



Por Fernando Ramos Martins, Enio Bueno Pereira e Maria Francisca Velloso Azeredo*



CAPÍTULO II

COMPLEMENTARIDADE ENTRE A ENERGIA SOLAR E A ENERGIA HIDROELÉTRICA



A oferta de energia é condição básica para o desenvolvimento socioeconômico de uma nação. O mundo tem passado por um intenso crescimento populacional e o aprimoramento da qualidade de vida e do bem-estar humano está acarretando um forte crescimento na demanda de energia, principalmente nos países em desenvolvimento, o que traz consigo uma crescente preocupação com os impactos socioambientais decorrentes.

A demanda de energia crescente vem conduzindo profundas mudanças no meio ambiente, colocando a humanidade diante de novos desafios em um planeta com recursos naturais finitos. Além disso, o crescimento da demanda energética, somado à perspectiva de redução dos suprimentos de fontes convencionais de energia, tem sido motivo de preocupação com implicações na economia global. Qualquer país que busque alcançar indicadores de desenvolvimento humano mais elevados, necessita de segurança em seu sistema energético. Em relatório, a Agência Internacional de Energia (IEA, 2014) afirma que a demanda mundial de energia crescerá mais de um terço até 2035. No entanto, apesar do esforço realizado em diversos países, sobretudo na Comunidade Europeia, com a adoção de políticas energéticas focadas no incentivo do uso de fontes renováveis de energia, o mundo não tem conseguido colocar o sistema global de energia numa trajetória mais sustentável.

Diversos fatores influem no consumo de eletricidade de um país, como o produto interno bruto e a taxa de crescimento econômico. O Brasil vem apresentando consumo inferior ao consumo médio mundial nos últimos anos, mas o governo brasileiro tem executado programas e ações que visam promover o acesso a eletricidade em todo o território nacional de modo que um aumento no consumo per capita de eletricidade é esperado para os próximos anos. Os parâmetros econômicos e sociais em conjunto com valores da série histórica do consumo de energia possibilitam estudar e prever valores da demanda futura de energia. O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2026), prevê o consumo per capita de eletricidade de 3370kWh/hab. para 2026.

Aproveitamento dos recursos renováveis

Em termos mundiais, houve pequeno crescimento da contribuição da hidroeletricidade no mundo entre 1973 e 2014, de 1,8% para 2,4% (IEA, 2016). Atualmente no Brasil, cerca de 62% da demanda de energia elétrica é suprida pela hidroeletricidade por meio de usinas com grandes reservatórios de acumulação de água. No entanto, todas as principais bacias hidrográficas das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil já foram exploradas quase integralmente para a composição da base do Sistema Interligado Nacional (SIN). Cerca de 45% do potencial remanescente encontra-se na Região Amazônica, onde a topografia, uso do solo e outras características ambientais tornam desfavorável formação de reservatórios de acumulação em razão da necessidade de inundações de grandes áreas.

A hidroeletricidade apresentou uma redução significativa no Brasil, passando de 83% de participação em 2006 para 61% em 2017, adotando como referência a capacidade total instalada no Sistema Elétrico Brasileiro. As restrições socioambientais e o enfrentamento da opinião pública em questões relativas à formação de reservatórios de acumulação em hidroelétricas na região amazônica têm contribuído para a redução da taxa de crescimento da capacidade instalada desta fonte de energia. Além disso, a escassez de investimento na construção e implementação de novas plantas e a ocorrência de crises hídricas intensas em grande parte do território brasileiro levaram à diversificação da matriz elétrica brasileira com o uso de plantas térmicas alimentadas por combustíveis fósseis e biomassa.

Foi a partir da primeira crise hídrica que a geração térmica passou a receber atenção de políticas energéticas brasileiras com o intuito de garantir a segurança do SIN em períodos prolongados de seca. Desde então, as usinas termelétricas têm desempenhado um papel de complementariedade na geração elétrica. É possível notar na Figura 1 o crescimento acentuado

Unitron
ENERGIA DO SOL.

COMO VOCÊ ESTÁ APROVEITANDO
A ENERGIA SOLAR?

SEJA QUAL FOR A SUA
NECESSIDADE
A UNITRON TEM TODOS
OS ELEMENTOS PARA
O APROVEITAMENTO DE
ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA.

Módulos/Painéis



Luminárias Solares



Inversores



Controladores



Conexão à rede



Postes Solares



da geração térmica a partir de 2012. A Figura 1 também permite observar a redução da geração hidroelétrica entre os anos 2000 a 2003 e entre 2012 e 2015, associadas às duas crises hídricas causadas por período prolongado de seca extrema. Nos dois períodos em destaque, a quantidade de água armazenada nos reservatórios das principais UHE brasileiras sofreu redução significativa afetando não apenas a geração de eletricidade, mas também outros usos do recurso hídrico, como abastecimento urbano e irrigação de culturas agrícolas. Programas de incentivo às energias alternativas e renováveis, como o Proinfa, também foram adotados a partir de 2001 para diversificação da matriz elétrica do Brasil. Como resultado deste programa, destaca-se o intenso crescimento da geração eólica atingindo participação de 6,5% na matriz elétrica nacional em 2017, segundo informações disponíveis Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

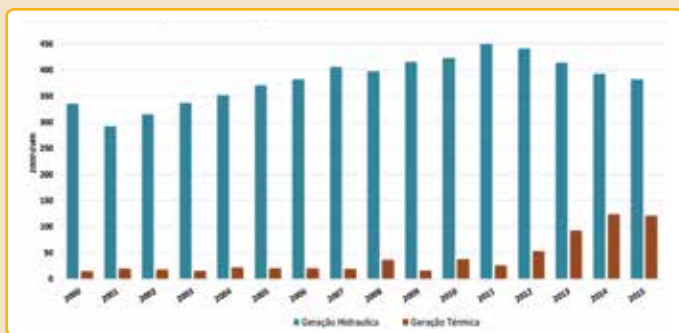


Figura 1 – Geração hidráulica e térmica, de 2000 até 2015 com base em dados disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS, 2016).

Diante de tais perspectivas, a expansão do Sistema Elétrico Brasileiro deve ser analisada de forma integrada tomando como base não apenas conhecimento sobre a disponibilidade de recursos e fontes de energia, mas também aspectos relativos às dimensões social, ambiental, técnica e econômica. Dessa forma, o planejamento precisa sinalizar as mudanças necessárias para promover a diversificação de fontes de energia reduzindo a vulnerabilidade do sistema elétrico nacional à variabilidade climática e contribuindo para o aumento da segurança energética sem comprometer os compromissos assumidos pelo Brasil nos acordos internacionais para controle das emissões de gases do efeito estufa.

Nos últimos anos, a geração fotovoltaica destacou-se com o maior aumento porcentual de capacidade instalada no mundo. Em diversos países foram aplicados incentivos fiscais e econômicos para desenvolvimento da geração fotovoltaica em termos de avanço tecnológico e expansão de mercado. A preocupação com a redução de emissões de gases de efeito estufa estimulou o desenvolvimento tecnológico no setor fotovoltaico, porém, a redução significativa do valor dos módulos foi determinante para tal crescimento do mercado observado na última década. Atualmente, a geração fotovoltaica mostra competitividade econômica diante de tecnologias eólicas e termelétricas em diversas regiões do mundo, incluindo o Brasil.

No Brasil, as primeiras aplicações da tecnologia fotovoltaica foram relativas à telecomunicação, à eletrificação rural, aos serviços

públicos e ao bombeamento de água. Em 2017, somente 0,71% dos empreendimentos de geração em operação no Brasil correspondem a fonte solar, segundo a Aneel, no entanto, estudo desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima que a mesma fonte estará representando cerca de 3,3% da matriz em 2024. Atualmente, o crescimento da geração solar acontece através de contratações de parques fotovoltaicos por meio do leilões de energia realizados especificamente para esta tecnologia de geração ou por meio da micro/minigeração seguindo a regulamentação para a geração distribuída no país. Segundo dados divulgados pela EPE, o primeiro Leilão de Energia de Reserva (LER) específico para energia solar ocorreu em 2014 e foram contratados 31 projetos com potência de 1048 MWp (EPE, 2014). Em agosto de 2015, ocorreu outro LER com a seleção de 382 projetos cadastrados dos quais 30 foram contratados com potência total de 1043 MWp.

Com base nas informações sobre a disponibilidade e variabilidade do recurso de energia solar incidente no território nacional apresentadas na segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), entende-se que a geração fotovoltaica pode contribuir como uma energia complementar para garantir a segurança energética do Brasil em momentos de crise hídrica sem acarretar o aumento das emissões de gases de efeito estufa pelo setor de geração. A complementaridade entre a geração solar e hidroelétrica também pode trazer outros benefícios em regiões com escassez hídrica como o semiárido brasileiro. O uso combinado da geração solar com a geração hidroelétrica pode manter níveis de acumulação de água nos reservatórios viabilizando a geração em períodos de crise hídrica ou para destinação para outras finalidades e demandas associadas com abastecimento urbano, irrigação de culturas, produção agropecuária e preservação de áreas de proteção ambiental.

Deve-se ter em mente os desafios tecnológicos que a inserção da geração da geração fotovoltaica em grande escala traz para o sistema elétrico. A não possibilidade de geração contínua (energia despachável) por fatores relacionados à sua intermitência natural tornam a distribuição da energia fotovoltaica mais complexa que a hídrica e a termelétrica. Em adição à variação dos ciclos diário e sazonal, perfeitamente conhecidos e previsíveis, as flutuações randômicas de irradiância solar podem ser observadas em escala de tempos diferentes, com médio e curto prazo diante de passagem de nuvens dependendo de tamanho e velocidade de deslocamento.

A variabilidade temporal do recurso solar faz com que as flutuações na rede devidas à geração fotovoltaica também passem a fazer parte do sistema. Contudo, esse problema pode ser minimizado com base em tecnologias já existentes ou em desenvolvimento, seja de forma passiva pelo número de sistemas fotovoltaicos e pela sua dispersão geográfica, ou de forma ativa com uso de baterias eletroquímicas, a produção de hidrogênio associado à célula a combustível, os volantes de inércia, as bobinas supercondutoras, os supercapacitores, o ar comprimido, o bombeamento reversível de água em hidrelétricas e o armazenamento térmico na forma de calor. Porém, em se tratando de um mecanismo tão complexo,

faz-se necessária uma busca prévia de soluções que mantenham estável e seguro o despacho de energia pelo Sistema Interconectado Nacional (SIN). Estudo realizado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2014) afirma que, no geral, uma participação energética da geração intermitente de 25% é suportada em todos os casos, com destaque para o Brasil que, devido a sua matriz elétrica baseada em hidrelétricas, possui grande flexibilidade. ALMEIDA (2017) afirma que medidas decentralizadoras podem vir a ser necessárias no Brasil uma vez que a região Nordeste do Brasil concentra a maioria das usinas listadas nos leilões de Energia de Reserva. O autor afirma que, se a tendência de instalar usinas fotovoltaicas de grande porte nesta região permanecer, as redes de transmissão que interligam o subsistema nordestino aos demais subsistemas que compõem o SIN deverão ser adaptadas a uma nova realidade.

Estudo de caso para geração híbrida hidro-fotovoltaica

A região do Nordeste do Brasil (NEB) é aquela com o maior potencial de energia solar do país, com média anual estimada em 5.5 kWh/m² de irradiação solar global diária. A região do semiárido, no interior do NEB, apresenta períodos prolongados de estiagens e, assim, recebe grande incidência de radiação solar do país. É exatamente no semiárido nordestino que fica localizada a maioria das usinas hidrelétricas da Bacia do São Francisco. O Rio São Francisco tem sua nascente no Parque Nacional da Serra da Canastra, em Minas Gerais, e chega a sua foz, no Oceano Atlântico, entre Alagoas e Sergipe, percorrendo cerca de 2.800 km de extensão. O Velho Chico atravessa três diferentes biomas – Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica passando pelos Estados de Minas Gerais (MG), Distrito Federal (DF), Bahia (BA), Pernambuco (PE), Alagoas (AL) e Sergipe (SE). As usinas hidrelétricas instaladas no Rio São Francisco na região do NEB são UHE Xingó, UHEs Paulo Afonso I, II, III e IV, UHE Apolônio Sales, UHE Luiz Gonzaga e UHE Sobradinho, totalizando 9.971.501 kW de potência instalada, o que representa 9,9% do total do país (ANA, 2017; CHESF, 2017).

Em média, a Usina Hidrelétrica de Sobradinho contribui com cerca de 7% de toda a geração da Região Nordeste. A média anual de geração da usina em 26 anos (1990 – 2015) é de 3.715,23 GWh. A maior geração total anual deu-se em 2007, quando foi gerado 5.141,29 GWh, e a mínima foi no ano de 2015, com um total de 1.683,90 GWh, uma diferença de 67,25%. O gráfico apresentado na Figura 2 mostra o histórico de geração mensal da UHE Sobradinho, a média e os valores mensais do volume útil acumulado na represa de Sobradinho. O fator de capacidade da planta ao longo da sua operação foi de 40,4%.

Percebe-se que, durante o período 2013–2015, a estiagem afetou diretamente a geração na UHE Sobradinho e, em nenhum outro momento, nos 26 anos analisados, a geração e o volume útil atingiram valores tão baixos quanto neste período. O fator de capacidade dessa planta foi de 23% entre os anos de 2013 e 2015 (praticamente metade do fator de capacidade médio) e apenas 18% em 2015.

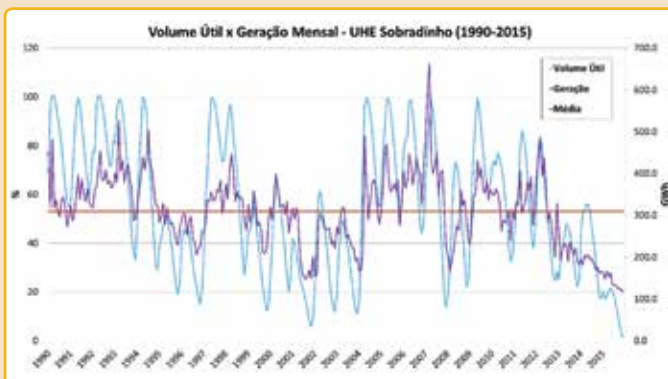


Figura 2 – Série histórica da geração mensal na UHE Sobradinho e da fração do volume de água armazenada em relação ao volume útil do reservatório entre 1990 e 2015. Fonte: Velloso (2017).

Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, os conflitos pelos usos múltiplos da água estão ligados às atividades de atendimento ao abastecimento humano, agricultura irrigada, geração de energia, navegação, diluição de efluentes urbanos, industriais e da mineração e ainda a manutenção dos ecossistemas. A irrigação de culturas é a atividade que apresenta maior demanda entre aquelas mencionadas, quase 95% da vazão de consumo. No caso da mineração, o uso se dá para abastecimento de mina de cobre localizada a aproximadamente 80 km do Lago de Sobradinho, no município de Caraíba (BA). A água do reservatório é ainda utilizada para abastecer a Usina Termelétrica Petrolina, da Companhia Energética de Petrolina (CEP).

A Figura 3 apresenta a média anual do total diário de irradiação solar na região da Bacia do São Francisco com base nos dados disponibilizados na Atlas Brasileiro de Energia Solar. Na região do Alto e Médio São Francisco, a irradiação solar apresenta valores entre 4,6 kWh/m².dia e 7,00 kWh/m².dia. A região com maiores índices de irradiação solar está localizada entre o São Francisco Médio e Submédio, tendo uma grande região do entorno do Lago de Sobradinho e registra índices maiores de 7,00 kWh/m².dia.

Estudo desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais avaliou a operação de um sistema híbrido de geração de eletricidade combinando as fontes solar e hídrica na área da UHE de Sobradinho de modo a aproveitar o recurso solar disponível na região e a infraestrutura do SIN já disponível no local.

Os resultados mostraram que a adoção de plantas fotovoltaicas contribuiria para o aumento do fator de capacidade da geração na UHE Sobradinho, evitaria a emissão de gases de efeito estufa em plantas térmicas em períodos prolongados de seca extrema, e ainda tonaria possível o acúmulo de água no reservatório. As simulações realizadas para o período de 2006–2015 mostraram que o aproveitamento solar através da geração fotovoltaica na região possibilitaria um aumento de 11% a 91% na geração de eletricidade em relação ao que foi gerado pela UHE Sobradinho, dependendo das dimensões da planta fotovoltaica adotada. O aproveitamento do recurso solar evitaria a emissão de até a

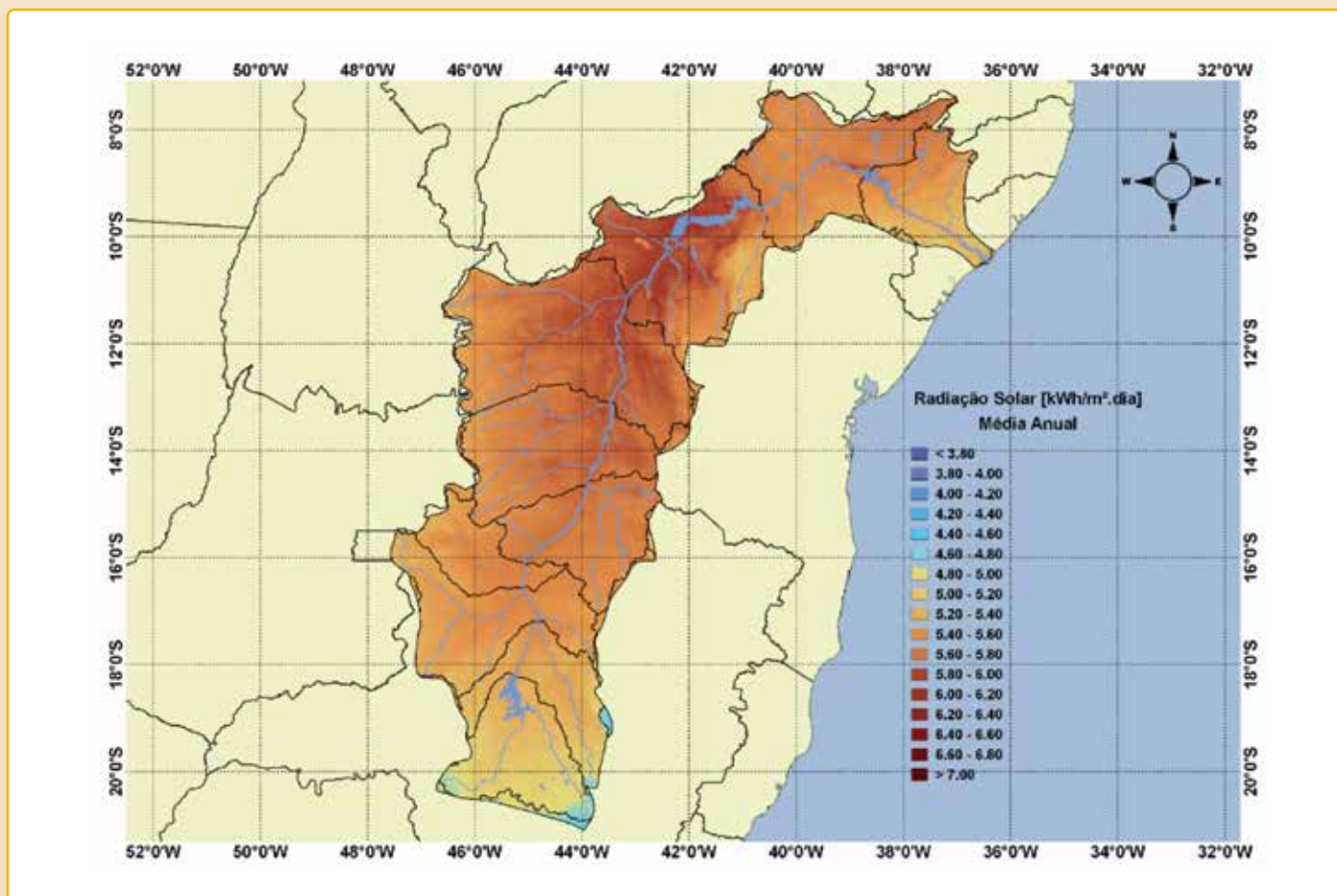


Figura 3 – Média anual do total diário da irradiação solar global na bacia do Rio São Francisco (kWh/m².dia).

81.000 t CO₂ lançados para a atmosfera no período dos dez anos analisados se a mesma quantidade de energia fosse gerada com o uso de plantas térmicas alimentadas por gás natural. Diante da demanda de água do reservatório da UHE Sobradinho para usos múltiplos, mesmo a menor planta fotovoltaica simulada, ocupando uma área equivalente a 0,05% do reservatório de Sobradinho, foi capaz de suprir a totalidade da demanda de água do reservatório da UHE Sobradinho.

No período em que foi registrado forte déficit hídrico, entre os anos de 2013 e 2015, as plantas fotovoltaicas simuladas chegariam a gerar de 19,3% a 154,5%, em relação ao que a UHE Sobradinho produziu no mesmo período. O uso das plantas de geração solar possibilitaria um acúmulo de volume de água no reservatório de até 13,7% do seu volume total, o que se equivale a 4675 Hm³ de água.

O aproveitamento solar para geração de energia elétrica fotovoltaica representa um fator de resiliência aos extremos climáticos da região do semiárido nordestino, pois é capaz de aumentar a segurança energética e gerar um acúmulo maior de água em uma região que sofre estiagem prolongada.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/saladesituacao/v2/saofrancisco.aspx>

Agência Nacional de Energia Elétrica (2018) Banco de informações de geração. <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>

ALMEIDA, M. P. (2017). *Implicações técnicas da inserção em grande escala da geração solar fotovoltaica na matriz elétrica*. 193 p. São Paulo: EDUSP.

COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO (CHESF). *Descrição do Aproveitamento de Sobradinho*. 2017. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2026*. Rio de Janeiro, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2015). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Rio de Janeiro.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. (2012), *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012. 400 p. ISBN (978-85-314-1113-7).



TEMOS UM CABO, ESPECIALMENTE DESENVOLVIDO, PARA CADA SEGMENTO DE MERCADO

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2014). *World Energy Outlook 2014*. Paris. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlook2014ExecutiveSummaryPortugueseversion.pdf>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2016). *Snapshot of global photovoltaic markets*. Paris. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=266>.

JONG, P.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. A. (2015). *Economic and environmental analysis of electricity generation technologies in Brazil*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 725–739.

NDC (2018). *Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima [arquivo em PDF] disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf*

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS). *Geração de Energia*. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx.

Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Gonçalves, A. R.; Costa, R. S.; Lima, F. J. L.; Rütger, R.; Abreu, S. L.; Tiêpolo, G. M.; Souza, J. G.; Pereira, S. V. (2017) – *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. São José dos Campos: INPE, v.1. segunda edição, p.84.

SANTOS, R. L. P.; ROSA, L. P.; AROUCA, M. C.; RIBEIRO, A. E. D. (2013). *The importance of nuclear energy for the expansion of Brazil's electricity grid*. *Energy Policy*, v. 60, p. 284–289.

TIEPOLO, G. M. *Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná*. 2015. 228 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

TUNDISI, J. G. (2007). *Exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia*. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59, p. 109–117.

Velloso, Maria Francisca. Azeredo, 2017. *Possibilidade de Geração Híbrida Hidro-Solar na Bacia do São Francisco* / Maria Francisca Azeredo Velloso. – São José dos Campos: INPE.

WINEMILLER, K. O.; MCINTYRE, P. B.; et al., (2016). *Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong*. *Science*, v. 351, n. 6269, p. 128–129.



*ENIO BUENO PEREIRA é graduado em Física pela Universidade de São Paulo e doutor em Geociências pela W.M.Rice University, nos Estados Unidos. É pesquisador titular sênior do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia.

FERNANDO RAMOS MARTINS é bacharel em Física pela Universidade de São Paulo, mestre em Tecnologia Nuclear pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e doutor em Geofísica Espacial pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atualmente, é docente adjunto da Universidade Federal de São Paulo campus Baixada Santista.

MARIA FRANCISCA AZEREDO VELLOSO é pesquisadora do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).



CABELAUTO

C A B O S E L É T R I C O S

www.cabelauto.com.br

+55 (35) 3629-2500

