

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/344382235>

Estudo do perfil de complementariedade entre a geração eólica e solar no semiárido brasileiro

Conference Paper · September 2020

CITATIONS

0

READS

23

4 authors:



André Rodrigues Gonçalves

National Institute for Space Research, Brazil

35 PUBLICATIONS 266 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Rodrigo S. Costa

National Institute for Space Research, Brazil

39 PUBLICATIONS 233 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Fernando Ramos Martins

Universidade Federal de São Paulo

185 PUBLICATIONS 1,576 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Enio Pereira

National Institute for Space Research, Brazil

258 PUBLICATIONS 2,255 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Atlas Brasileiro de Energia Solar [View project](#)



INCT - Mudanças Climáticas [View project](#)

Estudo do perfil de complementariedade entre a geração eólica e solar no semiárido brasileiro

Andre Rodrigues Goncalves¹

Rodrigo Santos Costa¹

Fernando Ramos Martins²

Enio Bueno Pereira¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

²Universidade Federal de São Paulo

RESUMO

Uma das soluções mais promissoras para reduzir a intermitência da geração elétrica a nível local é a combinação da geração solar e eólica. No Brasil a construção de plantas solares e eólicas vêm crescendo significativamente, tanto por meio do ambiente regulado, como mais recentemente por meio do ambiente de contratação livre. Estes fatos despertaram o interesse quanto possível complementariedade entre a geração solar e eólica em diversas escalas de tempo. Este estudo se propõe a quantificar o nível de complementariedade para uma planta híbrida hipotética situada no semiárido brasileiro, na região de Petrolina (PE), buscando otimizar sua configuração através da fração solar (FS). Isto é feito através da quantificação da variabilidade da geração híbrida em horizontes horários, diários e mensais, utilizando para isso métricas correlacionadas à qualidade do suprimento de energia. Este trabalho possui como grande diferencial a uso de medições de longo prazo (12 anos) e de alta resolução (30 minutos) de irradiância e vento das plataformas solares e torres anemométricas do projeto SONDA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://sonda.ccst.inpe.br/>). Os resultados mostram que a geração solar apresenta uma variabilidade muito menor em todas as escalas, exceto horárias, quando comparada à eólica. A defasagem observada entre os ciclos sazonais de fator de capacidade (FC) eólico e solar foi de aproximadamente 3 meses, mostrando padrão pouco complementar. Quanto a otimização da FS, foi demonstrada que a combinação ideal depende das métricas e escalas de tempo adotadas, variando de FS de 0,7 que

maximize a geração mínima mensal, a 0,9 que permite o menor desvio-padrão sazonal. Estes resultados confirmam a importância do planejamento espacial das misturas de energia para melhorar a confiabilidade da rede.

Palavras-chave: Energia Solar, Energia Eólica, Complementariedade, Estimativa de Potencial

ABSTRACT

One of the most promising solutions for ensuring the safety and reliability of electricity supply, optimizing the grid, and matching local supply and demand is the hybridization of two or more power sources in a single generation plant. Hybridization will also help to cope with the observed growth of intermittent generation technologies such as the solar and wind, whose resources are still untapped in the energy mix. Although representing less than 1.5% of the energy mix, the solar power generation, consisting primarily of large photovoltaic projects and distributed systems, showed the largest relative growth compared to all other energy resources in the last years. This study aims at quantifying the complementarity level for hypothetical hybrid plant at Petrolina (PE, Brazil) seeking for an optimal solar fraction (SF). This is done through power generation reliability metrics developed for hourly, daily and monthly time frames. The main achievement of this work is the use of long-term (12 years) and high resolution (30 minutes) irradiance and wind data from ground stations operated by SONDA project (<http://sonda.ccst.inpe.br/>) from the National Institute for Space Research (INPE). The study has shown a variable but representative degree of smoothing of the final energy produced by employing different compositions of the solar-wind assortment for each one of the studied location. The optimum share of solar to wind mix depends on time scales of interest, varying from a SF of 0.7, that maximizes the minimum monthly generation, to 0.9 that leads to the minimum standard deviations at seasonal scales. These results confirm the importance of spatial planning of energy mixes to improve grid reliability.

Keywords: Wind energy, Solar energy, Complementarity, Resource Assessment

1. INTRODUÇÃO

A capacidade de geração solar e eólica vem crescendo no Brasil e já impõe um desafio importante para o gerenciamento do sistema elétrico. Usinas híbridas solar-eólicas têm surgido como uma alternativa para redução da intermitência no parque gerador além de reduzir custos pelo compartilhamento de infraestrutura. No entanto algumas questões permanecem em aberto como: qual a combinação entre as fontes solar e eólica que traz maior confiabilidade à geração? Quais são as métricas e escalas de tempo de interesse? Um número crescente de estudos está investigando este assunto a partir de abordagens distintas (FRANCOIS et al., 2014; BETT; THORNTON, 2016). No Brasil o vento já representa 9% da produção anual (BEN, 2019). A energia solar apresenta altas taxas de crescimento nos últimos anos, confirmando os cenários de que se tornará a quarta maior fonte em 2030. A energia hidrelétrica predomina no setor brasileiro de geração de eletricidade respondendo por dois terços da oferta de energia elétrica do Brasil (EPE, 2019). A hidroeletricidade sem dúvida seguirá fortemente presente no parque gerador brasileiro, no entanto a diversificação da matriz contribui para reduzir a vulnerabilidade às secas e, assim, aumentar a segurança energética. A estratégia do governo neste sentido tem sido aumentar a participação de da geração térmica e também de energias renováveis intermitentes como a energia eólica e energia solar fotovoltaica. Este trabalho visa explorar os possíveis ganhos com a hibridização de usinas para um local específico no semiárido brasileiro onde projetos de energia eólica e solar já são rentáveis. Avalia-se a complementaridade de projetos híbridos solar-eólicos sob diferentes perspectivas, avaliando-se métricas e escalas de tempo que podem afetar a parcela ideal entre as fontes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho se propõe a avaliar o desempenho de um parque híbrido solar-eólico hipotético próximo ao município de Petrolina (PE). Trata-se de um local representativo admitindo que as áreas mais relevantes para projetos híbridos de energia eólica no Brasil podem ser definidas pela sobreposição entre regiões de elevado potencial de eólico e solar. A Figura 1 mostra a interseção das áreas acima do 75º percentil (Q3) da densidade de potência para ambas as fontes, obtidos a partir das

bases de dados mais difundidos de potencial de cada fonte (AMARANTE et al., 2001; PEREIRA et al., 2017) Observa-se que o local de estudo está incluído nessa área.

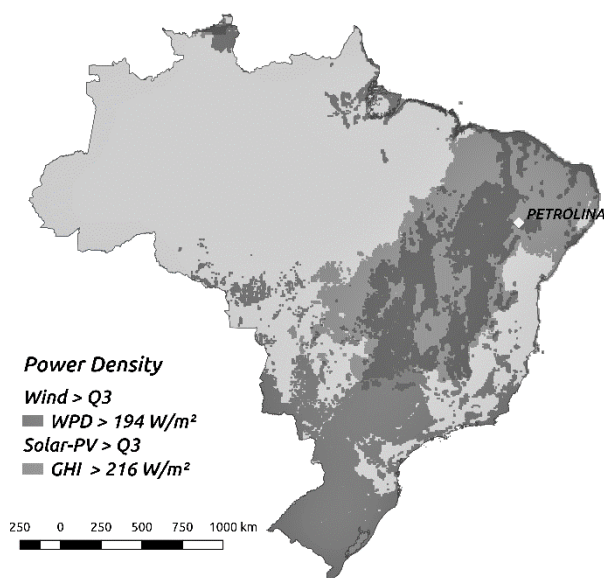


Figura 1 – Sobreposição entre regiões de elevado potencial de eólico e solar Brazil

Foram utilizadas séries temporais com resolução de 30 minutos para a irradiância global e intensidade do vento a 50 metros de altura, compreendendo o período de 2005 a 2016, totalizando 12 anos de dados para a estação de Petrolina (PE), disponibilizados pela rede SONDA <<http://sonda.ccst.inpe.br/>>.

Estes dados foram processados e convertidos em séries de potência usando curvas típicas encontradas na literatura, e posteriormente adimensionalizados pela potência nominal, fornecendo séries de fator de capacidade (FC). A simulação da geração eólica foi realizada para uma velocidade de vento extrapolada para 100 m de altura através de perfis exponenciais. Estas séries foram combinadas em frações solares (FS) incrementais de 10% variando entre uma planta totalmente eólica (FS=0) e outra totalmente solar (FS=1). Para se avaliar o desempenho de projetos híbridos foram calculadas algumas métricas conforme mostrado na Tabela 1. Naturalmente estas métricas não esgotam as análises e outras métricas podem ser elaboradas dependendo da escala de tempo e do parâmetro com maior impacto na operação do sistema em cada local.

Tabela 1 – Métricas utilizadas para avaliação da geração híbrida.

Métricas	
Máximo FC Médio Mensal	FC_{AVGmax}
Mínimo Desvio Padrão da Geração Diária	FC_{SDmin}
Número de Dias com Geração abaixo de 50% do FC Médio	N_{Days50}
Eventos/Mês com > 7h abaixo de 10% do FC Médio	$N_{Hours10}$

3. RESULTADOS

Os FC médios mensais para energia solar e eólica são mostrados separadamente na Figura 2. As curvas sazonais exibem quase ausência de correlação devido ao atraso de 3 meses entre a fase eólica e solar. O CF solar diário apresenta uma dispersão muito menor em torno da média mensal em comparação ao eólico. No perfil sazonal de cada fonte observa-se que o FC solar mensal varia entre 0,14 e 0,21, enquanto o FC eólico mensal varia entre 0,12 e 0,35.

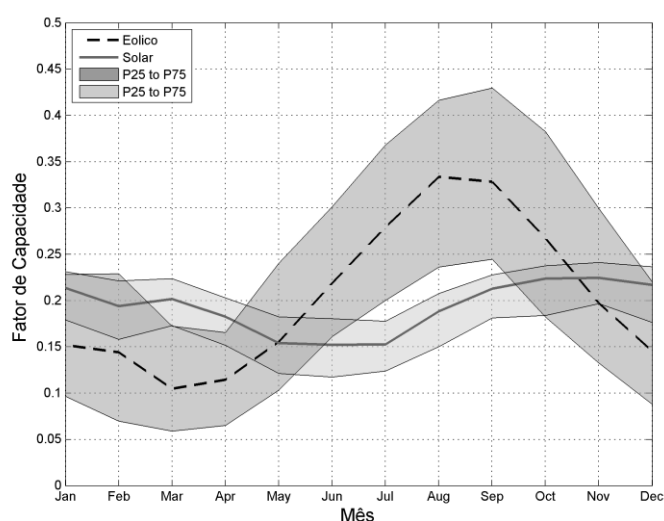


Figura 2 – FC médio mensal e percentis diários P25-P75 simulado para uma planta solares e eólicas em PTR.

Dada a vulnerabilidade sazonal do parque gerador brasileiro, uma das questões investigadas foi a maximização de geração mínima mensal. Os CFs médios mensais para um intervalo de SF representado na Figura 3 mostram que a FS que maximiza a geração mensal mínima está em torno de 0,7 (70% da potência nominal da planta híbrida seria solar).

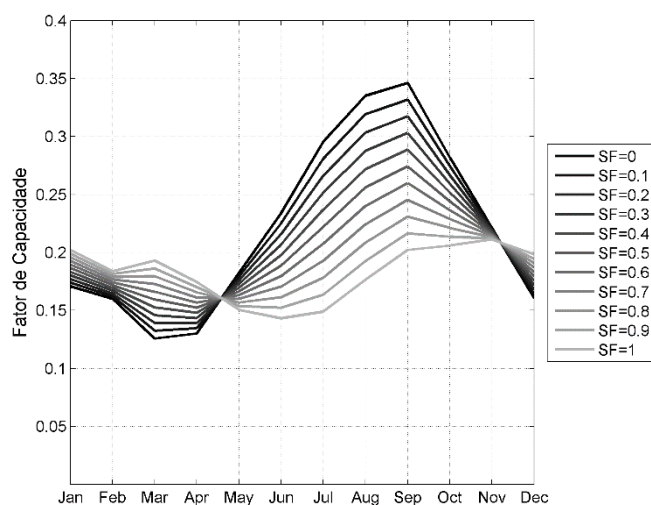


Figura 3 – CF mensal combinado para diferentes frações solares SF.

Outra métrica que remete à redução da variabilidade intrasazonal se refere a minimização dos desvio-padrão dos valores diários de FC combinado. Pela Figura 4 nota-se que uma hibridização com FS = 0,9 fornece a geração mensal mais estável. A maior variabilidade associada a geração eólica fica evidente nas frações solares mais baixas.

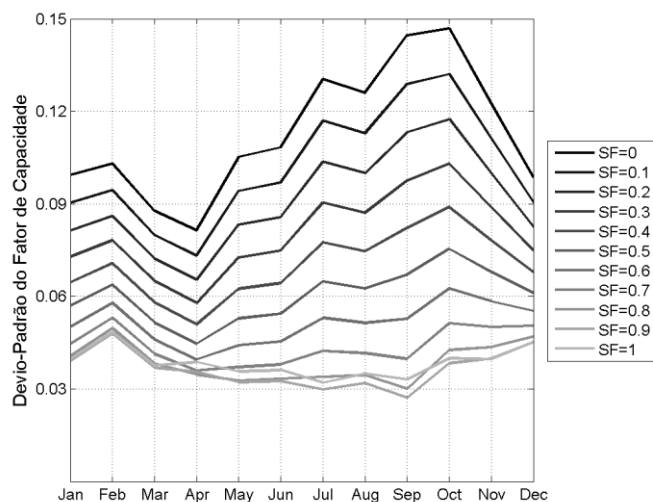


Figura 4 – Desvio padrão CF diário em escalas de tempo mensais para PTR

Longos períodos com geração muito baixa são eventos extremos que demandam maior margem de potência de reserva para operação do sistema elétrico. Na Figura 5, é mostrado que a FS que minimiza o número de eventos em um mês de 7 ou mais horas consecutivas com menos de 10% do FC médio anual varia entre 0,2 a

0,4 ao longo do ano, favorecendo a geração eólica. Naturalmente a geração solar é prejudicada pelo período noturno, mas é curioso notar que uma pequena fração solar (~20%) já reduz pela metade a frequência destes eventos ao longo do ano.

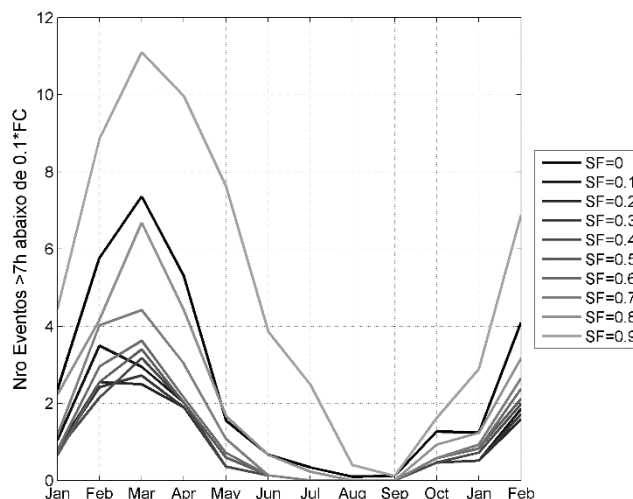


Figura 5 – Número de eventos em um mês de 7 ou mais horas consecutivas com geração abaixo de 10% do FC média anual

Uma outra forma de quantificar a variabilidade mensal da planta híbrida é avaliar o percentual de dias dentro de um determinado mês onde a geração ficou abaixo de um determinado limiar. Na Figura 6, é mostrado que o SF que minimiza o número de dias em um mês onde o FC ficou abaixo de 50% da média anual. Esta fração oscila entre 0,8 a 0,9, prevalecendo a geração solar.

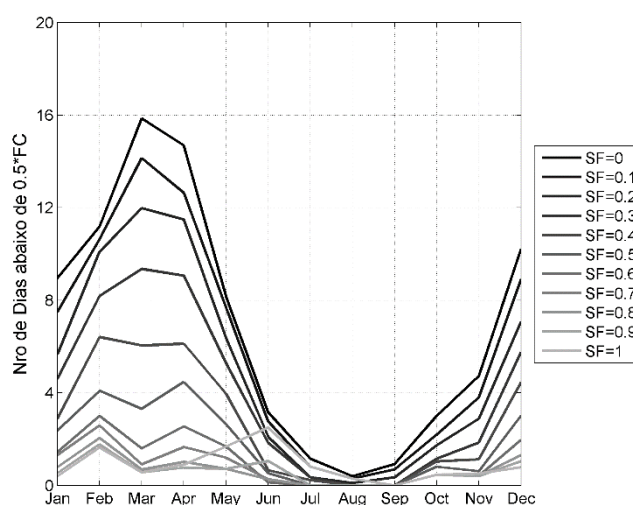


Figura 6 – Número médio de dias em um mês com geração inferior a 50% do FC médio anual.

4. CONCLUSÃO

De modo geral, conclui-se que a geração solar apresenta uma variabilidade significativamente menor em todas as escalas, exceto horárias, quando comparada à eólica, o que não é surpreendente devido à natureza da insolação nas regiões tropicais. A defasagem observada entre os ciclos sazonais de FC eólico e solar foi de aproximadamente 3 meses para Petrolina, mostrando padrão complementar sazonal fraco. Quanto a otimização da fração solar, foi demonstrada que a combinação ideal depende das métricas e escalas de tempo adotadas variando de FS de 0,7 que maximize o valor mínimo mensal a 0,9 que permite o menor desvio-padrão sazonal. Para maior estabilidade na geração horária foi mostrado que a adição de 20% de potência solar às plantas eólicas reduz pela metade a quantidade de eventos de 7 ou mais horas de geração extremamente baixa. Quanto às ressalvas em relação aos números apresentados, destaca-se que, embora a minimização do SD possa ser um bom proxy para otimização da confiabilidade da rede, uma vez que o SD é proporcional à potência e, portanto, comparável entre meses, isso não é verdadeiro quando os investidores procuram minimizar riscos em escalas mensais. Isso requer redimensionar o SD pela geração mensal média, levando a diferentes frações solares ótimas.

De modo geral este trabalho se mostrou relevante ao investigar a complementariedade entre o recurso solar e eólico no interior do Nordeste a partir de medições de longo prazo. Possíveis critérios para otimização da geração combinada foram levantados e podem ser úteis sob o ponto de vista de planejamento da expansão da geração. Devem ser consideradas as limitações desta análise, principalmente o potencial eólico relativamente baixo do local de medição quando comparado a áreas adjacentes economicamente viáveis e o uso de modelos de conversão de energia simplificados, que desconsideram, por exemplo, o seguimento solar dos painéis. De toda forma, estas limitações não comprometem os resultados admitindo que os fatores climáticos que modulam esta variabilidade atuam sobre uma vasta porção do semiárido, principalmente nas escalas diária e mensal. A sequência deste estudo envolve expandir a análise para outros locais no Brasil com diferentes condições climáticas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2001.

BETT, P. E.; THORNTON, H. E. The climatological relationships between wind and solar energy supply in Britain. *Renewable Energy*, v. 87, p. 96–110, 2016.

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2019 - Ano base 2018. [s.l.: s.n.].

FRANCOIS, B.; BORGA, M.; ANQUETIN, S. et al., Integrating hydropower and intermittent climate-related renewable energies: A call for hydrology. *Hydrological Processes*, v. 28, n. 21, p. 5465–5468, 2014.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; ABREU, S. L.; RUTHER, R.; LIMA, F. J. L.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas Brasileiro de Energia Solar 2. ed. 2ª edição ed. São José dos Campos: INPE, 2017.