


O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos

Growth of distributed generation in the context of the hydropower crisis in the Southeast of Brazil: environmental and socioeconomic aspects

El crecimiento de la generación distribuida en el contexto de la crisis hidroenergética en el sudeste de Brasil: aspectos ambientales y socioeconómicos

Luiz Fernando Rosa Mendes  <https://orcid.org/0000-0002-2330-4766>

Doutor em Ciências Naturais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Pesquisador do Grupo de Pesquisas Aplicadas em Energia Fotovoltaica (GPAFv) e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense *Campus* Campos Guarus – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil. E-mail: lfmendes@ifff.edu.br

Marcelo Silva Sthel  <https://orcid.org/0000-0001-5913-4749>

Doutor em Física na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor do Laboratório de Ciências Físicas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil. E-mail: sthel@uenf.br

Marcenilda Amorim Lima  <https://orcid.org/0000-0001-7605-541X>

Doutorado em Ciências Naturais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) – Campos dos Goytacazes/RJ – Brasil. E-mail: marcenilda_stm@yahoo.com.br

Resumo

Diante da crise hidroenergética na região Sudeste (SE) do Brasil, ocorrida entre 2012-2015, o objetivo deste trabalho é analisar como os consumidores da região supracitada foram conduzidos a implantar sistemas de Geração Distribuída (GD) nesse período. Para isso, realizou-se uma pesquisa exploratória de dados referentes ao nível dos reservatórios do subsistema Sudeste/Centro-Oeste, ao consumo e ao custo de eletricidade da região e à evolução da GD. Esta pesquisa possibilitou notar que a crise hídrica ampliou a necessidade do uso das usinas térmicas e, conseqüentemente, aumentou as emissões dos gases do efeito estufa (GEE) e fez com que o custo da energia elétrica fosse elevado, principalmente, para os consumidores das classes residencial e comercial do SE. Assim, como forma de reduzir os custos com eletricidade, os consumidores investiram em fontes renováveis de energia (FRE). Dentre elas, a energia solar fotovoltaica (ESFV) foi a fonte de energia mais utilizada por todas as classes de consumidores, principalmente, a residencial e a comercial, em toda a região SE.

Palavras-chave: FRE. Diversificação. Matriz elétrica. Energia fotovoltaica.

Abstract

Given the hydropower crisis in the Southeast region of Brazil in the years 2012-2015, the objective of this work is to analyze how consumers in the aforementioned region were led to implement Distributed Generation systems in that period. An exploratory data analysis was carried out regarding the level of reservoirs in the Southeast / Midwest sub-system, the consumption and cost of electricity in the region, and the evolution of Distributed Generation. This research made it possible to notice that, the water crisis increased the need for the use of thermal plants and, as a result, it increased the emissions of greenhouse gases, causing the cost of electricity to be high, especially for residential and commercial consumers in the Southeast. Thus, in order to reduce electricity costs, consumers invested in renewable energy sources. Among them, photovoltaic solar energy was the most used source of energy by all classes of consumers, mainly residential and commercial throughout the Southeast region.

Keywords: Renewable Energy Source. Diversification. Electric Power Sources. Photovoltaic Energy.

Resumen

En vista de la crisis de la energía hidroeléctrica en la región sudeste de Brasil que se produjo entre 2012-2015, el objetivo de este documento es analizar cómo los consumidores de la región mencionada se vieron obligados a implementar sistemas de generación distribuida en este período. Para esto, se realizó una encuesta exploratoria de datos sobre el nivel de los reservorios del subsistema Sudeste / Medio Oeste, el consumo y el costo de la electricidad en la región y la evolución de la generación distribuida. Esta investigación permitió notar que la crisis del agua aumentó la necesidad del uso de plantas térmicas y, en consecuencia, aumentó las emisiones de gases de efecto invernadero y causó que el costo de la electricidad sea alto, especialmente para los consumidores en las clases residenciales y comercial en el sudeste. Por lo tanto, como una forma de reducir los costos de electricidad, los consumidores invirtieron en fuentes de energía renovables. Entre ellos, la energía solar fotovoltaica fue la fuente de energía más utilizada por todas las clases de consumidores, principalmente residenciales y comerciales, en toda la región Sudeste.

Palabras clave: Fuentes de energía renovables. Diversificación. Matriz eléctrica. Energía fotovoltaica.

1 Introdução

A matriz elétrica brasileira é constituída por um balanço hidrotérmico com predominância da geração hídrica. Essa matriz, segundo o Balanço Energético Nacional 2019 – ano base 2018, era composta por 66,6% de geração hídrica, 8,5% por geração térmica de biomassa e 8,1% por energias eólica e solar, o que torna a matriz elétrica brasileira uma das mais renováveis do mundo (BRASIL, 2019a).

Embora haja uma predominância de fontes renováveis de energia na matriz elétrica, Hunt, Stipen e Freitas (2018) afirmam que essa configuração do setor elétrico brasileiro propicia maior vulnerabilidade frente às mudanças hidrológicas intensas. Além disso, os autores apontam para existência de uma sazonalidade nas crises hídricas no país com ciclos em intervalos de 10 a 15 anos. Prado e colaboradores (2016) argumentam que, além da vulnerabilidade às mudanças hidrológicas intensas, as políticas energéticas ineficientes e o uso indevido de recursos financeiros para construções desnecessárias de usinas contribuíram para o aumento da insegurança energética no país.

Então, é consenso entre os pesquisadores que o incremento das fontes renováveis de energia (FRE), como eólica, biomassa e solar, pode contribuir para diversificação da matriz elétrica, diminuir a insegurança energética e ainda mitigar as emissões dos gases de efeito estufa (GEE), como o Dióxido de Carbono Equivalente (CO_{2eq}) para a atmosfera. Além disso, a expansão da energia eólica, solar e biomassa são economicamente mais viáveis que a construção de outras hidroelétricas (ANDRADE GUERRA *et al.*, 2015; GEORGESON; MASLIN; POESSINOUW, 2016; GILS; SIMON; SORIA, 2017).

Nesse sentido, o governo brasileiro assinou o Acordo de Paris se comprometendo a contribuir para redução das mudanças climáticas globais. De acordo com o *Intended Nationally Determined Contribution* (INDC) o país incentiva a ampliação do uso das fontes renováveis de energia, sendo o mesmo ratificado, em 2016, por meio do Congresso Nacional. Com isso, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025, na comparação com os níveis registrados de 2005; e em 43% até 2030. No item do INDC relacionado à energia, o país se dispôs a ampliar o uso das fontes renováveis, além da energia hídrica, a eólica, biomassa e a solar (BRASIL, 2016b).

Nessa linha, diversas ações vêm contribuindo para minimizar o cenário de dependência da geração hidroelétrica, tais como: o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA); as Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD); e os leilões de energia específicos para as FRE (BRASIL, 2016d; BRASIL, 2018a; BRASIL, 2018d; SILVA *et al.*, 2013).

Contudo, as ações e as políticas públicas relacionadas à geração distribuída (GD) foram moldadas e implementadas no auge da crise hidroenergética. Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar e compreender como a referida crise hídrica e as políticas públicas específicas contribuíram para o crescimento da GD na região Sudeste (SE) do Brasil no período de 2010 a 2017.

2 Referencial teórico

2.1 Conceito de Geração Distribuída

A GD pode ser definida como “... qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas, alimentadas sem necessidade de transporte da energia através da rede de transmissão, e que tenha capacidade de mobilidade no que diz respeito à sua localização física.” (AMARAL *et al.*, 2016, p. 3).

Em relação à fonte de energia primária utilizada na GD, ela pode ser renovável ou não renovável. Dentre as fontes não renováveis utilizadas destacam-se o gás natural (GN) em microturbinas, células a combustível e motores alternativos

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos

Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

com combustão interna. As fontes renováveis utilizadas são as pequenas centrais hidroelétricas, energia eólica, biomassa em termoelétricas, biogás em microturbinas e solar fotovoltaica (ALLAN *et al.*, 2015; CARLEY, 2009).

Para Teixeira *et al.* (2006), a GD torna-se uma alternativa para o sistema elétrico a partir do momento em que reúne benefícios. Esses, por sua vez, podem adequar-se ao mercado de energia e aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais, mitigando os impactos ambientais provenientes da geração centralizada.

2.2 Resoluções Normativas (RN)

No Brasil, a GD é regulamentada pela ANEEL mediante a RN 482 de 17 de abril de 2012 e a 687 de 24 de novembro de 2015. A RN 482/2012 foi um marco para GD no Brasil. Todavia, ela tinha limitações no uso da energia excedente e nas modalidades de utilização dos sistemas, além do elevado tempo para os trâmites burocráticos junto à concessionária local de energia elétrica, o que se tornava outro fator limitante para sua expansão (VAZQUEZ; HALLACK, 2018).

Para sanar as lacunas da RN 482/2012, foi publicada a RN 687/2015 que alterou a primeira RN. Dentre as alterações realizadas, estão a definição de microgeração¹ e minigeração² distribuídas (BRASIL, 2016c).

Tabela 1. Comparativo entre a RN 482/2012 e a RN 687/2015

| | 482/2012 | 687/2015 | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Definições | Microgeração | $P \leq 100 \text{ kW}$ | $P \leq 75 \text{ kW}$ |
| | Minigeração | $P < 100 \text{ kW} \leq 1 \text{ MW}$ | $P < 75 \text{ kW} \leq 3 \text{ MW}$ (hídrica) ou 5 MW (cogeração qualificada) |
| Modalidades | Autoconsumo remoto | Autoconsumo remoto | Autoconsumo remoto |
| | ----- | ----- | Geração Compartilhada |
| | ----- | ----- | Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras |
| Créditos de energia excedente | 36 meses | 60 meses | |
| Prazos dos trâmites administrativos para concessão da conexão à rede junto às distribuidoras | Máximo 82 dias | Máximo de 34 dias para microgeração Máximo de 49 dias para minigeração | |

Fonte: BRASIL (2016c)

Em relação ao tempo de utilização dos créditos de energia pelo usuário, passou dos 36 meses previstos inicialmente (RN 482/2012) para 60 meses (RN 687/2015). Entretanto, o sistema de compensação de energia elétrica continuou como *net metering tariff* (BRASIL, 2015). A nova RN também instituiu inovações nas modalidades de utilização da GD, tais como: empreendimento com múltiplas unidades consumidoras; geração compartilhada; e autoconsumo remoto (BRASIL, 2016c).

¹ Microgeração: sistemas com potência instalada menor ou igual a 75 kW (BRASIL, 2016c).

² Minigeração: sistemas com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada (BRASIL, 2016c).

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos

Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

3 Metodologia

A região SE do Brasil é a segunda menor região do país, que possui uma área de 924.620 km², sendo composta pelos estados do Espírito Santo (ES), Minas Gerais (MG), Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP) (Figura 1).

Figura 1. Localização da região SE no Brasil



Fonte: Estudo Prático (2019)

Assim, apesar de ela ser uma das menores regiões, concentra aproximadamente 55% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, e tem a maior população (87.711.946 habitantes em 2018). Isso, conseqüentemente, produz uma elevada densidade populacional (94,86 habitantes/km²) em termos de Brasil, e elevado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) entre as regiões brasileiras (cerca de 0,794). Por conseguinte, o maior consumo de energia elétrica com 235.399 GWh foi no ano de 2018, ou seja, um consumo médio de 2,68 MWh por habitante, sendo a média nacional de 2,24 MWh por habitante (BRASIL, 2019b; IBGE, 2019).

As informações apresentadas anteriormente mostram a importância da região SE para o país do ponto de vista socioeconômico. Entretanto, entre os anos de 2010 e 2017, o Brasil sofreu uma redução no regime de chuvas que impactou diretamente no abastecimento de água e na produção de eletricidade do país, em especial a região SE (PIRES DO RIO; DRUMMOND; RIBEIRO, 2016). Com isso, o foco deste estudo foi verificar o aumento da GD no período da crise hidroenergética nessa região no período compreendido entre 2010 e 2017. Para isso, realizou-se uma pesquisa exploratória de dados dividida em duas etapas: análise descritiva dos dados e uma análise estatística.

Na primeira etapa, foram levantados dados referentes ao consumo de energia elétrica e ao valor médio das tarifas de eletricidade na região SE no período da crise hídrica, utilizando para isso os Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição da ANEEL (BRASIL, 2018b). Investigou-se o percentual de energia armazenada nos reservatórios (EAR) do subsistema

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
 Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Stihel, Marcenilda Amorim Lima

Sudeste/Centro-Oeste a partir do histórico da geração do Operador Nacional do Sistema (ONS) (ONS, 2018). Além disso, foi realizado o levantamento do PIB brasileiro no período estudado.

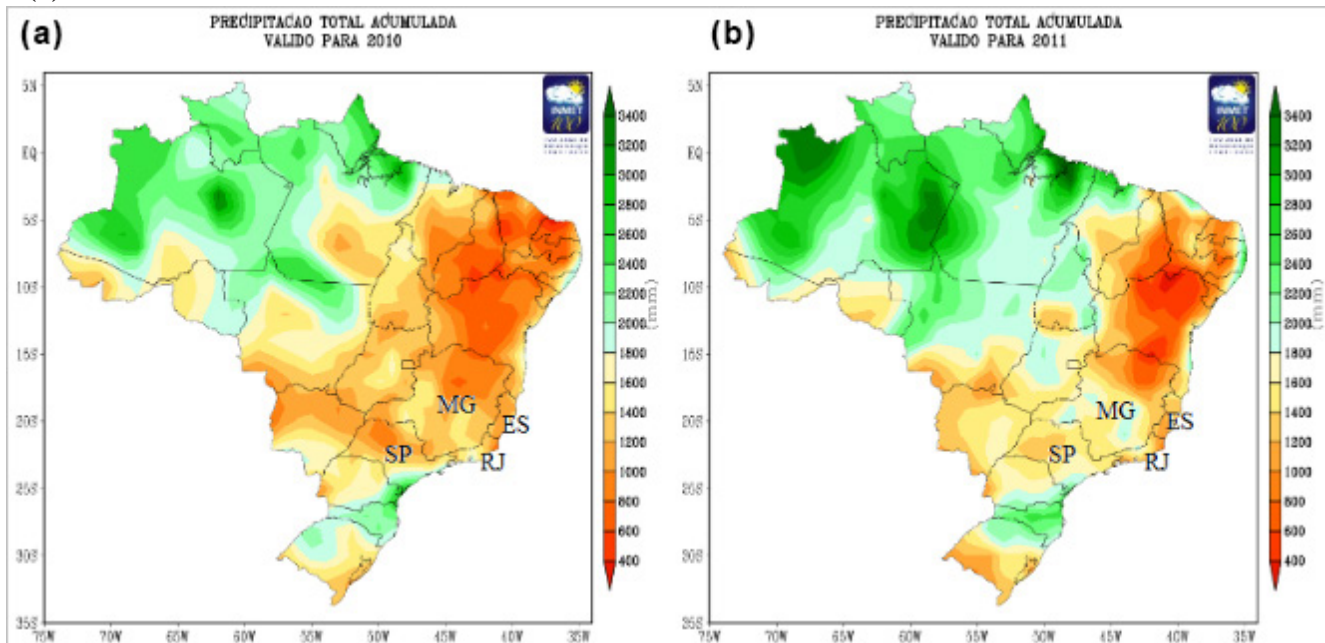
Os outros dados levantados e, posteriormente, analisados descritivamente foram relacionados à GD com potência instalada de até 5 MW³ na região SE entre 17 de abril de 2012 (data da publicação da RN 482) e 31 de dezembro de 2017. Para isso, foram obtidos dados no banco de informações de geração relacionados à GD, em que se considerou o comportamento deste tipo de geração de eletricidade levando em consideração os seguintes aspectos: tipos de fonte de energia utilizada e tipos de classes consumidoras (residencial, comercial, industrial e rural) (BRASIL, 2018c).

Nessa etapa estatística, foi utilizada Análise de Regressão com o *software* BioEstat versão 5.3 com o objetivo de verificar as relações existentes entre: geração termoeétrica na região SE e a EAR; geração termoeétrica e emissões de CO_{2eq}; e custo médio das tarifas de energia elétrica e a potência instalada por GD.

4 Resultados e Discussão

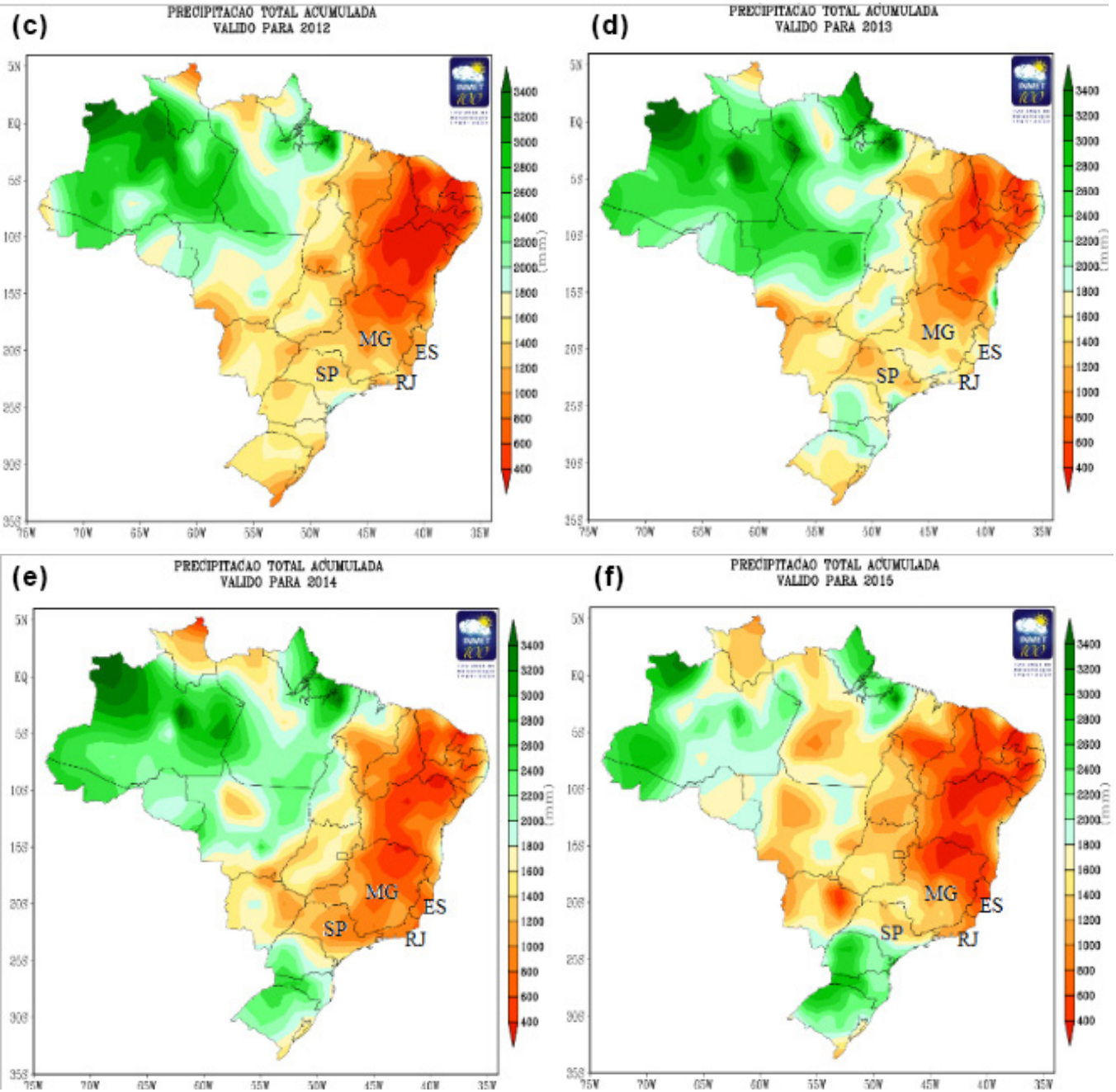
A Figura 2 apresenta um conjunto de mapas referentes à precipitação total acumulada no Brasil entre os anos de 2010 e 2017, em que se destacam os estados da região SE, foco deste estudo.

Figura 2. Precipitação total acumulada no Brasil: (a) 2010, (b) 2011, (c) 2012, (d) 2013, (e) 2014, (f) 2015, (g) 2016 e (h) 2017

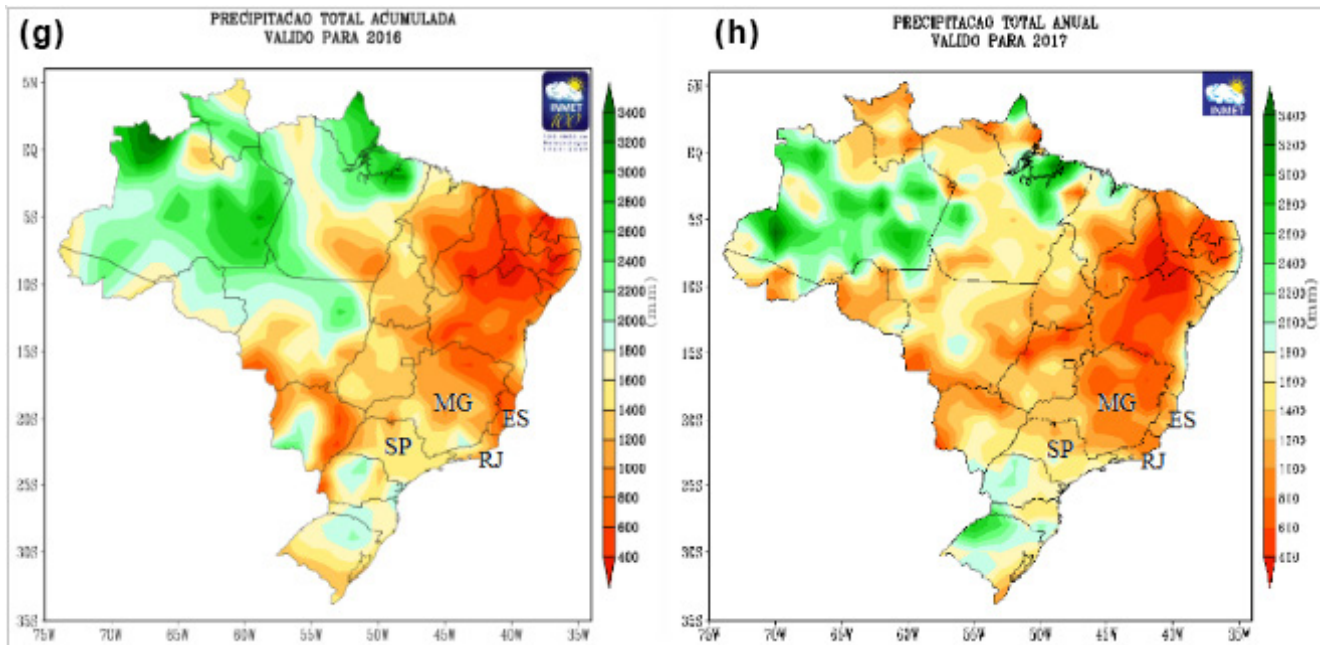


³ Potência máxima instalada para enquadramento da cogeração qualificada dentro do conceito de minigeração distribuída, segundo a RN 87/2015 e de acordo com a Tabela 1 deste trabalho.

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima



O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
 Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima



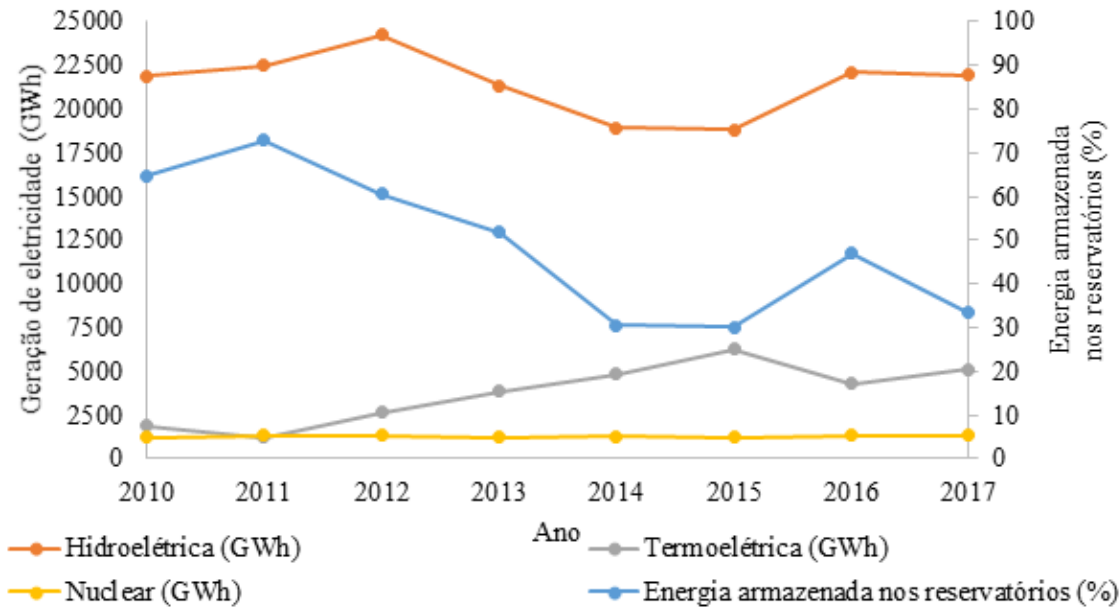
Fonte: INMET (2019)

Nota-se, pelos mapas apresentados (Figura 2), uma drástica redução nas precipitações acumuladas, principalmente nas regiões Nordeste (NE) e SE. A região SE, como mencionado anteriormente, mostra que a estiagem trouxe restrições no abastecimento de água para os quatro estados, além dos impactos negativos em suas economias. Sendo que, para Pires do Rio, Drummond e Ribeiro (2016), a crise hídrica experimentada pelo país “*indica muitos problemas subjacentes relacionados à gestão da água*” e segundo Targa e Batista (2015), a crise trouxe à tona para sociedade, a importância da discussão da água e da floresta amazônica para a manutenção do regime de chuvas no SE.

Nesse sentido, a Figura 3 apresenta a geração elétrica, em GWh, a partir do percentual de EAR na região SE, juntamente com o aumento do uso de usinas termoelétricas durante a crise hídrica.

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Figura 3. Geração de energia elétrica, em GWh, a partir do balanço hidrotérmico da região SE e percentual de energia armazenada nos seus reservatórios



Fonte: ONS (2018)

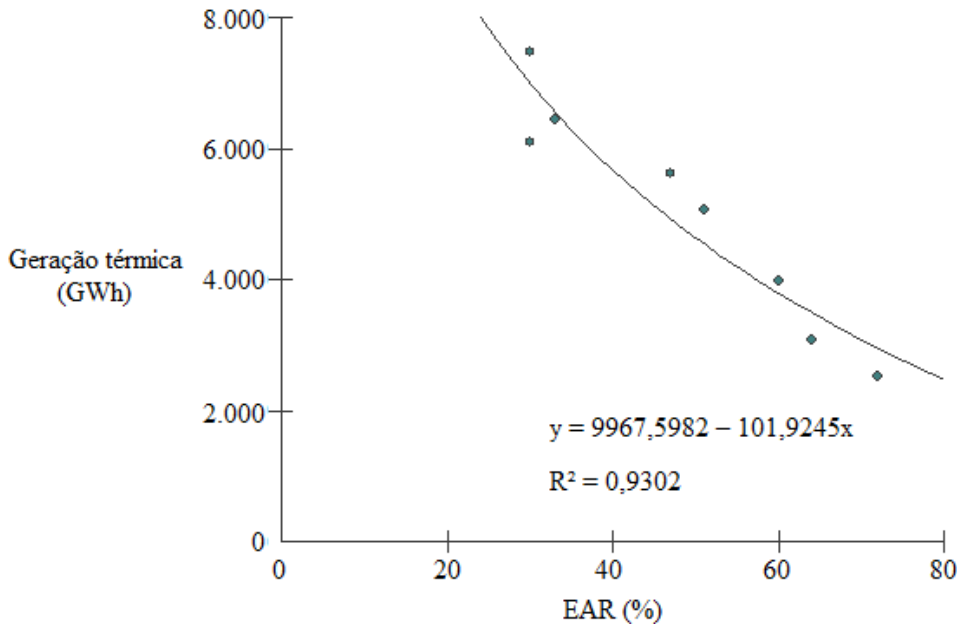
Observa-se que a redução da energia potencial hidráulica se iniciou por volta de 2012 e continuou decaindo até 2014, chegando ao menor patamar e se manteve no ano seguinte. Adverte-se, também, que, a partir de 2016, houve uma melhora na EAR, contudo esses valores não mais alcançaram os mesmos de EAR referente a 2012.

Como consequência da redução na EAR, houve redução da geração de energia elétrica, uma vez que a maioria das usinas hidroelétricas da região SE se configuram como usinas à fio d'água, ou seja, usinas em que seus reservatórios são projetados para prover regularização diária ou semanal (REIS, 2011). Goldemberg (2015, p. 39) afirma que *“usinas a fio d'água se tornaram a regra e não a exceção. Com esse tipo de usina a produção de eletricidade fica totalmente dependente do regime de chuvas e fluxo de água dos rios”*.

Por outro lado, fez-se necessária a ampliação no uso das usinas termoelétricas, principalmente a GN, como forma de compensar a redução da geração hidroelétrica e manter o suprimento de eletricidade (MENDES; STHEL, 2017), tendo a geração térmica alcançado seu maior patamar em 2015 com cerca de 6.250 GWh de energia produzida. Então, para verificar a existência de uma relação significativa entre a EAR e a geração termoelétrica aplicou-se como método estatístico a regressão linear (Figura 4).

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Figura 4. Diagrama de dispersão de dados entre EAR (%) e geração térmica (GWh) entre 2010 a 2017



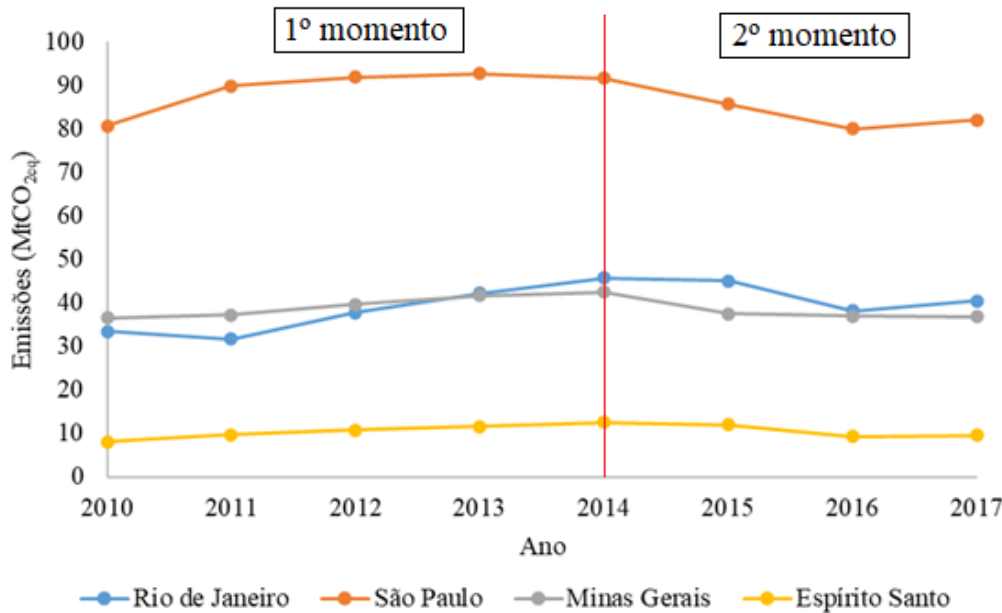
Na Figura 4, é apresentada a equação que mais se aproximou do conjunto de pontos representados no diagrama de dispersão, mostrando a variação da geração termoelétrica (GWh) com a EAR (%). O coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9302 e constata a influência significativa exercida da EAR sobre a geração térmica ($p = 0,0003$) em um intervalo de confiança (IC) de 95%, corroborando a afirmação de Mendes e Sthel (2017).

E, do ponto de vista ambiental, tal cenário proporcionou o aumento de GEE da matriz elétrica brasileira, tornando-a mais intensiva em carbono. Nesse aspecto, as mudanças hidrológicas expuseram a insustentabilidade do modelo hidrotérmico utilizado na matriz elétrica no país (HUNT; STILPEN; FREITAS, 2017).

Na Figura 5, são apresentadas as emissões de CO_2 , em $\text{MtCO}_{2\text{eq}}$, compreendidas entre anos de 2010 e 2017 do setor de energia nos quatro estados que compõem a região SE. Nela, observam-se dois momentos distintos no que diz respeito ao período estudado: 2010 até 2014 e 2014 até 2017.

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Figura 5. Emissões de CO_{2eq.} (MtCO_{2eq.}) do setor de energia referente aos estados da região SE entre os anos 2010 e 2017



Fonte: SEEG (2019)

No primeiro momento, houve um aumento das emissões de CO_{2eq.} em todos os estados. Dentre os quatro estados, o Espírito Santo possui as menores taxas de emissões de CO_{2eq.}, pois o mesmo possui a menor população e PIB da região. Por outro lado, São Paulo é o maior emissor de CO_{2eq.}, uma vez que possui a maior população e PIB.

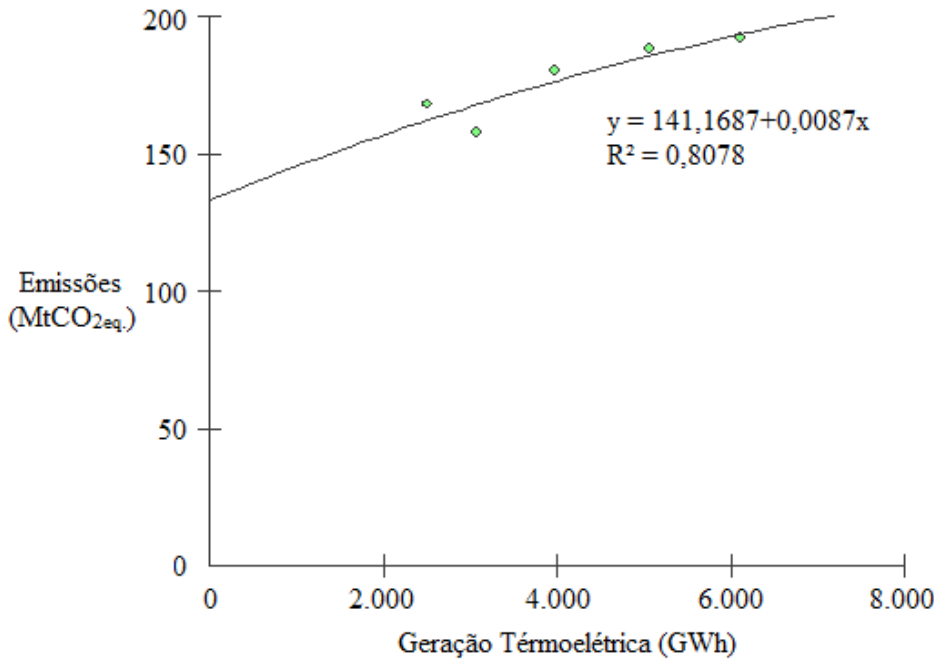
Já o Rio de Janeiro emitiu mais CO_{2eq.} que Minas Gerais. Isso se deve ao fato de o PIB do Rio de Janeiro ser maior que o de Minas Gerais. Porém, outro fator para a maior emissão do Rio de Janeiro está relacionado ao uso intensivo de usinas térmicas, uma vez que o estado sedia a bacia petrolífera de Campos e detém facilidade logística para o escoamento e distribuição de petróleo e GN (MENDES; STHEL, 2018).

Vale salientar que os dados das emissões do setor de energia foram compostos de emissões fugitivas e pela queima de combustíveis dos seguintes segmentos econômicos: transporte (48,2%), indústrias (15,8%), geração de eletricidade (12,8%), produção de combustíveis (12,8%) e outros (10,5%), dados para todo o Brasil (SEEG, 2019).

Então, para verificar a existência de uma relação significativa entre a geração termoeletrica e as emissões de CO_{2eq.} do setor de energia, aplicou-se como método estatístico a regressão linear (Figura 6).

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Figura 6. Diagrama de dispersão de dados entre geração térmica (GWh) e as emissões (MtCO_{2eq.}) na região SE entre 2010 e 2014

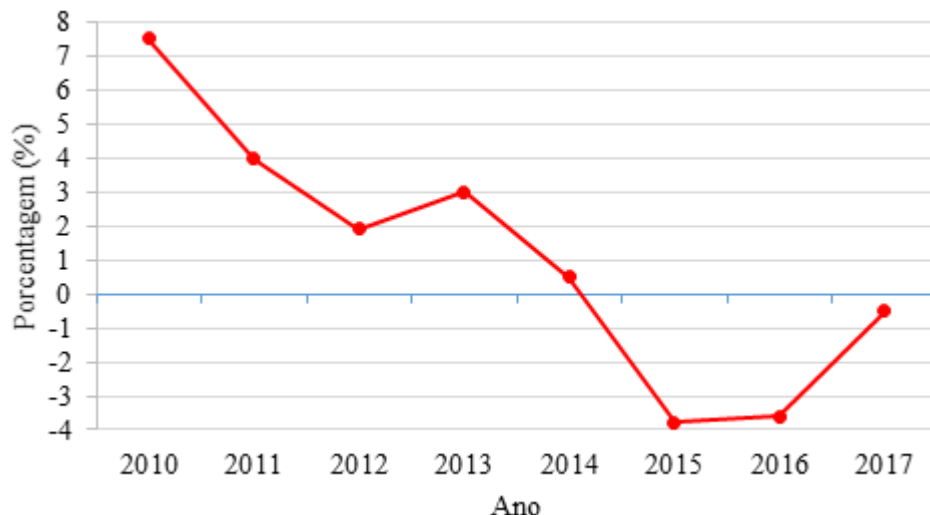


Na Figura 6, é apresentada a equação que mais se aproximou do conjunto de pontos representados no diagrama de dispersão, mostrando a variação das emissões de CO_{2eq.} (MtCO_{2eq.}) com a geração termoelétrica (GWh). O R² foi igual a 0,8078, o que constata a influência significativa exercida da geração térmica sobre as emissões de CO_{2eq.} (p = 0,0363) em um IC de 95%. Portanto, os aumentos das emissões de CO_{2eq.} na região SE, no primeiro momento estudado (2010-2014), têm participação direta do segmento geração de eletricidade, devido à crise hídrica e ao aumento no uso de fontes não renováveis, também corroborando o trabalho de Mendes e Sthel (2017).

A partir de 2014, observa-se, na Figura 5, uma sutil queda das emissões de CO_{2eq.} em todos os estados devido à redução das suas atividades econômicas. Foi a maior queda ocorrida no estado de São Paulo, sendo mostrada a variação do PIB, em percentual, no Brasil no período estudado na Figura 7. Nela, é possível notar com clareza também dois momentos distintos: 2010 a 2014 e 2015 a 2017.

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Figura 7. Valores do PIB, em percentual (%), entre 2010 e 2017

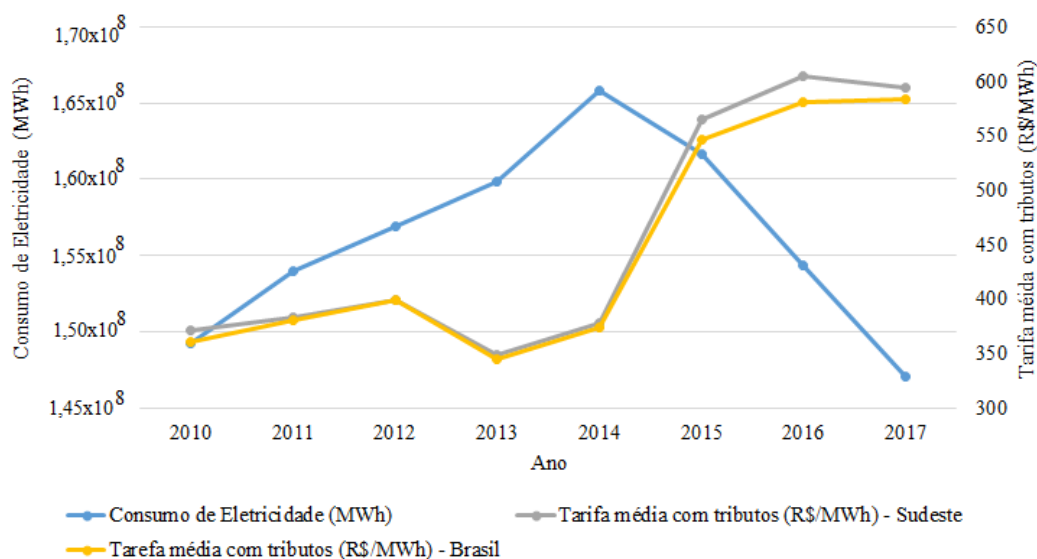


Fonte: IBGE (2018)

Em geral, no período estudado, o PIB foi decrescente, porém ainda positivo até 2014. Todavia, entre 2015 e 2017 o indicador variou negativamente, sendo nesse último ano pesquisado marcado por um aceno de recuperação. Esse cenário de decrescimento do PIB gerou uma das maiores recessões da história econômica brasileira, tendo fortes indícios de relação com erros nas políticas públicas e instabilidade política instaurada no país (BARBOSA FILHO, 2017).

O crescimento econômico expresso pelo resultado do PIB em 2010 gerou um maior poder de compra dos brasileiros (PODER..., 2018). Isso refletiu no maior consumo de eletricidade e, aliado a isso, houve também, nos anos seguintes, temperaturas mais elevadas no país (BRASIL, 2018f). Nesse sentido, a Figura 8 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica, em MWh, na região SE e as tarifas médias, em R\$/MWh, na mencionada região entre os anos de 2010 e 2017.

Figura 8. Evolução do consumo de energia elétrica (MWh) e tarifas médias (R\$/MWh) na região SE entre os anos de 2010 e 2017



Fonte: ONS (2018)

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos

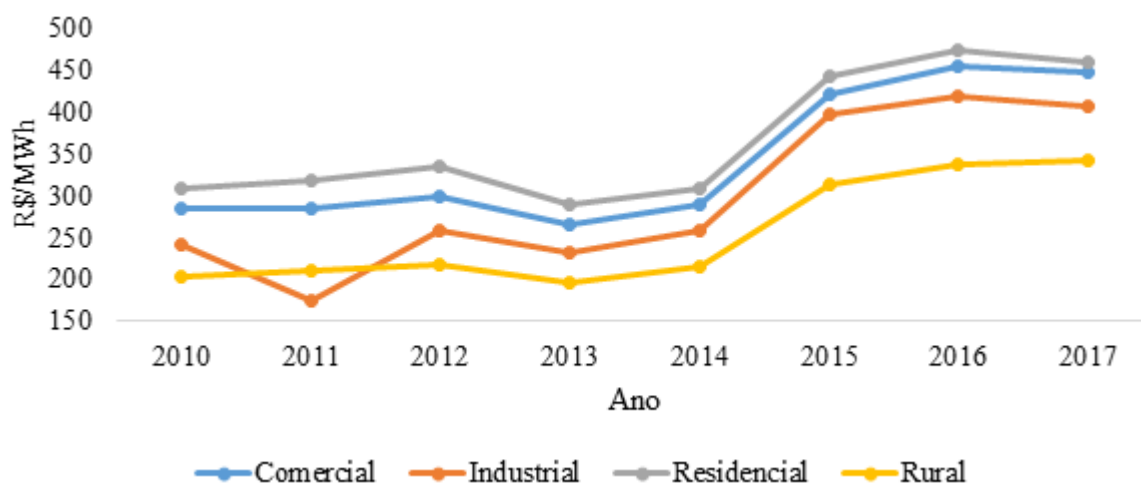
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Nota-se, pela Figura 8, que o consumo de eletricidade foi crescente entre os anos de 2010 e 2014. A pesquisa aponta ainda que, apesar da redução nos níveis dos reservatórios e da geração hídrica, em 2013, o governo brasileiro anunciou a redução nas tarifas de energia elétrica a partir da Lei 12.783/2013, incentivando ainda mais o consumo de eletricidade pelos brasileiros (BRASIL, 2018a; DILMA..., 2018).

Entretanto, a partir de 2014, a economia brasileira começou a entrar em recessão. Concomitantemente, a crise hídrica se agravou e as usinas térmicas tiveram que ser acionadas em plenitude, forçando assim o aumento das tarifas de energia elétrica e contribuindo para o maior aprofundando da crise econômica (MENDES; STHEL, 2017).

Evidentemente, na região SE, o cenário de aumento nos preços da energia elétrica foi o mesmo verificado no país e pode ser visto na Figura 9, que apresenta a evolução do custo da energia elétrica, em R\$/MWh, especificamente na região em questão para os consumidores das classes residencial, comercial, industrial e rural no período de 2010 a 2017, por exemplo.

Figura 9. Custo médio das tarifas de energia elétrica, em R\$/MWh, na região SE de acordo com algumas classes de consumidores



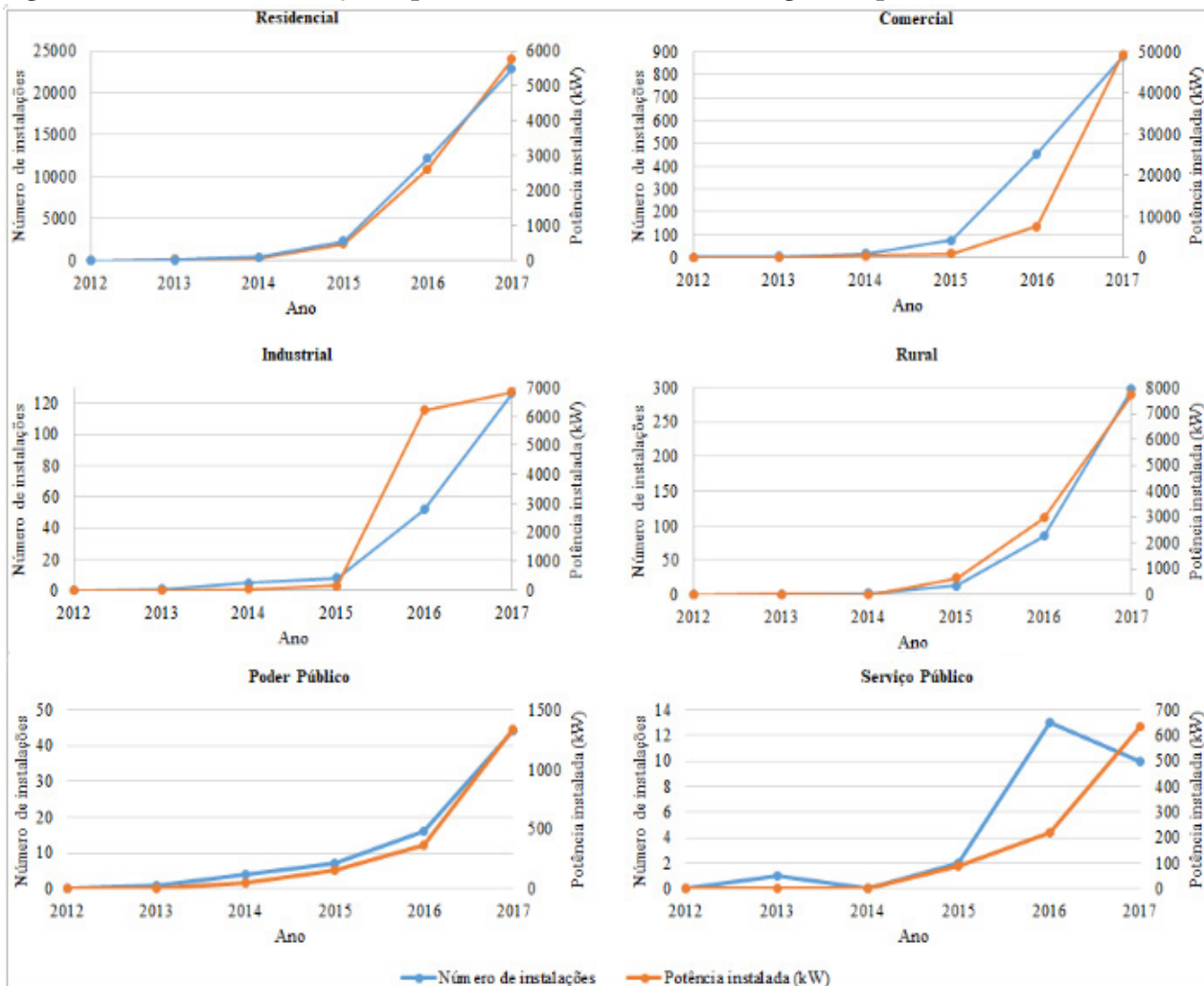
Fonte: BRASIL (2018b)

Constata-se uma redução, em 2013, do custo da energia elétrica para todas as quatro classes de consumidores, como indicado na Lei 12.783/2013. Entretanto, no ano seguinte houve crescimento do preço da tarifa de eletricidade para todos os consumidores mencionados pelos motivos citados por Mendes e Sthel (2017).

Na Figura 10, é mostrado o número de instalações e potência instalada, em kW, da GD na região SE por classes de consumidores no período entre 2012 a 2017.

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Figura 10. Número de instalações e potência instalada, em kW, na região SE por classe de consumidores

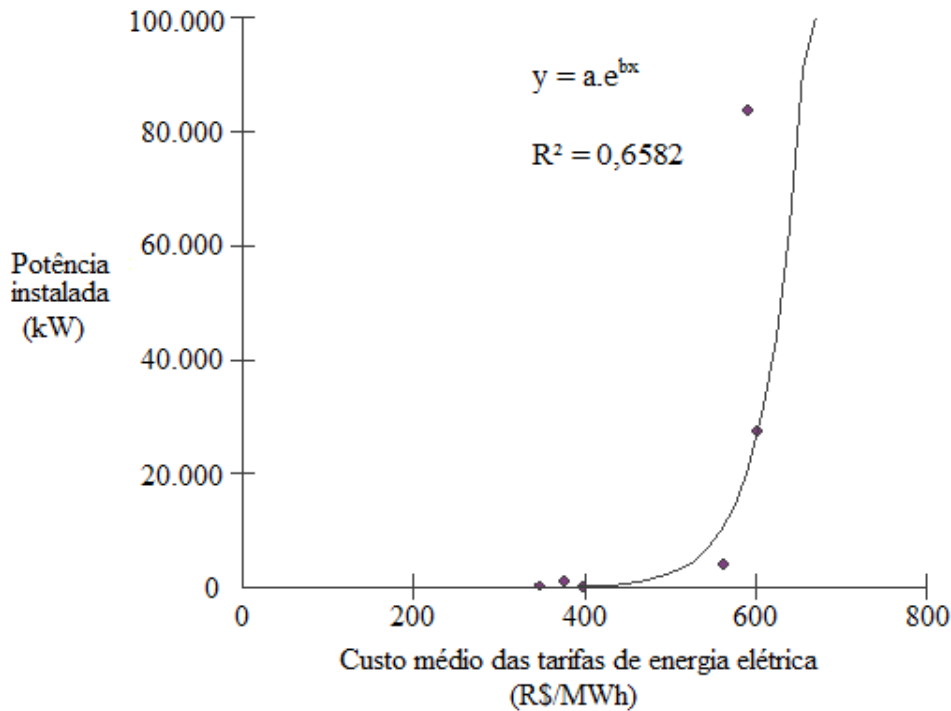


Fonte: BRASIL (2018c)

Então, em geral, verifica-se um aumento expressivo da GD na região SE em todas as seis classes de consumidores, principalmente a partir de 2015. Tais crescimentos podem ser explicados pelo cenário de elevação dos preços das tarifas de energia elétrica, uma vez que o valor da tarifa média com tributos (R\$/MWh) influenciou na potência instalada entre os anos de 2012 e 2017 (Figura 11).

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Figura 11. Diagrama de dispersão de dados entre o custo médio das tarifas de energia elétrica (R\$/MWh) e a potência instalada (kW) por GD na região SE entre 2012 e 2017



Na Figura 11, é mostrada a equação que mais se aproximou do conjunto de pontos representados no diagrama de dispersão, mostrando a variação entre essas duas variáveis, em que o R^2 foi igual a 0,6582 e $p = 0,05$ em um IC de 95%. Isso mostrou uma tendência de que os consumidores buscaram meios para reduzir os custos com eletricidade e encontraram na GD uma alternativa economicamente viável.

Outro fator para explicar o fenômeno de crescimento mostrado na Figura 10 está relacionado com a alteração da RN nº482/2012 pela RN 687/2015, reforçando as políticas de incentivo à GD. Com isso, ao final de 2017, a classe residencial deteve 9.060 instalações de sistemas de GD (81%) e 37.526,54 kW de potência (30,39%). Porém, a classe comercial contabilizou 1.439 instalações com instalada de 59.246,07 kW (47,55%) (Tabela 2).

Tabela 2. Número total de instalações e potência instalada por classe de consumidor no período de 2012 a 2017

| Classe de Consumidor | Número de instalações | Potência instalada (kW) |
|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Residencial | 9.060 | 37.526,54 |
| Comercial | 1.439 | 59.246,07 |
| Industrial | 190 | 13.248,05 |
| Rural | 398 | 11.386,43 |
| Poder público | 72 | 1.704,21 |
| Serviço público | 26 | 948,54 |
| Iluminação pública | 1 | 2,00 |
| Total | 11.186 | 124.061,84 |

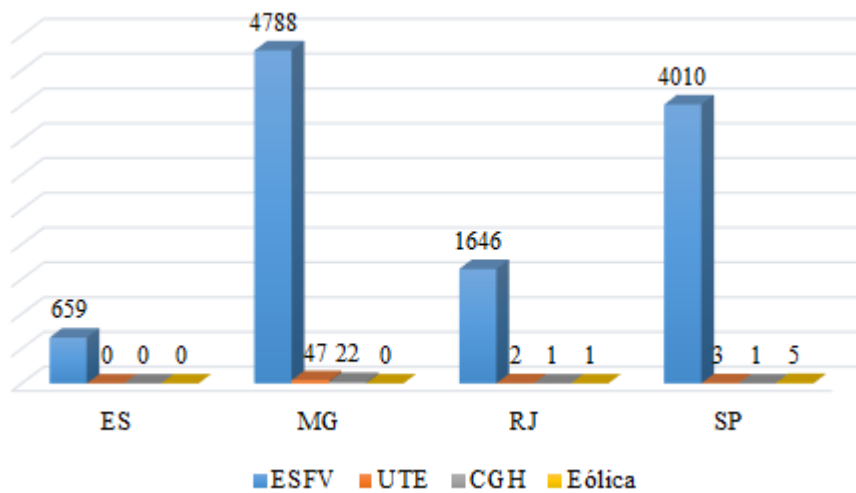
Fonte: BRASIL (2018c)

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Com resultados menos expressivos, encontram-se as classes industrial com 190 sistemas instalados e potência total de 13.248,05 kW e rural com 398 sistemas e 11.386,43 kW. Com ínfima participação na GD, encontram-se as classes de poder público, serviço público e iluminação pública, justamente classes de consumidores que, se a GD estivesse instalada, traria um benefício mais significativo para toda a sociedade tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

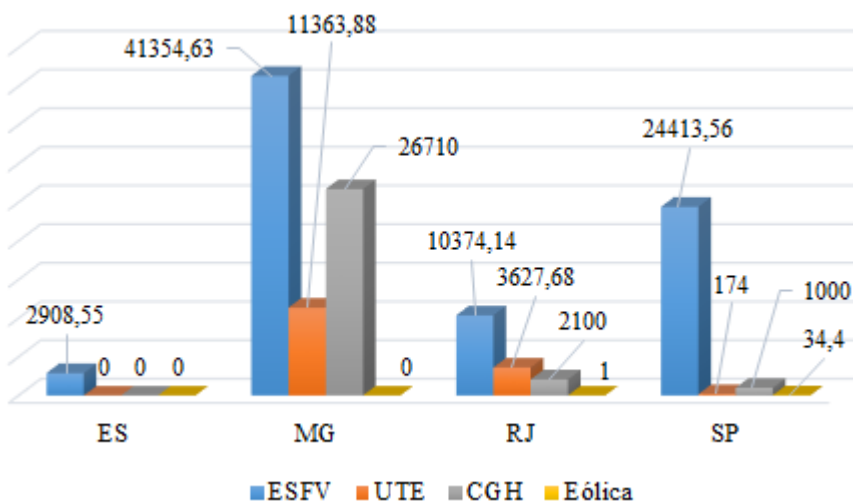
As figuras 12 e 13 mostram a participação de cada estado em número de instalações e a potência instalada, em kW, respectivamente. Nelas, a energia solar fotovoltaica (ESFV) foi a fonte de energia mais instalada e com maior potência instalada. Observa-se também a participação, em potência instalada, das usinas termoeletricas (UTE)⁴, centrais geradoras hidroelétricas (CGH) e eólica.

Figura 12. Número de instalações por estados da região SE e tipo fonte de energia utilizada para GD



Fonte: BRASIL (2018c)

Figura 13. Potência instalada, em kW, por estados da região SE e tipo fonte de energia utilizada para GD



Fonte: BRASIL (2018c)

⁴ Fonte primária de energia: floresta, resíduos sólidos urbanos e agrícolas (BRASIL, 2018c).

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos

Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

Observa-se, então, que o estado de Minas Gerais obteve o maior número de sistemas instalados (4.788 instalações), seguido de São Paulo com 4.010 sistemas, Rio de Janeiro com 1.646 e, por último, o Espírito Santo com apenas 659 instalações no período pesquisado. Mas, em todos os estados, observa-se a maciça utilização de sistemas de ESFV em detrimento aos outros tipos de fontes de energia (Figura 12).

Logo, em relação à potência instalada por estado e tipo de fonte de energia utilizada (Figura 13), verifica-se, novamente, a prevalência da ESFV em todos os estados, em que Minas Gerais veio novamente em primeiro lugar com 41.354,63 kW, seguido por São Paulo com 24.413,56 kW, Rio de Janeiro com 10.374,14 kW e, por último, o Espírito Santo com 2.908,55 kW. Mas, em percentual, no Espírito Santo a ESFV assumiu 100% da GD do estado, em São Paulo a ESFV deteve 95,28%, em Minas Gerais foi de 52,065% e no Rio de Janeiro foi de 64,42%.

Aliada à crise hidroenergética do período, outros fatores contribuíram para o crescimento significativo da ESFV na região SE, a saber:

- o potencial de irradiação solar da região SE (aproximadamente metade do estado de Minas Gerais tem radiação solar entre 5,5 a 6 kWh/m².dia e a outra parte do estado entre 4,5 e 5 kWh/m².dia; São Paulo, em sua maioria, tem valores de radiação solar variando entre 4 e 5,5 kWh/m².dia, todavia o norte do estado tem radiação solar entre 5,5 e 6 kWh/m².dia; já os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo têm radiação variando entre 4 e 5 kWh/m².dia) (NREL, 2016);
- o potencial para implantação física dos sistemas de ESFV em telhados tanto de residências como de estabelecimentos comerciais (BALFOUR; SHAW; NESH, 2016; VILLALVA, 2015);
- o estímulo dado pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), mediante o Convênio ICMS nº 16 de 22 de abril de 2015 que autorizou a concessão de isenção do ICMS para a energia excedente produzida na GD sob regência RN 482/2012 (BRASIL, 2016b);
- a Lei 13.169 de 6 de outubro de 2015 que no seu Art. 8º que extinguiu os encargos tributários sobre a energia elétrica excedente injetada na rede de distribuição de eletricidade por meio da GD (BRASIL, 2018b);
- a alteração da RN 482/2012 pela RN 687/2015 da ANEEL, diminuindo a burocracia para homologação dos sistemas e incorporando outras modalidades de GD além da geração na própria unidade consumidora (BRASIL, 2016c);
- a redução gradativa nos preços dos equipamentos que compõem os sistemas de energia solar fotovoltaica (módulos fotovoltaicos, estrutura de fixação dos módulos, inversores, etc.). Como exemplo, pode-se destacar o preço, em US\$/W, dos módulos fotovoltaicos tipo policristalino de silício. Esses módulos, em 2012, custavam cerca de US\$0,80/W e ao final de 2017 o mesmo passou a custar US\$0,20/W (ENERGIA..., 2019).

Entretanto, além da ESFV, destacam-se as CGHs e UTEs nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Em Minas Gerais, a CGH se destacou como segunda fonte de energia para GD e assumiu uma potência de 26.710 kW (33,67%) seguida da UTE com 11.363,88 kW (14,31%). Já no Rio de Janeiro, as UTEs assumiram uma potência instalada de 3.627,68 kW (22,53%) enquanto as CGHs tiveram uma potência de 2.100 kW (13,04%). Em São Paulo, a participação das outras fontes de energia além da ESFV foi inexpressiva.

Os resultados supracitados expuseram a discrepância na utilização das fontes de energia até o ano de 2017, uma vez que os estados têm potenciais que poderiam ser mais bem utilizados, tais como: eólico, biomassa a partir de resíduos urbanos e agrícolas (sólido, líquido e gasoso) e, hídrica (principalmente nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo).

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos

Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

5 Considerações finais

Assim, a crise hidroenergética instalada no Brasil a partir de 2012 ocasionou impactos socioeconômicos e ambientais. Com relação aos impactos socioeconômicos, a crise acarretou o aumento no custo da energia elétrica para todas as classes de consumidores, sendo que na região SE as classes residencial e comercial sofreram os maiores reajustes. Na questão ambiental, a crise hidroenergética contribuiu no aumento das emissões do CO_{2eq} nos estados da região SE do Brasil.

Com isso, os consumidores buscaram na GD por meio de FRE uma alternativa economicamente viável para diminuição dos custos com energia elétrica. Sendo, a ESFV a fonte de energia mais utilizada na GD em todos os estados independentemente da classe de consumidores, uma vez que fatores relacionados ao potencial solar da região e políticas públicas de âmbito nacional contribuíram para tal crescimento.

A pesquisa, também, mostrou que as classes residencial e comercial foram as que obtiveram o maior número de instalações e potência instalada de GD por ESFV, posto que ela tem uma facilidade de implementação nesses tipos de consumidores da ESFV se comparada às outras fontes de energia, por exemplo a eólica.

Entretanto, no período estudado, observou-se que as classes do poder público, serviço público e iluminação pública ficaram aquém em participação na GD, porém essas classes têm considerável potencial para implantação física de sistemas de GD, contribuindo como: exemplo para os demais consumidores; aumento da eficiência dos prédios e serviços públicos; reduzindo os custos para as administrações públicas e consequentemente, os cidadãos; além de reduzir as emissões CO_{2eq} .

Com isso, a pesquisa apontou que o crescimento da GD por ESFV na região SE deu-se a partir da crise hidroenergética instaurada no país e, paralelamente, políticas públicas de domínio nacional de incentivo a essa forma de geração de eletricidade. A crise proporcionou um novo aprendizado para os consumidores em termos de busca por alternativas protetivas contra os aumentos das tarifas de eletricidade durante a variação do ciclo hidrológico.

Referências

ALLAN, G. *et al.* The economics of distributed energy generation: a literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 543–556, Feb. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.064>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114005164?via%3Dihub>. Acesso em: 20 dez. 2015.

AMARAL, A. B. A. *et al.* Solar Energy and Distributed Generation: 2015, a Year of Inflection in Brazil? **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 8, p. 3731-3737, Aug. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7786357>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7786357>. Acesso em: 10 abr. 2017.

ANDRADE GUERRA *et al.* Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 197-210, 15 Sept. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.082>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261401021X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 out. 2015.

BALFOUR, J.; SHAW, M.; NASH, N. B. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos

Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

BARBOSA FILHO, F. H. A crise econômica de 2014/2017. **Estudos Avançados**, v. 89, n. 31, p. 51-60, jan./abr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000100051&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 11 jun. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisas Energéticas. **Balanco Energético Nacional 2019, ano base 2018**. Disponível: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 17 jul. 2019a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisas Energéticas. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-459/Resenha%20Mensal%20-%20Junho%202019_vf.pdf. Acesso em: 18 jul. 2019b.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei 12.783, de 11 de janeiro de 2013**. Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária; altera as Leis 10.438, de 26 de abril de 2002, 12.111, de 9 de dezembro de 2009, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 10.848, de 15 de março de 2004; revoga dispositivo da Lei 8.631, de 4 de março de 1993; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12783.htm. Acesso em: 20 fev. 2018a.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. **Lei 13.169, de 6 de outubro de 2015**. Altera a Lei 7.689, de 15 de dezembro de 1988, para elevar a alíquota da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido, CSLL em relação às pessoas jurídicas de seguros privados e de capitalização, e às referidas nos incisos I a VII, IX e X do § 1º do Art. 1º da Lei Complementar 105, de 10 de janeiro de 2001; altera as Leis 9.808, de 20 de julho de 1999, 8.402, de 8 de janeiro de 1992, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 10.833, de 29 de dezembro de 2003, 11.033, de 21 de dezembro de 2004, 12.715, de 17 de setembro de 2012, 9.249, de 26 de dezembro de 1995, 11.484, de 31 de maio de 2007, 12.973, de 13 de maio de 2014, 10.150, de 21 de dezembro de 2000, e 10.865, de 30 de abril de 2004; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13169.htm. Acesso em: 20 fev. 2018b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/proinfra>. Acesso em: 17 jun. 2018a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>. Acesso em: 17 jun. 2018b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração distribuída**. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp. Acesso em: 17 jun. 2018c.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa Pesquisas Energéticas. **Leilões**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes>. Acesso em: 18 jun. 2018c.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa Pesquisas Energéticas. **Resenha**: consumo de eletricidade aumentou 3,8% em maio. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/>

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos

Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-159/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Maio%202012.pdf#search=consumo%20de%20energia%202012. Acesso em: 18 jun. 2018d.

BRASIL. Empresa Brasil de Comunicação. **Crescimento de renda aumenta poder de compra do trabalhador**. Disponível em: <http://www.ebc.com.br/2012/09/crescimento-de-renda-aumenta-poder-de-compra-do-trabalhador>. Acesso em: 18 jun. 2018e.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Conselho Nacional Fazendário. **Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015**. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15. Acesso em: 3 jun. 2016a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **iNDC (Contribuição Nacionalmente Determinada)**. <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL%20iNDC%20portugues%20FINAL.pdf>. Acesso em: 11 out. 2016b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição, PRODIST. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2016c.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030. Acesso em: 6 nov. 2016d.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2015.

CARLEY, S. Distributed generation: an empirical analysis of primary motivators. **Energy Policy**, v. 37, n. 5, p. 1648-1659, May 2009. DOI: <https://doi:10.1016/j.enpol.2009.01.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030142150900010X>. Acesso em: 11 jun. 2017.

DILMA confirma redução na conta de luz e critica “pessimistas”. **Globo, G1**, 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/noticia/2013/01/dilma-confirma-reducao-na-conta-de-luz-e-critica-pessimistas.html>. Acesso em: 18 jun. 2018.

ENERGIA solar para todos: preços caem 30% em 2018. **Portal Solar**, 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/uncategorized/energia-solar-para-todos-precos-caem-30-em-2018.html>. Acesso em: 24 jul. 2019.

ESTUDO PRÁTICO: Região Sudeste do Brasil. Disponível em: <https://www.estudopratico.com.br/regiao-sudeste-do-brasil/>. Acesso em: 19 jul. 2019.

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

GEORGESON, L.; MASLIN, M.; POESSINOUW, M. Clean up Energy Innovation. **Nature**, v. 538, p. 27–29, Oct. 2016. DOI: <https://10.1038/538027a>. Disponível em: <https://www.nature.com/news/clean-up-energy-innovation-1.20718>. Acesso em: 18 jun. 2018.

GILS, H. C.; SIMON, S.; SORIA, R. 100% Renewable Energy Supply for Brazil: The Role of Sector Coupling and Regional Development. **Energies**, v. 10, n. 11, p. 1–22, Nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/en10111859>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/11/1859>. Acesso em: 11 jun. 2017.

GOLDEMBERG, J. O estado atual do setor elétrico brasileiro. **Revista USP**, n. 104, p. 37-44, mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i104p37-44>. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/106751>. Acesso em: 11 jun. 2017.

HUNT, J. D.; STILPEN, D.; FREITAS, M. A. V. A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, p. 208-222, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118300613?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jul. 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatística. *In*: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Sistema de Contas Nacionais Trimestrais**. [Brasília, DF]: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novportal/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?t=series-historica>. Acesso em: 18 jun. 2018.

INM. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Clima: Precipitação total anual. [Brasília, DF], 2019. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual>. Acesso em: 19 jul. 2019.

MENDES, L. F. R.; STHEL, M. S. Thermoelectric power plant for compensation of hydrological cycle change: environmental impacts in Brazil. **Case Studies in the Environment**, v. 1, n. 1, p. 1-7, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1525/cse.2017.000471>. Disponível em: <https://online.ucpress.edu/cse/article/1/1/1/34497/Thermoelectric-Power-Plant-for-Compensation-of>. Acesso: 3 jan. 2018.

NREL. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **MapResearch**: Brazil. Disponível em: <http://en.openei.org/w/index.php?title=File:NREL-brazil-glo.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2016.

ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. Resultados da operação: Histórico da operação. [Brasília, DF], 2018. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>. Acesso em: 17 jun. 2018.

PIRES DO RIO, G. A.; DRUMMOND, H. R.; RIBEIRO, C. R. Água: a urgência de uma agenda territorial. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 4, p. 121-136, dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0075r1v1942016>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2016000400121&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 19 ago. 2020.

O crescimento da geração distribuída no contexto da crise hidroenergética na região Sudeste do Brasil: aspectos ambientais e socioeconômicos
Luiz Fernando Rosa Mendes, Marcelo Silva Sthel, Marcenilda Amorim Lima

PODER de compra do salário mínimo quase dobra em três anos. **Revista Fórum**, 2018. Disponível em: <https://www.revistaforum.com.br/o-salario-minimo-e-o-poder-de-compra-de-fhc-a-dilma-rousseff/>. Acesso em: 18 jun. 2018.

PRADO, F. A. *et al.* 2016. How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 1132-1136, Jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115010205?via%3Dihub>. Acesso em: 3 mar. 2016.

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. Barueri: Manole, 2011.

SILVA, N. F. *et al.* Wind Energy in Brazil: From the Power Sector's Expansion Crisis Model to the Favorable Environment. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 88, p. 208-222, Jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.054>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113000105?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mar. 2018.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES BRASIL. **Emissões por setor**: energia. Disponível em: http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission. Acesso em: 2 ago. 2019.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. Benefits and legacy of the water crisis in Brazil. **Revista Ambiente & Água [on-line]**, v. 10, n. 2, p. 234-239, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1629>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-993X2015000200234&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 3 mar. 2018.

TEIXEIRA, F. N. *et al.* In: LORA, E. E. S.; HADDAD, J. (coord.). **Geração distribuída**: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. p. 1-27.

VAZQUEZ, M.; HALLACK, M. The Role of Regulatory Learning in Energy Transition: The Case of Solar PV in Brazil. **Energy Policy**, v. 114, p. 465-481, Mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.066>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421517308121?via%3Dihub>. Acesso em: 16 abr. 2018.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica**: conceitos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

Agradecimentos

Os autores desta pesquisa agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).