertados, criando novas oportunidades

>Redefinição do *core business* das empresas, se tornando empresas prestadoras de serviços e que atuam em outras indústrias complementares

>Definição clara dos objetivos da diversificação dos negócios e da estratégia a ser adotada;

>Desenvolvimento de novas competências por parte das empresas (produtos atrativos, monitoramento da

base de clientes, formação de equipe comercial especializada;

>Priorizar investimentos em indústrias que tenham potenciais sinergias com o setor

- elétrico;
- >Desenvolver capacidade de inovação;
- >Ver consumidores como clientes;

6. Tendências comerciais do setor brasileiro



- >Tendência de realização de leilões por fontes e, até mesmo, regionais;
- >Avanços na ampliação dos limites de migração para o ambiente de contratação livre
- >Liberalização do setor elétrico brasileiro continuará em um nível ainda aquém daquele verificado em países mais avançados;
- >Permanência de contratos de longo prazo, com as bolsas de energia sendo apenas plataformas de comercialização;
- >Adoção ampla de leilões por fontes
- >Liberalização do mercado de energia elétrica brasileiro
- >Crescente liquidez e transparência na formação de preços do mercado livre brasileiro, que continuará sendo baseado em contratos bilaterais;
- >Somente consumidores residenciais com elevado nível de consumo exercerão o direito de serem livres;
- >Participação maior do mercado de capitais, em especial da emissão de debêntures como forma de financiamento de investimentos
- >Remuneração da distribuição se dando exclusivamente pelo uso da sua rede (*decoupling*), dissociando a receita da distribuidora da quantidade de energia distribuída
- >Eliminação do risco comercial da contratação

7. Economia de baixo carbono



- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">>Acordo climático firmado incompatível com cenário que limita aquecimento global em 2º. C;>Embora questão precise ser monitorada, redução de emissões não consiste em um driver prioritário para o setor elétrico brasileiro;>Necessário considerar eventuais impactos sobre o potencial de geração renovável;>Medidas de eficiência energética sendo adotadas de forma tendencial;>Eletrificação do setor energético; | <ul style="list-style-type: none">>Acordo climático firmado com vistas a limitar o aquecimento global em 2º. C;>Esforços de redução de emissão atingem o setor elétrico brasileiro;>Necessidade de térmicas capturarem carbono resulta em ganho de relevância do carvão;>Algumas plantas do setor de cana de açúcar brasileiro adotam a tecnologia BIO-CCS;>Ganhos adicionais de eficiência induzidos e concentrados na demanda final; | <ul style="list-style-type: none">>Crescimento da pressão da sociedade por políticas e ações mitigadoras das alterações climáticas derivada do comportamento anômalo do clima e de eventos climáticos extremos;>Adoção de normas restritivas de emissões;>Formação de mercado de carbono com preço mínimo;>Implementação de modelos de negócios que incitem a adoção de medidas de eficiência energética; |
|---|---|--|

8. Tendências regulatórias



- | | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">>Permanência de um alto nível de regulação no setor elétrico brasileiro>Inclusão dos medidores inteligentes e dos pontos de recarga dos veículos elétricos como extensão da | <ul style="list-style-type: none">>Transformação do caráter regulatório, sendo mais fiscalizatório e menos intervencionista e protecionista>Não inclusão dos medidores inteligentes e dos pontos de recarga como | <ul style="list-style-type: none">>Regulação mais interveniente e com uma maior interação com os <i>stakeholders</i>>Adoção de modelos regulatórios <i>output-based</i>, concedendo maior de autonomia para as distribuidoras decidirem os |
|--|---|---|

infraestrutura distribuidora, fazendo parte dos ativos regulados	infraestrutura distribuidora, abrindo-os à livre competição	investimentos que serão realizados
>Propriedade do <i>Big data</i> será das concessionárias, mas parte da receita será revertida em prol da modicidade tarifária	>Propriedade e receitas provenientes do <i>Big data</i> serão dos detentores da rede transmissora de dados	

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *O Novo Modelo do Setor Elétrico, a ANEEL e a Geração Distribuída*. Disponível em: <http://www.inee.org.br/download/eventos/Paulo_Pedrosa.pdf>. Acesso em 12 de agosto de 2014.

AGORA ENERGIEWENDE. *12 Insights on Germany's Energiewende*. Disponível em: <http://www.agora-energiewende.org/fileadmin/downloads/publikationen/Impulse/12_Thesen/Agora_12_Insights_on_Germanys_Energiewende_web.pdf>. Acesso em 12 de agosto de 2014.

ANFAVEA, 2011. *Anuário Estatístico 2011*. Anfavea, São Paulo.

ANUTTA, O.H.; TAYLOR, P.; JONES, D.; McENTEE, T.; WADE, N. *An international review of the implications of regulatory and electricity market structures on the emergence of grid scale electricity storage*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38 (2014): 489–508.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (ABESCO). *Desenvolvendo Mecanismos de Intermediação Financeira para Projetos de Eficiência Energética no Brasil, China e Índia*. Brasil, 2006. 95 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (ABRADEE). *Projeto Estratégico de P&D - Redes Elétricas Inteligentes*. Disponível em: <http://www.smartgrid.com.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=KXPAd-H_TCBf_P_FYCbecl0YcL8hy6FBxs0VtjpWUH4> Acesso em 12 de agosto de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (ABRADEE). *Evolução do Índice de Satisfação da Qualidade Percebida (ISQP)*. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/imprensa/artigos-e-releases/186-satisfacao-dos-consumidores>> Acesso em 18 de agosto de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEólica). *Microgeração é a alternativa para reduzir o risco de apagão e o custo energético do País.* Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/noticias/1573-microgera%C3%A7%C3%A3o-%C3%A9-a-alternativa-para-reduzir-o-risco-de-apag%C3%A3o-e-o-custo-energ%C3%A9tico-do-pa%C3%ADs.html>>. Acesso em 12 de agosto de 2014.

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.

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.

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, 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.

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.

DANTAS, Guilherme de Azevedo. *A Necessidade do Planejamento Energético Integrado do Sistema Elétrico*. In: In: Thulio Cícero Guimarães Pereira. (Org.). *Energias Renováveis - Políticas Públicas e Planejamento Energético*. 1ed. Curitiba: COPEL, 2013, v. 1, p. 239-255.

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI). Assessment of Achievable Potential from Energy Efficiency and Demand Response Programs in the U.S. 2010 – 2030. *Technical Report*, p. 25, Palo Alto, Califórnia, jan. 2009

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. *Demanda d 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 2020*. 2011.

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

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2012*. 2012b.

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

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O., 2007. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. 3^a. ed, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo.

HOFFMANN, Bettina S., SZKLO, Alexandre, SCHAEFFER, Roberto. *Limits to co-combustion of coal and eucalyptus due to water availability in the state of Rio Grande do Sul, Brazil*. *Energy Conversion and Management* 87 (2014): 1239–1247.

HUSS, W.R., 1988. “A Move Toward Scenario Analysis”. *International Journal of Forecasting*, v. 4, pp. 377-388.

IEA, International Energy Agency. *World Energy Outlook 2014*. IEA. Paris, 2014a.

IEA, International Energy Agency. *Renewable Energy – Medium-Term Market Report 2014*. IEA. Paris, 2014b.

IEA, International Energy Agency. *World Energy Outlook 2013*. IEA. Paris, 2013.

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

IEA, International Energy Agency. *Key World Energy Statistics 2012*. IEA. Paris, 2012b.

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

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

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.

KNIGHT, F. (1921). *Risk, Uncertainty and Profit*. Library Economics and Liberty. Disponível em <www.econlib.org/library/Knight/knRUP.html>. Acesso em 01/09/2014.

KPGM INTERNATIONAL. *O Estado Futuro 2030: As megatendências globais que mudam os governos*. 2013.

LESLIE, A.D., MENCUCCCINI, M., PERCKES, M. *The potential for Eucalyptus as a wood fuel in the UK*. *Applied Energy* 89 (2012): 176–182.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; SEPED, Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento; CGMC, Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*. Brasília, 2013.

MORGAN, M. G.; HENRION, M., 1990. *Uncertainty – A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge University Press. Nova Iorque, Cambridge University Press.

OECD, Organisation for Economic Co-Operation and Development, *Long term baseline projections, No. 95*, Dados extraídos no dia 10 de Abril de 2015, 2015.

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.

PINTO JUNIOR, H.Q.; ALMEIDA, E.F.; BOMTEMPO, J.V. et al., 2007. *Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial*. Rio de Janeiro, Elsevier.

POSTMA, T.J.B.M.; LIEBL, F., 2005. “How to improve scenario analysis as a strategic management tool?” *Technological Forecasting & Social Change*, v. 72, pp. 161–173.

POSTMA, Theo J.B.M.; BROEKHUIZEN, T.L.J.; BOSCH, F., 2012. “The contribution of scenario analysis to the front-end of new product development”. *Futures*, v. 44, pp. 642-654.

RICHTER, Mario. *Utilities’ business models for renewable energy: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012): 2483– 2493.

SCHNAARS, S.P., 1987. “How to Develop and Use Scenarios”. *Long Range Planning*, v. 20, pp. 105-114.

SWART, R.J.; RASKIN, P.; ROBINSON, J. *The problem of the future: sustainability science and scenario analysis*. *Global Environmental Change* 2004; 14: 137–146.

VENTURA, Rodrigo. *Mudanças no Perfil do Consumo no Brasil: Principais Tendências nos Próximos 20 Anos*. Macroplan – Prospectiva, Estratégia e Gestão, 2010.

VITORINO, Laura E. G. *Gestão do lado da procura no Setor Elétrico Brasileiro*. 2012. Dissertação (Mestrado em Gestão) - Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2012. Disponível em: <<https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/20101>>. Acesso em 14 de janeiro de 2014.

WANG, Jianhui. et al. Smart grids, renewable energy integration, and climate change mitigation – Future electric energy systems. *Applied Energy*, v.96, p.1–3, ago. 2012.

WILLIAMS, Trevor. *et al.* Integrating renewable energy using a smart distribution system: Potential of self-regulating demand response. *Renewable Energy*, v.52, p.46–56, abr. 2013.

WOO, C. K. *et al.* A review of electricity product differentiation. *Applied Energy*, v.114, p.262–272, fev. 2014.