

Proposição e Avaliação de Políticas Públicas para Redes Inteligentes no Brasil

Guilherme de A. Dantas, Nivalde J. de Castro, Carlos Henggeler Antunes, Luis Dias, Pedro Vardiero e Lucca Zamboni

Resumo – A disseminação de redes inteligentes é um elemento central na dinâmica de transformação do setor elétrico. Ressalta-se, contudo, que as características tecno-econômicas deste setor não induzem endogenamente a promoção de inovações. Observa-se, assim, a pertinência da adoção de políticas públicas para esse fim. A delimitação dessas políticas é uma tarefa complexa, pois deve considerar variáveis de diferentes naturezas. Neste sentido, o objetivo central deste projeto é identificar as políticas públicas mais pertinentes de serem adotadas no Brasil, utilizando, para isso, um modelo de análise multicritério. A parametrização do modelo foi feita recorrendo a um conjunto de especialistas através da aplicação de uma pesquisa Delphi. Os resultados gerados pelo modelo permitiram classificar as políticas em termos de sua prioridade de adoção. Ressalta-se que todas as políticas obtiveram êxito ao serem consideradas como prioritárias. Contudo, a política de ‘incentivo ao gerenciamento da demanda, geração distribuída e estocagem’ foi considerada a mais prioritária.

Palavras-chave – Análise Multicritério, Medidores Inteligentes, Políticas Públicas, Redes Inteligentes, Regulação.

I. INTRODUÇÃO

A disseminação de redes inteligentes em sentido estrito (automação da rede + medidores inteligentes) é um elemento central na dinâmica de transformação do setor elétrico. Ressalta-se, porém, que as características tecno-econômicas do setor elétrico não induzem que o processo de inovações ocorra de forma endógena à dinâmica do setor. Observa-se, assim, a pertinência da adoção de políticas públicas para esse fim. Apesar da busca por ganhos de eficiência e de melhoria de qualidade do serviço do sistema elétrico brasileiro consistirem em *drivers* para o desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil, verifica-se a relevância da discussão acerca da elaboração de políticas públicas para o desenvolvimento de redes inteligentes.

A delimitação dessas políticas públicas é uma tarefa complexa, visto que é preciso considerar variáveis de diferentes esferas: tecnológica, econômica, financeira, social, regulató-

ria. Observa-se, assim, a necessidade da utilização de modelos que contemplem múltiplos critérios de avaliação das políticas de acordo com as diferentes perspectivas dos potenciais agentes de decisão.

O objetivo central deste projeto é identificar as políticas públicas mais pertinentes de serem adotadas no Brasil para o desenvolvimento das redes inteligentes. Para isso, a partir da definição do *status quo* das redes inteligentes no Brasil e da proposição de um conjunto representativo de políticas, foi desenvolvido um modelo de análise multicritério para avaliação das distintas políticas delineadas. Foram identificados múltiplos critérios de avaliação das políticas a serem adotadas com o objetivo de incitar investimentos em redes inteligentes. Com vistas a evitar uma análise discricionária, a parametrização do modelo foi feita recorrendo a um conjunto de 28 especialistas de diferentes segmentos do setor elétrico brasileiro, através da aplicação de uma pesquisa do tipo Delphi.

A partir da aplicação do modelo de análise multicritério, foi possível classificar as políticas públicas em termos de sua prioridade de adoção. Deve-se ressaltar que todas as políticas avaliadas obtiveram êxito ao serem consideradas como prioritárias, apesar de possuírem níveis distintos de prioridade. Além disso, foi possível realizar o ordenamento das políticas públicas em termos comparativos. Como resultado desse ordenamento, foi possível, por exemplo, apontar a política de ‘incentivo ao gerenciamento da demanda, geração distribuída e estocagem’ como a mais prioritária dentre as políticas. Esses resultados são relevantes na medida em que utilizam instrumentos metodológicos originais para avaliação de políticas de incentivos às inovações tecnológicas no setor elétrico brasileiro.

O projeto de P&D intitulado “Avaliação de Políticas e Ações de Incentivo às Inovações Tecnológicas no Setor Elétrico: análise da experiência internacional e propostas para o Brasil”, cujo código ANEEL é 0391-0018/2010 encontra-se concluído. As entidades executoras e as empresas de energia elétrica que deram suporte financeiro ao projeto foram a EDP Bandeirante e EDP Escelsa.

Este artigo encontra-se dividido em seis partes, além dessa introdução. Inicialmente, na seção II, é realizado o exame das perspectivas das redes inteligentes no Brasil. Na sequência, na seção III, são apresentadas as políticas de incentivo delineadas para o desenvolvimento das redes inteligentes. A seção IV desse artigo pretende apresentar os critérios de avaliação para o desenvolvimento de redes inteligentes. A seção V, por sua vez, visa justificar a opção pela aplicação de um questionário do tipo Delphi para a parametrização do

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do IX Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (IX CITENEL).

G. de A. Dantas, N. J. de Castro, C. H. Antunes, L. Dias e P. Vardiero trabalham no GESEL (e-mails: guilhermecrv@gmail.com; nivalde.castro@gmail.com; ch@deec.uc.pt; lmcdias@fe.uc.pt; pvardiero@hotmail.com).

L. Zamboni trabalha na EDP Brasil (e-mail: luc-ca.zamboni@edpbr.com.br).

modelo de análise multicritério, bem como explicar sua aplicação. A sexta seção fornece maiores detalhes sobre a metodologia de análise multicritério adotada, além de sua aplicação e seus principais resultados. Por fim, na seção VII, são feitas considerações finais acerca do trabalho desenvolvido no âmbito do programa de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL.

II. PERSPECTIVAS DAS REDES INTELIGENTES NO BRASIL

O exame do *status quo* e das perspectivas de desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil exige o prévio conhecimento das motivações e desafios envolvidos. Esta análise deve contemplar, não apenas questões inerentes ao setor elétrico, mas também as variáveis socioeconômicas brasileiras. Por exemplo, é preciso considerar a reduzida renda e consumo de energia per capita brasileira, pois a mesma torna difícil justificar o repasse à tarifa de custos elevados com a implementação de soluções de *smart grid*.

Verifica-se que a capacidade de pagamento dos consumidores brasileiros pelo fornecimento dos serviços públicos apresenta relativa limitação, vide o patamar em que se encontra em renda per capita brasileira [1]. Isso justifica, por exemplo, a busca por modicidade tarifária ser uma das diretrizes prioritárias no setor elétrico brasileiro. Ademais, o reduzido nível de renda de uma considerável parte da população e a complexidade social de certas microrregiões faz com que algumas distribuidoras tenham que conviver com elevados volumes de perdas não-técnicas (furto) de energia. Em 2014, por exemplo, a geração total de energia elétrica atingiu um patamar de 624 TWh, com perdas totais da ordem de 14,9% [2]. Embora se trate de um país com um sistema interligado de dimensões continentais, com perdas técnicas acima da média mundial, ressalta-se que o volume de perdas totais é bastante influenciado por essas perdas não-técnicas [3]. Esse cenário contribui para a importância da implementação de medidores inteligentes, dado que estes permitem identificar a localização das perdas e, por consequência, possibilitam a adoção de medidas mais eficazes para combatê-las.

Em anos recentes, muito se tem discutido sobre o processo de “desindustrialização precoce” da economia brasileira [4]. Este processo caracteriza-se pela redução da participação relativa do setor industrial na economia, sendo o caráter precoce associado ao fato do mesmo ocorrer em um estágio de desenvolvimento socioeconômico onde o nível de renda per capita ainda se encontra em patamares relativamente baixos. Considerando que os altos custos suportados pela indústria brasileira são reconhecidos como uma das razões para esse fenômeno, é compreensível os preços da energia elétrica serem vistos como um entrave para a indústria. Em paralelo, reconhece-se a necessidade do Brasil aumentar o valor agregado pela economia nacional através do desenvolvimento dos setores mais intensivos em tecnologia e conhecimento [5].

O corolário do processo de desindustrialização brasileiro, assim como do desenvolvimento focado em setores de maior valor agregado e do uso mais eficiente dos recursos energé-

ticos é, pelo menos do ponto de vista da indústria, uma redução da intensidade energética da economia brasileira. Porém, considerando o ainda reduzido nível de consumo de energia per capita do Brasil, é preciso ter a ciência que em termos absolutos o consumo tende a crescer ao longo das próximas décadas¹. Em especial, a demanda por energia elétrica deverá apresentar expressivos aumentos neste mesmo período².

As redes inteligentes requerem redes de comunicação que sejam integradas, de alto desempenho, altamente confiáveis, expansíveis, universais e seguras [8]. Tais exigências derivam da necessidade de circulação de grandes montantes de informação em bases seguras. Logo, é perceptível a inadequação entre o sistema brasileiro de telecomunicações atual e as exigências das redes inteligentes.

Em relação à matriz de geração brasileira, destaca-se que a mesma é predominantemente hídrica. Para lidar com a sazonalidade das aflúncias, o parque hídrico foi historicamente construído associado a vários reservatórios de acumulação para regularizarem a oferta de energia. Observa-se, contudo, que o perfil do parque hídrico está em transição, pois a expansão deste tem se dado pela construção de hidroelétricas com pouca capacidade de armazenamento. Por consequência, a oferta de energia hidroelétrica irá se tornar cada vez mais sazonal. Esta dificuldade tende a ser acentuada com a crescente participação das fontes eólica e solar na matriz nos próximos anos. Desse modo, a questão da intermitência precisará ser gerenciada diretamente pelas concessionárias distribuidoras de energia elétrica.

Neste sentido, ressalta-se que a flexibilização da demanda pode assumir importância no gerenciamento do sistema, com foco especial às medidas de resposta dinâmica da demanda (*demand response*) que possibilitem atenuar a demanda de ponta do sistema. Em nível de consumidores de grande porte, há hoje tarifas do tipo *Critical Peak Pricing* (CPP). Esta estrutura tarifária apresenta um sinal horário que visa distinguir o horário de ponta em relação aos demais horários, com um preço significativamente mais elevado. Mais recentemente, foi criada a modalidade tarifa branca para consumidores de baixa tensão. Esta estrutura tarifária é do tipo *time-of-use* (ToU) e busca distinguir o preço da energia em termos de horários nos dias úteis. Contudo, a efetividade dessa tarifa requer o emprego de medidores inteligentes, tecnologia ainda não difundida no Brasil [9].

É preciso enfatizar que o desenvolvimento de um sistema de medição inteligente não consiste apenas em instalar medidores inteligentes, vide a necessidade da montagem de uma infraestrutura de comunicação [10]. A questão da rede de comunicação é particularmente delicada no Brasil³. Devido à precariedade das redes das empresas de telecomunicação brasileiras, é comum as distribuidoras serem obrigadas a

¹ Em 2015 o consumo de energia elétrica brasileiro foi de 464,7 TWh. Para 2040 projeta-se um consumo de energia de 1.278 TWh [6].

² Conforme a EPE, até 2040 a demanda por energia elétrica crescerá 150%, enquanto que a demanda por energia crescerá 106% [7].

³ Em linhas gerais, a rede brasileira apresenta reduzida velocidade média e sua latência possui desempenho ruim. Como ilustração, em um estudo comparativo de quarenta países no período 2013-2014, o Brasil ocupou a trigésima sexta posição em termos de velocidade média e a vigésima nona posição no quesito latência [11].

desenvolver suas próprias redes de comunicação. Como consequência, o custo do investimento de sistemas de medição inteligente acaba sendo onerado, dificultando sua implantação.

Em síntese, é possível afirmar que as condicionantes brasileiras para o desenvolvimento de redes inteligentes apontam para ganhos de eficiência e promoção de um sistema mais confiável e de maior qualidade como motivações essenciais. No caso de regiões com perdas não-técnicas elevadas, o combate às mesmas também representa uma importante motivação. Em contrapartida, as limitações de disponibilidade de capital para a realização dos investimentos e a necessidade de ofertar energia a preços módicos se apresentam como barreiras para as redes inteligentes. Cabe destacar, no entanto, que embora a modernização da infraestrutura de distribuição seja fundamental para a melhoria da qualidade do serviço, não são verificados esforços efetivos nesta direção. Em geral, a dificuldade advém do modelo regulatório vigente, que não estimula adequadamente os agentes.

III. POLÍTICAS PÚBLICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE REDES INTELIGENTES

Com base no exposto na seção anterior, é perceptível a necessidade de aprimoramento dos mecanismos de estímulos a redes inteligentes. Mais do que isso, é preciso elaborar políticas de caráter mais incisivo que efetivamente possibilitem o desenvolvimento das tecnologias associadas às redes inteligentes.

Estas políticas devem ter como objetivo a criação de condições propícias à realização de investimentos em redes inteligentes, sendo imperativa a criação de valor para os consumidores e a captura deste valor por parte dos investidores. Ou seja, devem ser adotadas medidas e diretrizes que tornem o desenvolvimento de redes inteligentes algo atrativo para todos os *stakeholders* envolvidos no processo e isso também passa pelo exame da repartição dos custos e benefícios entre os diferentes tipos de agentes. O objetivo desta seção é descrever as oito políticas públicas propostas para o Brasil, concebidas a partir da análise da experiência internacional e considerando os entraves presentes no Brasil para a implementação de redes inteligentes.

A. Roll Out Mandatório de Smart Meters

Trata-se da instalação compulsória de medidores inteligentes em todas as unidades consumidoras com vistas ao estabelecimento de um sistema de medição inteligente. Ao permitir o monitoramento em tempo real, este sistema é de grande relevância para equacionar os desafios associados à difusão da geração distribuída, de medidas de gerenciamento da demanda, de estocagem de energia e, sobretudo, possibilita a adoção de sistemas de tarifação dinâmicos. Em suma, um sistema de medição inteligente dota o sistema elétrico de maior eficiência e confiabilidade.

Porém, embora se vislumbrem benefícios em termos de qualidade e custos do serviço, assim como, no âmbito da operação do sistema elétrico, a instalação de medidores inteligentes impõe novos desafios técnicos, regulatórios,

econômicos e sociais. Desta forma, é preciso considerar os interesses dos diferentes agentes envolvidos. De todo modo, o cerne da questão da viabilidade do *roll out* de *smart meters* está associada aos custos de investimento. Neste sentido, a forma como tais custos serão arcados e a repartição dos benefícios entre os diferentes *stakeholders* acaba por assumir uma enorme importância [12]. No caso brasileiro, é preciso considerar que as deficiências da rede de telecomunicações implicam um elevado custo para essa política.

B. Mudanças Regulatórias que incitem Inovações no Setor Elétrico

A implementação de redes inteligentes requer substanciais investimentos na rede, especialmente nas redes de distribuição. Estes dispêndios estão associados à necessidade de substituição de ativos existentes, implementação de novos dispositivos como sensores e controles e disponibilização de toda uma infraestrutura de informação e comunicação. Dado que a distribuição de energia elétrica é uma atividade regulada, a atratividade destes investimentos passa pelo arcabouço regulatório vigente [13].

O atual marco regulatório apresenta incompatibilidades com as transformações prospectadas para o setor elétrico. Grosso modo, os arcabouços vigentes, na grande maioria dos casos, não incitam os agentes a optarem pela tecnologia mais eficiente por não reconhecerem o investimento. Portanto, com vistas a mitigar as incertezas referentes à base regulatória e à atratividade dos investimentos, propõem-se mudanças regulatórias que induzam a modernização dos sistemas elétricos. Destacam-se o reconhecimento de investimentos na modernização dos ativos e o desenvolvimento de metodologias que permitam remunerar adequadamente tecnologias com maior proporção de OPEX.

C. Aprimoramento dos Projetos de P&D e Demonstração

Embora existam projetos de P&D e de demonstração para redes inteligentes no Brasil, nota-se uma forte dependência dos recursos financeiros do programa da ANEEL. Como consequência, a abrangência e difusão dos projetos tende a ser mais limitada. Concomitantemente, há uma reduzida participação da indústria no processo de desenvolvimento tecnológico. Assim, existem indícios de que os projetos de P&D não estão sendo capazes de incitar a efetiva difusão das inovações. Nestes termos, pode-se destacar a necessidade de maior coordenação dos diferentes projetos e uma maior participação da indústria, com ênfase na execução de projetos de maior dimensão e níveis de maturidade tecnológica. Ao mesmo tempo, seria pertinente a construção de uma base de conhecimento compartilhada que possibilite uma difusão mais contundente dos resultados dos projetos.

Como ilustração da relevância da implementação de projetos com maior nível de maturidade tecnológica, na União Europeia verifica-se dispêndios em projetos de demonstração superiores aos verificados projetos de pesquisa e desenvolvimento. Este exemplo mostra a importância dos projetos de redes inteligentes não ficarem restritos à escala piloto/experimental, mas que efetivamente hajam como elementos indutores de investimentos na modernização da rede através da adoção de inovações tecnológicas [14].

D. Incentivo ao Gerenciamento da Demanda, Geração Distribuída e Estocagem

Apesar de no presente projeto o foco analítico seja redes inteligentes em um sentido estrito (sistemas de mediação inteligentes e automação da rede), reconhece-se a existência de tecnologias/medidas correlatas que em seu conjunto acabam por representar um novo paradigma tecnológico. Em linhas gerais, trata-se da emergência de um sistema caracterizado pela presença de recursos energéticos distribuídos onde os consumidores possam ter um comportamento mais ativo e adotem medidas de gerenciamento da demanda quer através de mecanismos de *feedback* sobre os consumos, quer de resposta a sinais tarifários.

Neste sentido, nota-se que o estabelecimento de tarifas dinâmicas é um elemento central para a realização de investimentos no *roll out* de *smart meters* ser considerada plausível. Isso ocorre porque um dos principais benefícios da difusão de medidores inteligentes e, por consequência, implementação de um sistema de medição inteligente, é a possibilidade do gerenciamento da demanda, especialmente no âmbito das medidas de *demand response*. Dado que a efetividade de tais medidas requer a existência de um modelo de tarifação dinâmica, é notória a relação existente.

Apesar de investimentos em microgeração não serem dependentes da existência de uma rede inteligente, a efetiva difusão de um sistema caracterizado pela presença maciça de recursos energéticos distribuídos requer a presença de redes inteligentes capazes de monitorar todos os fluxos de eletricidade em tempo real. Desta forma, observa-se que o estabelecimento de políticas de incentivo à difusão destas tecnologias/medidas exige o desenvolvimento de redes inteligentes.

Ressalta-se que, em contraste com a microgeração, ainda existe muita incerteza no que se refere às perspectivas da difusão das tecnologias de estocagem em nível das unidades consumidoras. Logo, políticas de incentivos assumem maior importância. Tais políticas devem contemplar desde projetos de pesquisa e desenvolvimento até medidas para inserção no mercado de tecnologias promissoras. Em alguma medida, o mesmo aplica-se aos veículos elétricos, os quais possivelmente representem a opção mais imediata de estocagem de energia através do uso de suas baterias conjugadas com a prática de esquemas de *vehicle to grid*.

E. Padrões de Qualidade para a Indústria de Telecomunicações

A partir da constatação que redes inteligentes possuem como base a aplicação de tecnologias de informação e comunicação, é facilmente compreensível a importância da qualidade da rede de telecomunicações para o seu desenvolvimento. Em suma, é necessária a presença de uma rede de telecomunicações minimamente confiável e eficaz para que seja possível a efetiva implementação de redes inteligentes.

Conforme apresentado na seção II desse artigo, a precariedade da rede de telecomunicações brasileira pode ser considerada como um forte entrave ao desenvolvimento de redes inteligentes no setor elétrico. Isso obriga com que agentes do setor elétrico tenham que se responsabilizar por investimentos nessas redes para dotar o sistema elétrico de inteli-

gência, onerando de forma relevante os projetos de redes inteligentes. Como ilustração do quão dispendiosos podem ser estes custos, os investimentos em redes de telecomunicações podem representar entre 21% e 36% dos gastos totais de um projeto de rede inteligente [15].

Neste contexto, é notória a pertinência de uma melhor regulamentação das relações entre o setor elétrico e o setor de telecomunicações, onde este último tenha que atender a padrões mínimos de qualidade em termos de velocidade do tráfego de dados e de latência. O estabelecimento de padrões mínimos de qualidade para operadores de telecomunicações contribuiria para reduzir a necessidade de investimentos por parte dos agentes do setor elétrico. Tal política é especialmente importante na medida em que tornaria a realização do *roll out* de *smart meters* mais exequível por parte das concessionárias de distribuição de energia elétrica, vide o menor dispêndio que seria requerido para a implementação de sistemas de medição inteligentes.

F. Regulamentação de Novos Modelos de Negócios

As transformações prospectadas para o setor elétrico exigirão a formatação de novos modelos de negócios. Neste sentido, vislumbra-se a presença de novos agentes capazes de oferecer novos produtos e serviços de valor acrescentado, bem como novos produtos e sistemas ou mesmo a exploração de soluções e a prestação de serviços.

Além da existência de regulamentação acerca da atuação destes novos serviços e agentes, nota-se que os ajustes regulatórios neste campo buscam também possibilitar as concessionárias de distribuição de energia elétrica a atuarem em mercados não regulados. Ressalta-se que a emergência de novos agentes e a permissão para concessionárias de distribuição a atuarem em mercados não regulados são tendências já verificadas em países onde as transformações do setor elétrico estão em curso. A questão central é a criação de um arcabouço regulatório que permita e incite a exploração de modelos de negócios compatíveis com o paradigma tecnológico emergente.

G. Plano de Desenvolvimento de Cidades Inteligentes

Em linhas com a necessidade de atender as demandas socioeconômicas contemporâneas sem que isso represente grandes impactos sobre o meio ambiente, o conceito de cidades inteligentes vem ganhando relevância. Embora o desenvolvimento de redes inteligentes consista em um pré-requisito para a implementação de uma cidade inteligente, o conceito dessas cidades é mais amplo, pois busca promover o uso racional e sustentável de todos os recursos. Logo, nota-se a pertinência do uso compartilhado das infraestruturas de comunicação.

Neste sentido, a promulgação de um plano de desenvolvimento de cidades inteligentes incita investimentos em redes inteligentes, não apenas por sua essencialidade, mas também por possibilitar o compartilhamento de infraestruturas com outros operadores de serviços, reduzindo o custo do investimento requerido. Ademais, estes planos permitirão tirar partido de sinergias entre serviços diferentes, por exemplo, potenciando a combinação de programas de eficiência energética com planos de estímulo à mobilidade elétrica

ca em transportes urbanos.

H. Política Nacional de Desenvolvimento da Indústria de Redes Inteligentes

Com vistas a fazer com que o desenvolvimento de redes inteligentes propicie benefícios macroeconômicos para o país, verifica-se a relevância de capacitar a indústria nacional para que a mesma seja capaz de suprir o mercado interno. No âmbito desta estratégia, a exportação de bens e serviços também deve ser considerada, sendo um importante driver para o desenvolvimento de redes inteligentes.

Logo, propõe-se um conjunto de estímulos financeiros, os quais seriam gradativamente reduzidos, para o desenvolvimento industrial. Por exemplo, é possível vislumbrar-se a adoção de incentivos tributários e fiscais que decresçam conforme a indústria se desenvolva. Em paralelo, ressalta-se a importância de condições de financiamento atrativas para a realização de investimentos em fábricas produtoras de equipamentos. Além desses incentivos financeiros, considera-se a elaboração de normas que incitem um maior nível de atividade de pesquisa e desenvolvimento em nível da cadeia produtiva. Estes estímulos devem estar focados nos nichos de mercado onde o país apresenta maiores potencialidade/capacidades endógenas.

No âmbito de parcerias internacionais, o estabelecimento de acordos comerciais que possibilitem o Brasil exportar equipamentos onde possua vantagens competitivas, assim como a importação de equipamentos que a indústria nacional não seja capaz de ofertar, é extremamente relevante. Neste contexto destaca-se a importância do estabelecimento de normas, padrões e interoperabilidade compatíveis com as melhores práticas internacionais, de forma a possibilitar empresas brasileiras competirem no comércio internacional.

IV. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE REDES INTELIGENTES

A complexidade do estudo das inovações tecnológicas e das políticas de incentivo associadas advém, sobretudo, da necessidade de contemplar nos modelos de avaliação aspectos de natureza distinta e não comensurável (tecnológica, econômica, financeira, social, regulatória), sendo muitas das variáveis envolvidas de natureza intangível. Assim, estes modelos devem permitir contemplar explicitamente múltiplos critérios de avaliação das políticas de acordo com as diferentes perspectivas dos potenciais decisores, de modo a auxiliar processos bem informados de apoio à tomada de decisões, tornando claros os compromissos a estabelecer entre essas múltiplas perspectivas de avaliação.

Para a definição dos critérios de avaliação das políticas públicas, partiu-se de uma nuvem dispersa de assuntos inicialmente elencados como potenciais preocupações e objetivos. A categorização destes assuntos permitiu propor uma lista de sete objetivos fundamentais, alinhados com as prioridades estabelecidas para a inovação tecnológica no setor elétrico, apresentados a seguir.

A. Objetivo 1 - Beneficiar o Ambiente e a Saúde Humana

Um dos aspectos mais frequentemente citados na discussão sobre inovação tecnológica no setor elétrico é a redução da dependência de combustíveis fósseis e sua progressiva substituição por energias renováveis. Trata-se de um objetivo-meio que visa primordialmente um objetivo fundamental que é beneficiar o meio ambiente. Optou-se por definir esse objetivo de forma a abranger outros impactos na vida animal e na saúde humana.

B. Objetivo 2 - Aumentar a Flexibilidade e Capacidades da Infraestrutura Tecnológica do Sistema Elétrico

O desenvolvimento de redes inteligentes é visto como uma oportunidade para modernizar um sistema elétrico a carecer de renovação, bem como para dotar o sistema elétrico de capacidades técnicas para melhorar e tornar mais flexível o seu funcionamento. Um sistema elétrico com infraestrutura mais capaz contribui para múltiplos propósitos.

C. Objetivo 3 - Assegurar Segurança do Abastecimento

Outro desiderato que se procura com a modernização do sistema elétrico está relacionado com a capacidade de assegurar que a demanda seja satisfeita com baixos riscos de perturbação, seja por riscos técnicos (confiabilidade), seja por riscos políticos (dependência externa).

D. Objetivo 4 - Assegurar Abertura, Equidade, Transparência e Eficiência dos Mercados de Energia Elétrica

A inovação tecnológica também é vista como uma oportunidade para transformar os mercados de energia elétrica, correspondendo aos anseios das partes interessadas. Almeja-se alcançar um mercado mais aberto e eficiente, que possa propiciar uma sã concorrência entre os agentes, e que ao mesmo tempo assegure a equidade e igualdade de oportunidades entre eles.

E. Objetivo 5 - Proporcionar Benefício Financeiro para os Agentes Envolvidos

Este é um aspecto onipresente para estimular o envolvimento de agentes econômicos. Na generalidade dos modelos de avaliação multicritério surgem critérios como o lucro, ou outro indicador, como um fim em si mesmo. Este benefício traduz a necessidade de tornar o investimento em inovação tecnológica interessante para os agentes envolvidos, para que estes aceitem investir nessas inovações.

F. Objetivo 6 - Proporcionar Benefício Econômico e Social para o País

Também de natureza econômica, inclui ainda preocupações sociais. Demonstra o interesse em que o desenvolvimento tecnológico possa contribuir para beneficiar o país que o promove. Trata-se de um objetivo, sobretudo, para o decisor político, mas que potencialmente beneficia todos os agentes de forma indireta.

G. Objetivo 7 - Assegurar Exequibilidade e Fomentar Adoção das Inovações Tecnológicas

Por muitos benefícios que uma inovação possa trazer, estes de nada valerão se a inovação não for adotada. Mesmo que estejam assegurados benefícios de ordem ambiental,

financeira e técnica, poderão subsistir barreiras que impeçam o sucesso de projetos. Este objetivo compreende a capacidade de vencer todos os fatores que poderão constituir uma barreira às inovações propostas.

V. MÉTODO DELPHI

Com vistas a parametrizar o modelo de análise multicritério e analisar as políticas públicas propostas, foi elaborado um questionário do tipo Delphi. O objetivo desta seção é introduzir a metodologia Delphi e esclarecer como a pesquisa foi realizada.

A. Metodologia

O objetivo original da metodologia Delphi é obter o mais preciso e realista consenso acerca de uma dada problemática a partir da opinião de um grupo de especialistas. O método Delphi consiste em uma ferramenta de apoio para o planejamento em situações de carência de dados históricos ou nas quais se pretende estimular a criação de novas ideias. Assim, “o Delphi poderá se mostrar muito útil quando se quiser realizar uma análise qualitativa do mercado, permitindo que se projetem tendências futuras em face de descontinuidades tecnológicas e mudanças socioeconômicas” [16]. O método é aplicado por meio de um questionário que circula continuamente até que seja obtida uma convergência satisfatória das respostas, ou seja, um relativo consenso que representa uma consolidação do julgamento intuitivo do grupo de especialistas.

A sequência básica da aplicação do método Delphi se inicia pela elaboração do questionário. De forma geral, busca-se a aplicação de perguntas quantitativas de simples preenchimento. O passo seguinte consiste na seleção dos especialistas que participarão da pesquisa. Cabe ressaltar que o grupo de especialistas deve possuir uma distribuição equilibrada e representativa do setor em questão. Para que seja satisfatória, ao menos 10 especialistas devem participar da pesquisa [17]. Para aqueles que concordarem em participar do estudo é enviado o formulário 1. Terminada a primeira rodada, com a devolução das respostas, procede-se com a tabulação e análise dos resultados, onde se calculam alguns indicadores de estatística descritiva. Essas informações deverão ser fornecidas no questionário 2, com as mesmas questões anteriores. Assim, o especialista tem a possibilidade de rever suas respostas face à tendência do grupo. A partir do segundo questionário as rodadas se sucedem até que seja atingido um grau satisfatório de convergência.

B. Aplicação

Dentro do escopo deste projeto de P&D, optou-se pela adoção do método Delphi em dois ciclos, com possibilidade de uma terceira rodada caso esta fosse necessária. A primeira fase da pesquisa foi composta pela identificação dos especialistas que seriam convidados e pela elaboração do questionário 1. Na segunda fase procedeu-se com o convite efetivo de 64 especialistas e o envio do questionário 1. Após o recebimento das respostas dos especialistas, deu-se início à terceira fase, na qual os resultados foram tabulados e inseridos

no questionário 2 para reenvio. A quarta fase foi composta pela apuração dos resultados finais.

Na primeira fase, identificou-se, a partir de sólido e relevante *network* do setor elétrico, uma lista com 64 especialistas no tema, para os quais foram enviados os convites iniciais. Nesta etapa, houve grande preocupação com a diversificação dos especialistas, estendendo o convite às áreas de conhecimento (academia e consultoria), de empresas e do governo. Dos 64 convidados, 35 participaram do primeiro questionário. Da primeira para a segunda rodada, houve desistência de mais 7 especialistas, dentro do que a literatura aponta como aceitável.

As perguntas elaboradas para o questionário 1 visavam obter a opinião dos especialistas acerca da importância de cada política pública proposta na seção anterior, tendo em vista cada objetivo (separadamente). Além dessas sete perguntas (uma para cada objetivo), a pesquisa contemplou uma pergunta que avaliava a importância relativa de cada objetivo. Uma última questão foi elaborada para identificar se alguma política pública poderia ser vetada de ser implementada por ter recebido uma nota muito ruim em alguma das questões anteriores, mesmo que obtivesse notas muito boas nas demais avaliações.

O questionário 2, devido à natureza do método Delphi, contemplou algumas informações estatísticas dos resultados obtidos no questionário 1. Optou-se por fornecer a média aritmética das respostas, bem como o desvio padrão e um gráfico-resumo dessas informações. Após a devolução do questionário 2, a equipe coordenadora julgou que as respostas já contemplavam um grau satisfatório de convergência, tornando dispensável uma possível terceira rodada do questionário.

Os resultados obtidos na pesquisa Delphi, a partir do conhecimento de especialistas da área, serviram para parametrizar a análise multicritério aplicada para avaliar o desempenho das diversas políticas, abordada na seção seguinte.

VI. ANÁLISE MULTICRITÉRIO

O ferramental de avaliação multicritério permite constituir uma base para o diálogo entre os decisores ao incluir no modelo todos os objetivos fundamentais das diferentes partes interessadas (*stakeholders*). Desta forma, contribui para fomentar a participação ativa das diferentes partes e, por consequência, para a aceitação dos resultados. Observa-se assim que a adoção do paradigma de avaliação multicritério convida os decisores a encarar cada solução como um possível compromisso entre objetivos em conflito.

As etapas anteriores do projeto introduziram o conjunto de objetivos fundamentais que comandaram a avaliação das diferentes políticas. Seguindo recomendações, começou-se por identificar os critérios, depois se identificaram as alternativas e por fim procedeu-se a avaliação [18]. O objetivo desta seção é justamente a avaliar as políticas propostas através do modelo multicritério desenvolvido e com base nos *inputs* derivados da pesquisa Delphi.

A. Metodologia, Aplicação e Resultados

Os autores Roy e Bouyssou apresentam diferentes opções de formulação da questão a que se pretende responder no contexto de uma situação de decisão [19], [20]. Os autores distinguem as problemáticas de escolha, ordenação e classificação. Em linhas gerais, a problemática de escolha (ou de seleção) visa a recomendação da escolha da melhor alternativa de entre um conjunto. Seria uma problemática a ter em conta caso o problema fosse eleger uma única ação de incentivo às inovações tecnológicas no setor elétrico. Porém, as ações de incentivo que podem ser implementadas não são exclusivas umas das outras, pelo que poderão ser implementadas várias delas. Em contrapartida, embora a problemática de escolher a melhor combinação de ações (o melhor portfólio) seja adequada, é muito mais complexa e requer o conhecimento das dotações de recursos. Por sua vez, a problemática de ordenação merece especial atenção por visar recomendar a ordenação das alternativas, da mais preferida para a menos preferida. Já a problemática da classificação visa enquadrar as alternativas em termos de diferentes categorias de mérito predefinidas [19], [20].

No presente projeto, a opção foi pela adoção da problemática da classificação, pois a mesma revela-se a mais adequada, vide ser aquela que permite avaliar as políticas pelos seus méritos em termos absolutos (i.e., sem ser em comparação com as outras políticas) [19]. Foi ainda proposta uma ordenação das políticas dentro de cada categoria.

A equipe do projeto optou por definir quatro categorias principais de classificações das políticas. A categoria C1 indica uma política ‘não interessante’, cuja implementação conduziria a uma situação, em termos globais, igual ou pior do que a situação atual. A categoria C2 indica uma situação de ‘baixa prioridade’, ou seja, uma política cuja implementação conduziria a uma situação que, em termos globais, seria apenas um pouco melhor do que a situação atual. A categoria C3 aponta uma política boa, de ‘prioridade elevada’, cuja implementação contribuiria claramente, em termos globais, para melhorar a situação atual. A categoria C4, por sua vez, revela uma política muito boa cuja implementação conduziria a uma situação, em termos globais, muito melhor do que a situação atual. Tratam-se de política com ‘prioridade máxima’ de implementação.

A credibilidade de cada política atingir cada categoria depende de parâmetros que não foram fixados de forma exata: o peso dos critérios e o limiar de corte. Existindo incerteza acerca do valor de parâmetros importantes como estes, é possível considerar múltiplos vetores para esses valores ao invés de um único. Assim, podem-se calcular os resultados compatíveis com a possível variação desses parâmetros. Para ter uma ideia sobre todas as classificações que podem ser alcançadas, utilizou-se uma análise estocástica do tipo SMAA [21]. Nesta análise permitiu-se que os pesos dos critérios pudessem assumir quaisquer valores no intervalo [0, 1], apenas restringindo-se que a soma dos pesos fosse a unidade. Quanto ao limiar de corte, que indica o nível de credibilidade exigido para validar uma conclusão, a restrição foi de ser superior a 0,5.

A aplicação do modelo gerou as possibilidades de classi-

ficação de cada política pública entre as categorias C1 e C4. A partir destes resultados, constatou-se que todas as políticas avaliadas são interessantes, pois se enquadraram nas categorias C3 ou C4, tendo mérito para serem aplicadas. Houve, contudo, diferentes apreciações acerca da sua prioridade. Algumas políticas foram classificadas de forma muito robusta na categoria C3, enquanto outras, também de forma robusta, se classificaram na categoria C4. Outras políticas, no entanto, estão numa situação intermédia, pois uma proporção significativa de vetores de pesos as colocaram em C3, enquanto uma proporção igualmente significativa de vetores de pesos as colocaram em C4. Estas políticas foram classificadas como tendo prioridade elevada. Estas conclusões estão sumariadas na Tabela I.

Tabela I. Classificação das alternativas de políticas.

Políticas	Classificação
P1 - Roll Out Smart Meters	Prioridade
P2 - Mudanças Regulatórias	Prioridade elevada
P3 - Projetos de P&D e Demo	Prioridade
P4 - Gerenciamento da Demanda	Prioridade máxima
P5 - Padrões para Telecom	Prioridade
P6 - Novos Modelos Negócios	Prioridade elevada
P7 - Cidades Inteligentes	Prioridade elevada
P8 - Política Redes Inteligentes	Prioridade

A dependência da classificação em função do limiar de corte pode ser observada de forma mais detalhada utilizando uma análise de robustez. Esta análise de robustez pode complementar de forma virtuosa a análise estocástica [22], permitindo elaborar uma ordenação das políticas pertencentes a cada categoria, conforme ilustra a Tabela II.

Tabela II. Ordenação das alternativas de políticas.

Políticas	Ranking
P4 - Gerenciamento da Demanda	1°
P2 - Mudanças Regulatórias	2°
P6 - Novos Modelos Negócios	3°
P7 - Cidades Inteligentes	4°
P3 - Projetos de P&D e Demo	5° / 6°
P8 - Política Redes Inteligentes	5° / 6°
P5 - Padrões para Telecom	7°
P1 - Roll Out Smart Meters	8°

VII. CONCLUSÕES

O objetivo central deste projeto de pesquisa e desenvolvimento é avaliar as diversas políticas propostas para o desenvolvimento das redes inteligentes no Brasil, tendo em vista os diferentes objetivos/critérios que as condicionam. Partindo-se de um questionário Delphi, consultando-se ao todo 28 especialistas no tema, aplicou-se um modelo de avaliação multicritério, parametrizado pelas respostas obtidas

nessa pesquisa. Os resultados gerados pela aplicação desse modelo permitiram classificar as políticas em termos de sua prioridade de adoção. Uma primeira e importante conclusão refere-se ao fato de que todas as políticas públicas obtiveram êxito ao serem consideradas como prioritárias, apesar de possuírem níveis de prioridade distintos. O modelo permitiu ainda ordenar as políticas dentro de cada categoria. Esse ordenamento possibilitou a realização de um *ranking* relativo entre as políticas, ou seja, indicar de forma explícita quais são as políticas mais prioritárias e as menos prioritárias comparativamente.

Como resultado aplicado do projeto de P&D intitulado “Avaliação de Políticas e Ações de Incentivo às Inovações Tecnológicas no Setor Elétrico: análise da experiência internacional e propostas para o Brasil”, obteve-se a indicação de que a política de ‘incentivo ao gerenciamento da demanda, geração distribuída e estocagem’ foi classificada como a mais prioritária para adoção (prioridade máxima), se mostrando, segundo avaliação dos especialistas, a melhor das políticas. Cabe destacar as posições das políticas de ‘mudanças regulatórias que incitem inovações no setor elétrico’, de ‘regulamentação de novos modelos de negócios’ e de ‘plano de desenvolvimento de cidades inteligentes’, que aparecem, respectivamente, como segunda, terceira e quarta melhores políticas, possuindo alta prioridade de adoção.

As demais políticas públicas, apesar de apresentarem alguma prioridade de implementação, foram classificadas como menos prioritárias em detrimento das quatro primeiras políticas. Deve-se ressaltar que o fato de possuírem prioridade de implementação, mesmo que em menor contundência do que as demais, implica que suas adoções melhoram a situação atual. Ou seja, todas as políticas avaliadas nesse projeto apresentam uma clara indicação de que devem ser adotadas. Outra importante conclusão refere-se ao fato de que, apesar de amplamente adotada ao redor do mundo, a política de *roll out* compulsório de medidores inteligentes ficou classificada como a menos adequada ao caso brasileiro dentre todas as políticas públicas avaliadas.

É importante destacar que o projeto de P&D conduzido abre a possibilidade de se realizar novas pesquisas complementares ao trabalho desenvolvido. Por exemplo, é possível realizar a mesma pesquisa com uma amostra de especialistas maior do que a utilizada neste projeto no questionário Delphi. Isso permitiria a obtenção de resultados ainda mais robustos, capazes de refletir com maior precisão a realidade do setor elétrico brasileiro. Outro desdobramento possível seria a segmentação da pesquisa sob diferentes perspectivas, e não apenas de forma agregada conforme a apresentada. Por exemplo, com uma amostra maior e ainda mais representativa do setor em questão, é possível segmentar os resultados sob a ótica das empresas, do governo ou do conhecimento (academia e consultoria). Esses resultados seriam mais adequados para revelar a impressão de cada segmento/área sob as políticas públicas mais adequadas para o desenvolvimento das redes inteligentes no Brasil.

VIII. AGRADECIMENTOS

A ANEEL pelas reuniões de discussão sobre o tema, A ERSE (entidade reguladora dos serviços energéticos Portuguesa) pela realização de workshop internacional sobre o tema, Bundesnetzagentur, regulador Alemão, e as empresas EDF/ERDF, e ENEL e o centro de pesquisas alemão E.ON, pelo suporte nas pesquisas internacionais;

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OECD, "Economic Surveys Brazil", Economics Department, OECD, Paris, Nov. 2015.
- [2] MME e EPE, "Balanço Energético Nacional 2015: Relatório Síntese - ano base 2014" EPE – Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2015.
- [3] ABRADÉE, "Perdas na Distribuição: Baixa Tensão, Altos Prejuízos" Reportagem Especial Canal Energia, Rio de Janeiro, Out. 2013.
- [4] L. Carvalho, D. Kupfer, "Diversificação ou Especialização: uma Análise do Processo de Mudança Estrutural da Indústria Brasileira", *Rev. Econ. Polit.*, [s.l.], v. 31, n. 4, p.618-637, dez. 2011.
- [5] J. E. Cassiolato, "Evolution and Dynamics of the Brazilian National System of Innovation", in Shome, P. & Sharma, P. (eds.) *Emerging Economies*: Springer India, pp. 265-310, 2015.
- [6] EPE, "Estudos da Demanda de Energia: Nota Técnica DEA 13/14". *Empresa de Pesquisa Energética*: Brasília, 2014.
- [7] EPE, "Estudos da Demanda de Energia: Nota Técnica DEA 13/15". *Empresa de Pesquisa Energética*: Brasília, 2016.
- [8] J. J. M. Galo, M. N. Q. Macedo, L. A. L. Almeida e A. C. C. Lima, "Criteria for Smart Grid Deployment in Brazil by Applying the Delphi Method". *Energy*, [s.l.], v. 70, p.605-611, jun. 2014.
- [9] M. Daoud, X. Fernando, "On the Communication Requirements for the Smart Grid". *Energy And Power Engineering*, [s.l.], v. 03, n. 01, p.53-60, 2011.
- [10] D. Mohamed; F. Xavier, "On the Communication Requirements for the Smart Grid. *Energy And Power Engineering*", *Scientific Research*, [s.l.], v. 03, n. 01, p.53-60, 2011.
- [11] FCC, "International Broadband Data Report (Fifth)", *Federal Communications Commission*, DA 16-97, Washington, Jan. 2016.
- [12] G. Cervigni e P. Larouche, "Regulating Smart Metering in Europe: Technological, Economic and Legal Challenges", *Centre on Regulation in Europe*, Brussels, Mar. 2014.
- [13] C. Cambini, A. Meletiou, E. Bompard, M. Masera, "Market and Regulatory Factors Influencing Smart-Grid Investment in Europe: Evidence from Pilot Projects and Implications for Reform", *Utilities Policy*, [s.l.], v. 40, p.36-47, jun. 2016.
- [14] European Commission, "Cost-Benefit Analyses & State of Play of Smart Metering Deployment in the EU-27", *European Commission*, SWD(2014) 189 final, Brussels, Jun. 2014.
- [15] ABDI, "Mapeamento da Cadeia Fornecedora de TIC e de seus Produtos e Serviços para Redes Elétricas Inteligentes (REI)", *Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial*, Brasília: ABDI, 2016.
- [16] J. T. C. Wright e R. A. Giovinazzo, "Delphi – Uma Ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo", *Caderno de Pesquisas em Administração*, São Paulo, v. 01, n°12, 2° trim. 2000.
- [17] M. R. Geist, "Using the Delphi Method to Engage Stakeholders: A Comparison of Two Studies." *Evaluation and Program Planning*, [s.l.], v. 33, n. 2, p.147-154, mai. 2010.
- [18] R. Keeney, "Value-focused Thinking: a Path to Creative Decisionmaking", 1st ed., vol. 1, *Ed. Cambridge: Harvard University Press*, 1996, pp. 432.
- [19] B. Roy e D. Bouyssou, "Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas", 1st ed., vol. 1, *Ed. Paris: Economica*, 1993, pp. 695.
- [20] S. B. Mena, "Introduction aux Méthodes Multicritères d'aide à la Décision", *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, v. 02, p. 83-93, 2000.
- [21] T. Tervonen e R. Lahdelma, "Implementing stochastic Multicriteria Acceptability Analysis", *European Journal of Operational Research*, [s.l.], v. 178, n. 2, p.500-513, abr. 2007.
- [22] M. Kadzinski e T. Tervonen, "Robust Multi-Criteria Ranking with Additive Value Models and Holistic Pair-Wise Preference Statements", *European Journal of Operational Research*, [s.l.], v. 228, n. 1, p.169-180, jul. 2013.