

Análise envoltória da curva de carga brasileira em 2050 e do papel da microgeração fotovoltaica distribuída

Camila Stefanello, Grasielly Bruna Vincenzi, Evandro André Konopatzki, Leandro Pasa, Carine Cristiane M. U. Pasa

Resumo: A busca pelo desenvolvimento e ampliação da matriz energética nacional de forma sustentável corrobora para o potencial uso da geração fotovoltaica. Os altos índices de irradiação solar no Brasil e a representatividade da demanda energética do setor residencial tornam a microgeração distribuída uma alternativa estratégica tanto para consumidores que buscam diminuição no valor da fatura de energia elétrica, quanto para o Estado que pode ser desonerado do investimento em infraestrutura elétrica. O crescimento da demanda por eletricidade é um dos índices que norteiam a descentralização da geração, com a taxa de crescimento da demanda nacional até o final do período estimada em 3,2% a.a.. Neste cenário a demanda totalitária tende a ser três vezes maior que atual e a microgeração fotovoltaica distribuída (MFD) mostra-se capaz de abater 72,22% do montante da demanda residencial projetada. Mas tal expressividade - e consequentemente a consolidação da mesma - está condicionada à abertura de mercado, através de regulamentações estáveis, políticas públicas e programas de incentivos fiscais e de investimentos que garantam indicadores econômicos favoráveis ao seu investimento.

Palavra-chave: Geração distribuída, Energia fotovoltaica, Curva de carga, Planejamento energético 2050, Setor residencial.

Envelopment Analysis of the Brazilian load curve in 2050 and the role of distributed photovoltaic microgeneration

Abstract: The search for the development and expansion of the national energy matrix in a sustainable way corroborates the potential use of photovoltaic generation, as well as the high rates of solar irradiation in Brazil and the representativeness of the residential sector of demand. The distributed microgeneration is a strategic alternative for consumers seeking to decrease the value of electricity bills, as for the State that can be dismissed of the electric infrastructure investment. The demand growth for electricity is one of the indicators that guide the generation decentralization, with the growth rate of national demand until the end of the period estimated at are of 3.2% p.y.. The national demand growth rates until the end of the period is of 3,2% p.y., value that represents a totalitarian demand trice bigger than the present one. In concordance the distributed generation has potential to shoot down 72,22% of the amount of projected residential demand. But such expressiveness-and consequent consolidation of the same-is conditional on market opening, through stable regulations, public policies and programs of tax incentives and investments that ensure economic indicators favorable to their investment.

Key-word: Distributed generation, Photovoltaic energy, Load curve, Energy planning 2050, Residential sector.

1. Introdução

O crescente aumento da demanda por energia elétrica é uma realidade estruturada no esteio do desenvolvimento industrial, comercial e da manutenção da qualidade de vida ofertada à população.

População esta, que no Brasil segundo a Projeção da População do Brasil e das Unidades da Federação (IBGE, 2019), deve se aproximar dos 233 milhões de habitantes em 2050.

A taxa de crescimento populacional anual esteve sobre sucessivas quedas desde os anos 70, característica que se mantém até hoje. Por outro lado, as mudanças no perfil residencial no período foram significativamente superiores, de modo que o decréscimo percentual das taxas de crescimento não impactasse de forma negativa na variação do consumo. A alternância de fontes energéticas no setor residencial, destaca principalmente a inversão do uso da lenha para a energia elétrica, atualmente, principal fonte energética do setor, Figura 1.

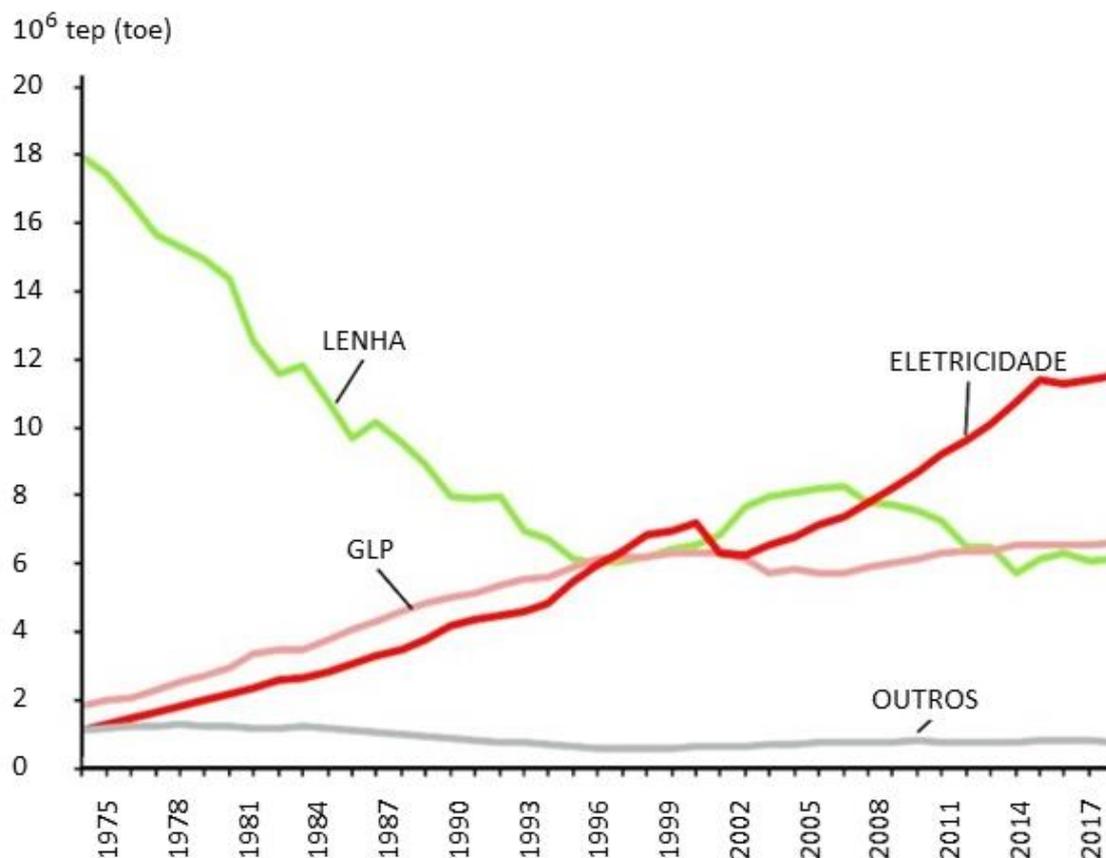


Figura 1 – Gráfico de consumo final no setor residencial (EPE, 2018).

Tais indicadores são relevantes quando atrelados a diminuição do número de pessoas por residência em 2050, ao aumento de mais de 39 milhões de domicílios e acrescidos pela duplicação do consumo por unidade residencial no mesmo período (EPE, 2018).

A evolução da cadeia energética de modo que a mesma venha a suprir tal demanda crescente, está diretamente atrelada ao desenvolvimento de uma reestruturação em níveis técnico, regulamentário e comercial do setor de energia elétrica. A necessidade de investimento em geração, consequência do aumento da demanda, cria premência de alternativas energéticas estratégicas, técnica e financeiramente, além de sustentáveis, a fim de não só suprir a demanda mas acrescer dinamismo mercadológico ao setor energético e diversificação energética.

O setor elétrico está testemunhando talvez, a transformação mais significativa desde a sua concepção. O planejamento, em todas as escalas temporais, é indispensável ao propósito de

prover cenários favoráveis ao desenvolvimento e consolidação das novas tecnologias e regulamentações energéticas, como é o caso da geração distribuída fotovoltaica.

A projeção a períodos mais longos, neste caso a 2050, corrobora não só para o conhecimento da demanda nacional mas também setorial, evidenciando a relevância de análises de viabilidade para que as alternativas sejam distintas de acordo com cada perfil setorial de consumidor e de caráter mais efetivo de aplicação.

Nestes termos a microgeração distribuída fotovoltaica, tem sua consolidação associada de forma mais natural e eficiente através do setor residencial. A significância de tal correlação está na potencialidade do setor, que atualmente abrange cerca de 29% do consumo brasileiro de energia elétrica (MME, 2018), e tende a se manter no período de estudo.

O objetivo deste estudo foi verificar o papel da implantação da microgeração fotovoltaica distribuída como elemento envoltório da curva de carga brasileira projetada a 2050, em perfil totalitário do setor residencial, como geradora complementar e flexibilizadora de outras fontes de geração de energia elétrica.

2. Perfil brasileiro de consumo e demanda de energia elétrica

O crescimento econômico de um país está vinculado à disponibilidade de insumos para o processo produtivo com ênfase à terra, ao capital e à energia (FERREIRA NETO, CORREA, & PEROBELLI, 2016). Por abrangência socioeconômica a energia elétrica, especificamente, é de fundamental importância ao desenvolvimento de um país. Mas compreender a interação dinâmica dos mercados de energia, tecnologia e política nunca foi tão emblemático quanto atualmente.

Mundialmente, e em amplos intervalos de escala de desenvolvimento, países destacam uma crescente demanda por eletricidade fundamentada pelo crescimento e renovação das atividades e modais industriais, comerciais e pelo aumento da eletrificação residencial.

Conceitualmente crescimento e desenvolvimento econômico, são discutidos sob diferentes bases argumentativas. A relação entre consumo de energia e crescimento econômico tem impactos na cadeia produtiva, mesmo que não em definições econômicas específicas, de casualidade, relação bivariada ou multifuncional (FERREIRA NETO, CORREA, & PEROBELLI, 2016). Os impactos são refletidos em todos os níveis dessa cadeia, bem como na capacidade da população de adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados.

A demanda de energia elétrica é entendida como o consumo de energia elétrica, de representação temporal e geograficamente específica, denominada curva de carga. Em termos operacionais, um sistema tende a mais efetiva operacionalidade quando apresenta um comportamento constante na sua curva diária, quanto menos picos a curva apresentar mais distribuída é a carga, o que ocasiona demandas médias mais próximas das máximas, denotando maior eficiência nas instalações elétricas e possibilitando um dimensionamento mais otimizado do parque de geração.

A essencialidade deste parâmetro de acompanhamento se apresenta tanto em níveis de planejamento quanto de operação dos sistemas elétricos de potência, visto que toda a energia gerada é de consumo instantâneo, o que implica na necessidade da geração equivalente aos picos máximos da demanda identificados pelo sistema. Os avanços tecnológicos em torno de

equipamentos e sistemas de armazenamento de energia são existentes mas ainda economicamente desproporcionais à implantação (OLIVEIRA, 2013).

3. Matriz energética brasileira e política nacional de geração

Historicamente no Brasil, a eletricidade tem se destacado dentre as fontes energéticas, adquirindo uma crescente representatividade. Tal crescimento tende a ser evidenciado, em concordância com outros países em desenvolvimento, pela redução do uso de combustíveis fósseis na matriz energética (EPE, 2018).

Segundo o Balanço Energético Nacional (2018), o Brasil apresentou o consumo anual de 467 TWh, sendo em montante um dos dez países que mais consomem energia elétrica no mundo, um índice ainda mais relevante quando atrelado a projeção de crescimento da demanda por eletricidade de 158% prevista para 2050, como pode ser observado através da curva de carga diária com o cenário de crescimento da demanda apresentado no Plano Nacional de Energia de 2050 (PNE 2050), Figura 2. O índice de crescimento anual da demanda nacional por energia elétrica, é de 3,2% a.a. em projeção até 2050 (MME, 2014).

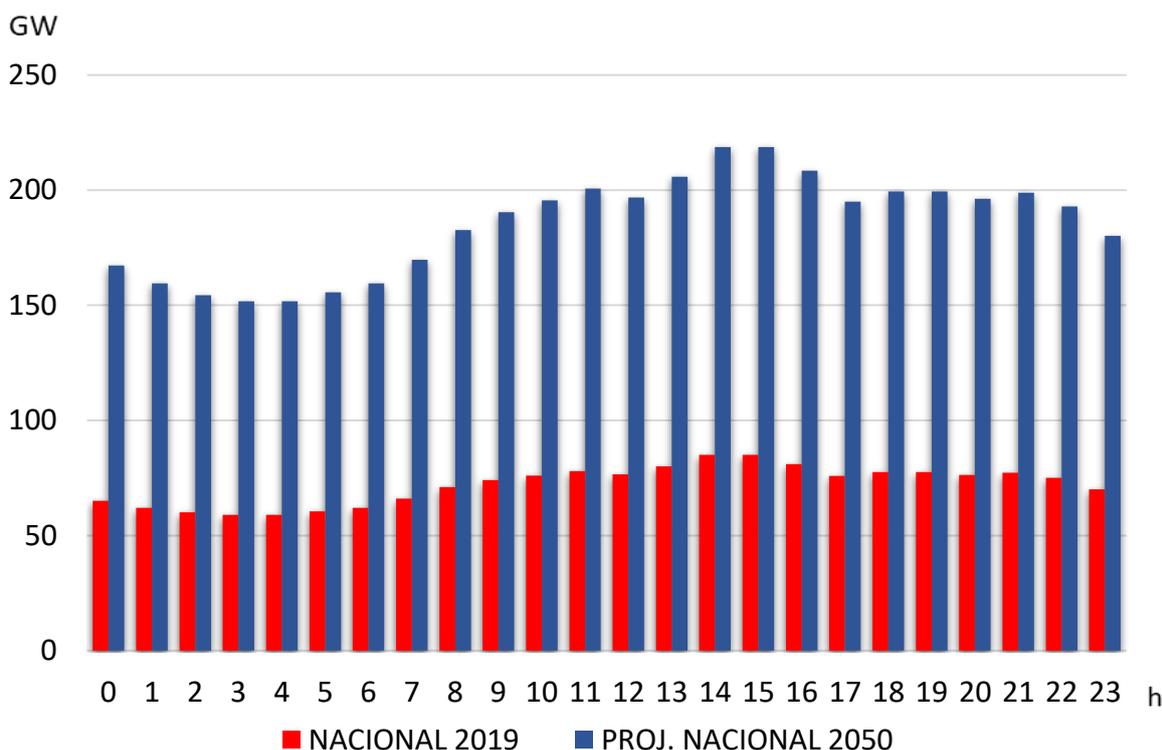


Figura 2 – Projeção comparativa das curvas de carga diárias de 2019 e 2050.

Não há conformidade de demanda em longos períodos, nem a garantia que as demandas máximas horárias se mantenham, por outro lado o crescimento é factual e tende a manter o mesmo perfil caso não hajam alterações significativas no cenário socio-econômico brasileiro. Segundo PNE 2050 (2014), em montante, a demanda nacional tende a triplicar no final do período de estudo.

Inevitáveis questionamentos surgem em decorrência da necessidade da construção de alternativas energéticas estratégicas que norteiem o desenvolvimento da gestão dos recursos naturais, a fim de propiciar o atendimento desta demanda crescente já projetada, de modo a atender não só a descentralização da matriz energética por meio de fontes renováveis e ambientalmente corretas, mas garantindo a qualidade e confiabilidade em energia, características estratégicas à um setor elétrico eficiente (STEFANELLO, LIONÇO, & MARANGONI, 2018).

As hidrelétricas são atualmente responsáveis por cerca de 64% da matriz energética nacional, a expansão da geração de eletricidade por novas usinas hidrelétricas, no entanto, está adstrita a processos antagônicos e licenças ambientais cada vez mais burocráticas além de um padrão geográfico remoto (MME, 2018).

A grande disponibilidade brasileira de recursos naturais possibilita o atendimento da demanda a partir de alternativas renováveis evidenciando majoritariamente as fontes geradoras eólica e solar. Tal disponibilidade corrobora à manutenção da matriz energética nacional a partir de fontes de geração consideradas limpas.

Os Cenários de Demanda para o Planejamento Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) (EPE, 2018), destacam que os caminhos que permeiam o atendimento da demanda são singularizados: O Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD) e a expansão da oferta. O primeiro, é fundamentado na eficiência energética, enquanto o segundo se consolida na geração centralizada através das fontes hídrica, térmica, nuclear, eólica e solar, e na geração distribuída e autônoma.

Segundo a nota técnica intitulada “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira” publicada em 2012 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a inserção fotovoltaica estaria mais próxima da realização de forma espontânea por meio da geração distribuída, especialmente na autoprodução residencial e comercial, dada a eminência da paridade tarifária (MME, 2014).

De iniciativa conjunta e com intento comercial, de consciência socioambiental e autosustentabilidade, a Resolução Normativa nº 482/2012 ANEEL, que outorga o consumidor a gerar energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, incluso a injeção de excedente à rede sob o sistema de compensação de créditos foi o marco regulatório que oportunizou a abertura de mercado bem como a expansão da implantação da tecnologia solar fotovoltaica em âmbito nacional.

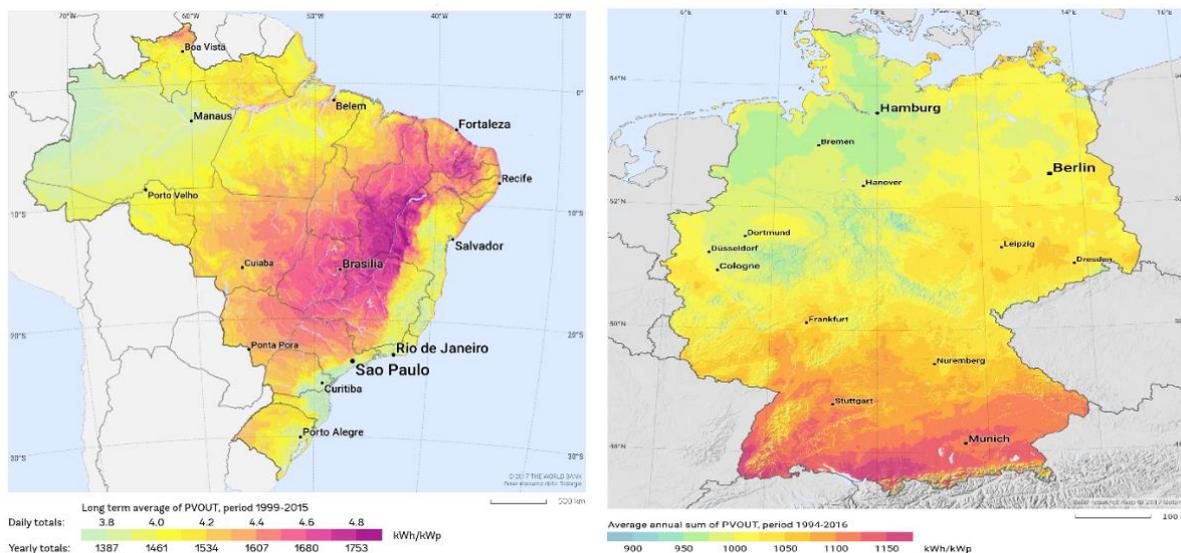
Por meio desta e suas emendas, define-se que unidades geradoras de energia elétrica com potência menor ou igual a 75 kW e que utilizem cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis serão enquadradas como microgeradoras (ANEEL, 2012). A regulamentação contempla ainda, as exigências à conexão e regulamentação técnica, manutenção, abrangendo de forma ampla direitos e deveres de consumidores e concessionárias.

4. Incentivo governamental para geração distribuída

Os estímulos à geração distribuída fundamentam-se na contribuição potencial e nos benefícios de tal modalidade não só ao sistema elétrico mas também na flexibilização do setor

energético, em termos de geração. Entre os benefícios estão o adiamento do investimento na expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução do carregamento das redes de transmissão e distribuição, a minimização das perdas relacionadas ao consumo próximo à geração e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2015).

Segundo um estudo desenvolvido pelo Solargis, em 2019, o Brasil apresenta altas médias de potencial energético solar em todo o território brasileiro, destacando a não homogeneidade da distribuição da irradiação entre regiões, Figura 3.



a) Brasil

b) Alemanha

Figura 3 – Mapa de potencial de energia solar fotovoltaico.

O potencial é de maior destaque quando relacionado a países líderes na geração de energia pela fonte, como a Alemanha. Os índices nacionais se destacam não só em escala de proporcionalidade de dimensões territoriais, mas também em potencial de geração, as regiões de menor potencial brasileiras são cerca de 20% maiores que as melhores alemãs.

Além do alto potencial de geração, as características horárias de geração fotovoltaica são equivalentes a horários de grandes demandas por energia elétrica no cenário energético atual. O pico máximo, segundo o Histórico de Operação (ONS, 2019), hoje em torno das 12h e 16h, tem similaridade ao intervalo de alta produção pela fonte fotovoltaica, principalmente no período de verão.

A penetração de novas tecnologias, cria e desenvolve uma tendência à integração energética não só no mercado energético, mas na linha de pesquisas. Segundo Baleta, Mikulcic e Klemes (2019) o número de pesquisas sobre o tema aumentou 679% nos últimos anos.

Os sistemas de energia estão adotando progressivamente a integração das fontes e das tecnologias de modo a renovar o setor elétrico através da complementariedade de recursos naturais energéticos, principalmente através de Sistemas de Energia Inteligentes (*Smart Energy System*). Em dimensões sociais, a sustentabilidade tem sido relevante a partir da identificação no perfil do consumidor e seus hábitos de utilização.

As iniciativas políticas, fiscais e de financiamento, corroboram diretamente na alavancagem das novas tecnologias, como é o caso da geração solar fotovoltaica, especificamente em termos da geração distribuída fotovoltaica. Em dezembro de 2015, o governo brasileiro

promulgou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), com potencial de gerar mais de R\$ 100 milhões em investimentos até 2030, através do Bando Nacional de Desenvolvimento (BNDES) (FRONTIN, BRASIL Jr., CARNEIRO, & GODOY, 2017). O governo almeja alcançar cerca de 23,5 GW de geradoras em sua maioria fotovoltaicas (PV MAGAZINE, 2015).

A geração solar fotovoltaica, segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018, apresentou no ano de 2017 a maior expansão dentre todas as demais fontes, com uma potência quase quarenta vezes maior à do ano anterior (MME, 2018). Fato em consequência da abertura de mercado gerada pelas políticas públicas e programas de incentivo às energias renováveis, pelas demandas *Low Carbon*, e pela busca do consumidor de diminuir os custos com energia por meio do investimento em geração distribuída.

Segundo estudos publicados no Planejamento Nacional Energético (PNE 2030), a curva de aprendizagem para a produção de módulos fotovoltaicos corroboraria a partir de 2020 para uma paridade competitiva entre a energia fotovoltaica e as fontes fósseis (EPE, 2007), fato que não se concretizou. Apesar de crescente nos últimos anos, os sistemas fotovoltaicos ainda não atingiram tal equiparação.

Em contrapartida, o incentivo a geração de energia fotovoltaica distribuída oportuniza o aumento da capacidade de geração elétrica sem investimentos públicos diretos. Segundo Stefanello, Lionço e Marangoni (2018), é papel do estado subsidiar investimentos, em específico os de infraestrutura, mas a autonomia do mercado interno desperta possibilidades estratégicas a longo prazo. A geração distribuída vem de certa forma, na mesma linha da terceirização tão frequente e eficiente na contemporaneidade, possibilitando ao estado o investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação.

Constata-se, em complementariedade, pela a adoção das bandeiras tarifárias, que a operacionalidade das usinas térmicas no Sistema Elétrico de Potência (SEP) tem impactos diretos no custo de energia repassado ao consumidor. Neste âmbito, a geração distribuída vem a ser não só mais sustentável, mas uma alternativa que tende a se tornar ainda mais atraente economicamente, a medida que o resultado da maturação e da gradual consolidação da tecnologia no mercado reduz o *Payback* do investimento.

5. Demanda residencial suprida com fonte fotovoltaica distribuída

Segundo projeção apresentada nos Cenários Soci-econômicos e Demanda para 2050 (EPE, 2018), a energia fotovoltaica na modalidade geração distribuída tem potencial a suprir até 72,22% da área da carga demandada pelo setor residencial em 2050. A construção de representação deste potencial, deu-se através da construção da curva de carga residencial com dados projetados para o período e posterior integração da mesma, ponto a ponto, com o auxílio da equação construída com o Excel, que descreve a curva de demanda residencial 2050. A área de geração fotovoltaica, de 72,22% da demanda residencial, é calculada de forma equivalente mas a partir da curva do perfil de geração fotovoltaica. A construção das curvas em projeção respeitam os perfis de demanda e geração atuais.

Através da análise dos efeitos da estimativa de geração solar fotovoltaica sobre a curva projetada (2050) de demanda nacional considerando aspectos como incentivos

governamentais diretos e indiretos, que tendem a influenciar a microgeração distribuída no Brasil, afim de proporcionar o ambiente necessário para que a mesma venha a suprir o aumento já estimado na demanda para 2050, estima-se uma projeção segundo o PNE 2050 (EPE, 2018), consoante previsões máximas de geração à fonte no período.

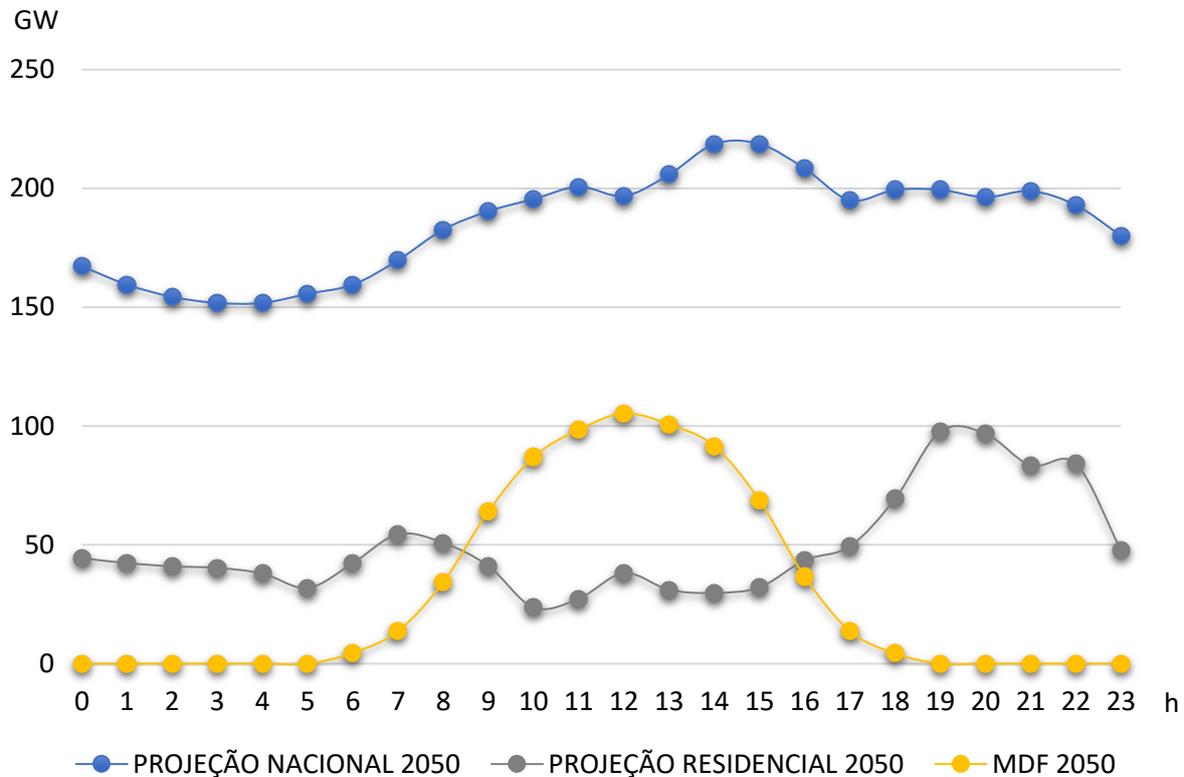


Figura 4 – Projeção comparativa das curvas de carga diária total e residencial e curva de microgeração fotovoltaica.

A projeção comparativa constata o atendimento ao crescimento da demanda de forma descentralizada através de prossumidores, visto que a geração fotovoltaica tem em projeção potencial de abatimento de 72,22% da demanda residencial para o período. Desonerando o Estado da incumbência de aumento de investimento direto em infraestrutura elétrica em decorrência do crescimento da eletrificação do setor em específico.

O potencial excedente gerado pelos prossumidores, injetado na rede, segundo projeções apresentadas no PNE 2050, tem capacidade de aliviar a curva de carga diária, como observado na Figura 5, corroborando para a gestão eficiente de outros recursos energéticos, com maior grau de despacho.

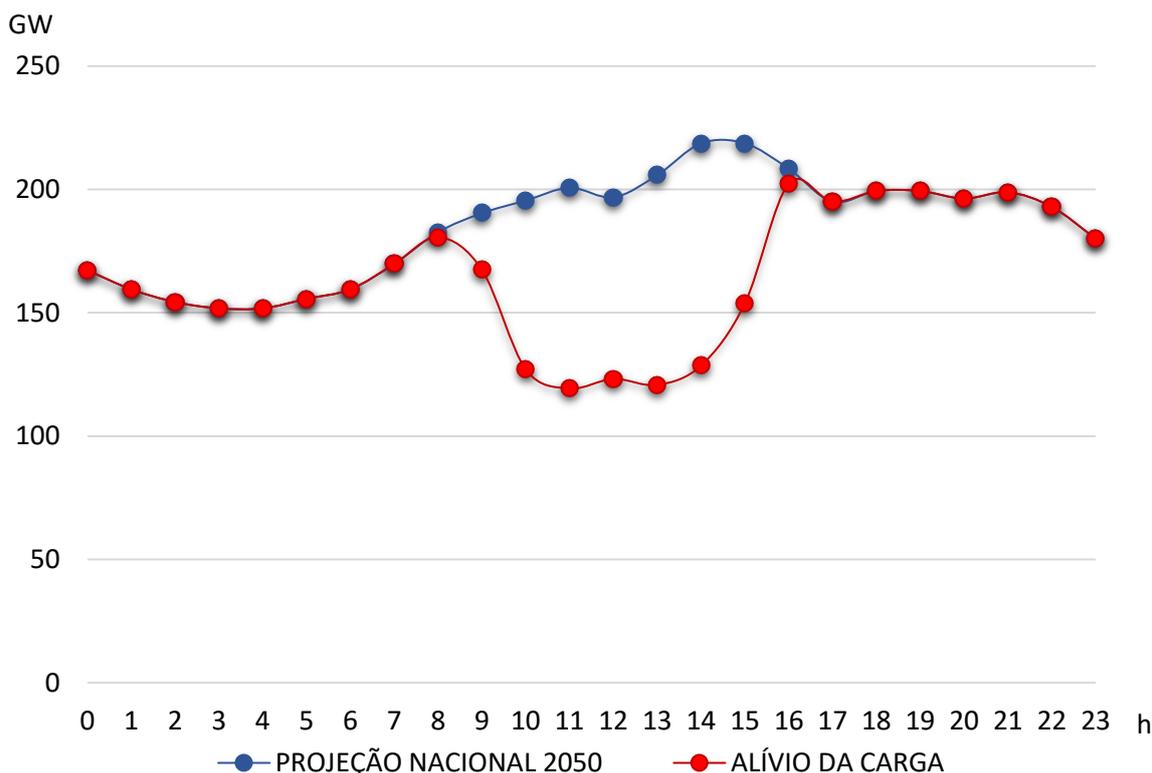


Figura 5- Comparativo da curva de carga diária 2050 em relação ao alívio de carga gerado pela inserção da geração distribuída fotovoltaica

A fonte de geração fotovoltaica apesar de intermitente proporciona um alívio de carga que pode ser estratégico na conservação da energia potencial hidráulica presente no reservatório das usinas. A geração solar durante o dia oportuniza a economia de água nos reservatórios flexibilizando a operação das hidrelétricas no período noturno e em horários de pico de demanda.

Sob esta análise, a correlação das fontes é bidirecional permitindo ponderação tanto na perspectiva de geração fotovoltaica quanto na perspectiva de geração hidráulica. A nível de planejamento a curto prazo a energia hidráulica auxilia na compensação da geração intermitente e variável da energia fotovoltaica, neste estudo na modalidade geração distribuída. A médio e longo prazo quando há economia em termos de manutenção do recurso em reservatório acarretada pela MFD, existe a possibilidade de atendimento ao picos de demanda e ao sistema em períodos críticos de recurso, de forma mais planejada e efetiva.

Essa relação essencial ao sistema, com a inserção das fontes intermitentes, tende a ser de caráter constante em prol da qualidade e confiabilidade do atendimento.

6. Considerações finais

O mercado de tecnologia, bem como os demais, esta sempre sujeito a interferências. O investimento em geração distribuída vem a ser potencialmente favorecido não só pelo aumento da demanda, e pelo custo da energia, mas pela consolidação e barateamento da tecnologia, pelos incentivos fiscais e pela taxa de juros sobre investimentos.

A abertura de mercado proporcionada pela Resolução Normativa nº 482/2012 e suas emendas, foi muito além de um marco regulatório à geração de energia. A flexibilização de mercado em torno dos prossumidores foi fundamental ao crescimento da microgeração distribuída, especialmente a fotovoltaica.

Contudo, a aplicação e consolidação futura desta tecnologia de geração está diretamente atrelada ao posicionamento governamental, seja de incentivo direto ou por potencial regulação de mercado, tendo reflexos diretos sobre o *Payback*.

Os tributos referentes a fatura, ICMS, PIS e COFINS são também um entrave ao desenvolvimento e ampliação dos sistemas geradores. A fatura de energia tem alta significância orçamentaria residencial no Brasil, e desse custo, os tributos são cerca de um quarto do total até mesmo pela energia produzida e consumida pela própria unidade. A redução do percentual desses impostos especificamente à microgeradores e minigeradores, visto que a energia é um item de necessidade básica, teria potencial à fomentar a geração de energia solar fotovoltaica.

O cenário a ser construído e aprimorado em torno desta modalidade geradora é colaborativo de forma bilateral, ao governo e ao consumidor. Em função da desoneração do investimento em infraestrutura de geração pelo governo, e pela autonomia financeira em torno da geração de energia, e conseqüentemente da fatura, ao consumidor.

7. Referências

Resolução Normativa

ANEEL. (17 de Abril de 2012). Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. *Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL.*

Publicações periódicas

ANEEL. (28 de Setembro de 2015). *Geração Distribuída*. Fonte: Agência Nacional Energia Elétrica. ANEEL: <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>

Livro

EPE. (2007). Outras Fontes. Em E. d. EPE, *Plano Nacional de Energia 2030* (p. 13). Brasília: Ministério de Minas e Energia.

Livro

EPE. (2014). Plano Nacional de Energia 2050. Em E. d. EPE, *Cenário Socio-econômico e Demanda de Energia* (p. 7). Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia.

Livro

EPE. (2018). *Balço Energético Nacional*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética.

Livro

EPE. (2018). Cenários de Demanda para o PNE 2050. (p. 32). Ministério de Minas e Energia.

Monografia, dissertação e tese

FERREIRA NETO, A. B., CORREA, W. L., & PEROBELLI, F. S. (Março de 2016). Consumo de Energia e Crescimento Econômico: Uma Análise do Brasil no Período 1970- 2009. *Análise Econômica*, 34. Fonte: <https://seer.ufrgs.br/AnaliseEconomica/article/viewFile/44622/36642>

Livro

FRONTIN, S. d., BRASIL Jr., A. C., CARNEIRO, M. T., & GODOY, N. R. (2017). *Usina Fotovoltaica Jaíba Solar: Planejamento e Energia*. (1. ed., Ed.) Brasília.

Publicações periódicas

IBGE. (1 de Julho de 2019). *Projeção da População do Brasil e das Unidades da Federação*.

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística :

<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>

Nota Técnica

MME. (2014). *DEA 19- Inserção de Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos*.

Livro

MME. (2018). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética.

Monografia, dissertação e tese

OLIVEIRA, L. A. (2013). *Tratamento de Dados de Curvas de Carga via Análise de Agrupamentos e Transformada Wavelets*. Rio de Janeiro .

Publicações periódicas

ONS. (Maio de 2019). *Curva de Carga. Histórico da Operação*. Fonte: Operador Nacional do Sistema - ONS: http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/curva_carga_horaria.aspx

Artigo em periódico

PV MAGAZINE. (2015). Incentive Program Emphasizing Solar Energy. Acesso em 18 de Maio de 2019, disponível em https://www.pv-magazine.com/2015/12/16/brazil-launches-incentive-program-for-distributed-generation_100022487/

Trabalho em evento

STEFANELLO, C., LIONÇO, C., & MARANGONI, F. (2018). A Importância das Políticas Públicas para o Fomento da Energia Fotovoltaica Brasil . *VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, (p. 7). Gramado.