

# TRANSIÇÃO DE TECNOLOGIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO NORDESTE BRASILEIRO: APLICAÇÃO DE MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS HÍBRIDOS FÓSSEIS PARA RENOVÁVEIS

Autor (Manoel Moreira Neto); Co-autor (Catarina Nogueira Costa de Oliveira); Orientador (Paulo Alexandre Souza da Silva)

*Universidade Salvador*

**Resumo:** Este trabalho discorre sobre a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e a gás natural, considerando a intermitência das fontes eólica e solar, vista como fator impeditivo para uma maior participação dessas fontes na matriz energética; bem como também analisa a complementariedade entre essas fontes como alternativa para redução da variabilidade de geração em um sistema híbrido. Quanto aos procedimentos metodológicos, trata-se de uma pesquisa explicativa, desenvolvida a partir de levantamento bibliográfico e documental, permitindo a análise da variabilidade das fontes renováveis com o intuito de eliminar a intermitência percebida pelo sistema elétrico. É proposta a utilização da geração por biomassa como fonte adicional ao sistema híbrido, em substituição ao gás natural da transição energética, tendo sido aplicado um método de dimensionamento da capacidade ótima instalada para cada fonte do sistema proposto. Por fim, o resultado obtido é comparado com referências internacionais relativas ao custo de geração, inclusive quando considerados aspectos socioambientais.

**Palavras-chave:** Energia, Eólica, Solar, Biomassa, Gás Natural.

## I. INTRODUÇÃO

O esperado esgotamento das fontes primárias fósseis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural, além dos impactos que o seu uso causa ao meio-ambiente, faz com que seja necessária a busca por novas soluções energéticas. Dentre as alternativas hoje possíveis, as fontes renováveis despontam como principais opções, por possuírem baixa emissão de poluentes, quando comparadas às fontes fósseis.

Assim, as fontes de energia renováveis, principalmente a eólica, a solar e a biomassa, esta última em substituição ao gás natural, apresentam-se hoje como alternativas concretas para conciliar o atendimento às demandas energéticas de longo prazo, com as necessárias medidas ambientais de controle da emissão de gases de efeito estufa. Entretanto desafios econômicos, operacionais e também ambientais precisam ser superados para que essas fontes tenham, de forma abrangente e definitiva, aumento da sua participação nas matrizes energéticas.

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

Dentre esses desafios, o custo de geração superior em relação ao das fontes fósseis ainda se apresenta como a maior barreira ao aumento da participação das renováveis, embora, como observado por Shayani, Oliveira e outros Camargo (2006, p. 5), quando se consideram todos os aspectos associados ao processo produtivo, a simplicidade dessas fontes possibilita menores custos de geração.

No cenário mundial, ações de incentivo para uma maior aplicação das fontes renováveis, através de condições mais atrativas para o financiamento de novas instalações, ou para o desenvolvimento das cadeias produtivas associadas a estas fontes, tornam-se cada vez mais frequentes. Também se observa um maior desenvolvimento das tecnologias de geração, por meio de pesquisas que objetivam o aumento da eficiência na transformação da radiação solar em eletricidade, as quais vêm sendo realizadas com constante e crescente sucesso. Como verificado pelas agências reguladoras (ANP e a ANEEL), bem como pela Empresa de Pesquisa Energética (2012, p. 53), “[...] a curva de aprendizado da indústria no mundo está em evolução e os custos associados têm apresentado decréscimos significativos”.

No aspecto ambiental, os processos de transformação utilizados para o uso final das energias renováveis também resultam em impactos, sejam estes decorrentes, por exemplo, do alagamento provocado pela formação dos reservatórios das grandes hidrelétricas, com consequente emissão de CO<sub>2</sub>, pelo descarte de baterias ou, ainda, pela competição por terras agricultáveis, entre as florestas de biomassa para energia e outras culturas destinadas à alimentação, dentre outros benefícios. Além dos aspectos econômicos e ambientais mencionados, o desafio operacional também se apresenta como relevante, junto com a redução do custo de geração. Trata-se, no aspecto operacional, do desafio de se conciliar a imprevisibilidade de geração, decorrente principalmente da intermitência natural das fontes primárias, eólica e solar, que provocam instabilidade ao atendimento das cargas elétricas e, por consequência, impõem a necessidade da existência de: (i) outras fontes de geração com característica de resposta rápida de despacho; ou (ii) imposição de limites à participação das fontes intermitentes a um montante total, cuja variação possa ser compensada pelas demais fontes. O objetivo geral deste trabalho é propor uma solução para a geração de energia elétrica, a partir da integração das fontes intermitentes, como a eólica e solar, com outras fontes renováveis, de forma a eliminar a intermitência percebida pelo sistema elétrico, que atualmente é fator limitante para uma maior participação das referidas fontes na composição da matriz elétrica nacional. Para atender ao objetivo

geral proposto, buscou-se especificamente identificar e compreender a intermitência das fontes eólica e solar em diversas regiões do Brasil, com o intuito de selecionar local com boa característica de complementariedade para a concepção de um sistema híbrido: o nordeste brasileiro. Para a solução da variabilidade da geração decorrente das fontes intermitentes, foi acrescentada uma terceira fonte renovável, a biomassa, em substituição ao gás natural da transição energética.

## **II. METODOLOGIA**

A metodologia científica utilizada contou com uma fase inicial de revisão bibliográfica em que se buscou identificar as referências mais relevantes sobre o tema do trabalho, após a qual foram coletados dados e selecionada a técnica de dimensionamento que envolveu, inclusive, a realização de simulação da geração solar, pela utilização de softwares específicos para esta fonte pois, desta forma, a metodologia proposta melhor se adequou às variáveis do problema enfrentado na pesquisa. Em seguida, foram analisadas, de forma comparativa, as soluções encontradas para cada cenário de dimensionamento, no âmbito daqueles identificados na revisão bibliográfica, tendo sido aplicada esta metodologia ao sistema híbrido proposto, no caso específico do município de Brotas de Macaúbas/BA, após essa localidade ter sido avaliada quanto ao padrão de complementariedade. Diante dos resultados encontrados, em uma última etapa, foi introduzido um aprimoramento ao sistema híbrido dimensionado inicialmente, com a inserção da biomassa como terceira fonte participante, eliminando, de fato, a necessidade de utilização de gás natural e a variabilidade da geração percebida pelo sistema elétrico.

## **III. SISTEMAS HÍBRIDOS DE FONTES RENOVÁVEIS APLICÁVEIS AO NORDESTE BRASILEIRO.**

Quanto à complementariedade eólica-solar, o comportamento de geração dessas fontes demonstra que o regime solar e dos ventos, em certas regiões do Brasil, é naturalmente complementar, conforme pode ser observado no Gráfico 1, onde são apresentadas curvas de geração em base horária para um dia típico em uma mesma localidade.

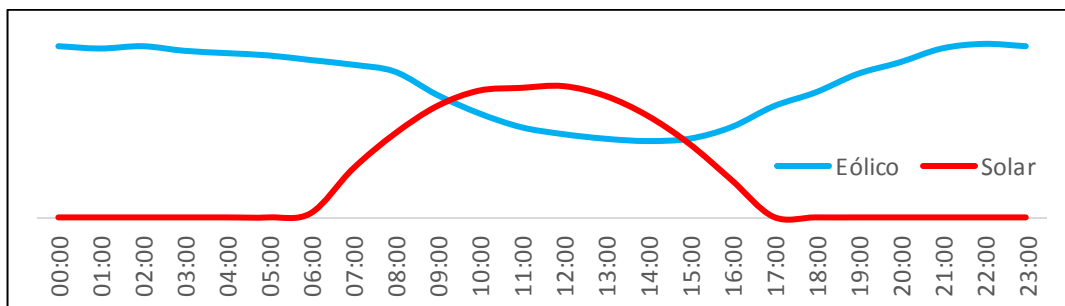


Gráfico 1 – Geração eólica e solar base horária em dia típico.

Fonte: Dados da pesquisa.

Assim, a complementariedade eólica-solar demonstra fortes indícios de ser uma alternativa viável para exploração em certas partes da região nordeste brasileira. Diante do observado, a partir da investigação da literatura sobre a complementariedade entre fontes renováveis intermitentes distintas, conclui-se que Li, Agelidis e Shrivastava (2009, p. 3.624) estão coerentes ao dizer: “Os resultados apresentados mostram que a instalação de eólicas e solares em um mesmo local devem ser coordenadas para se obter maiores benefícios [...]”. A análise dos Boletins Mensais de Geração Eólica, relativos ao ano de 2015, publicados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (2015), foi realizada nos dados dos Gráficos 2, 3 e 4.

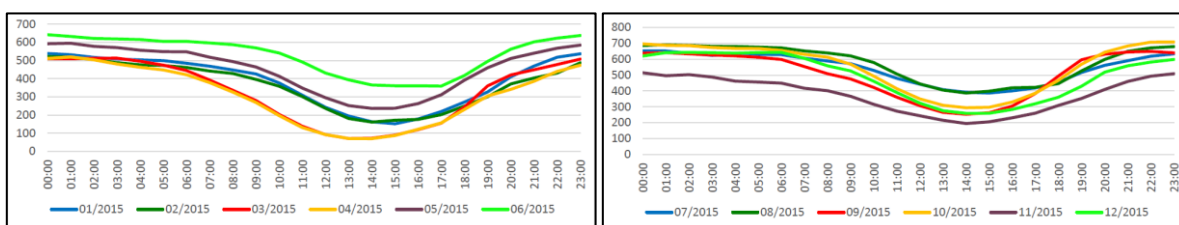


Gráfico 2 – Geração eólica em dia típico no estado da Bahia.

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2015)

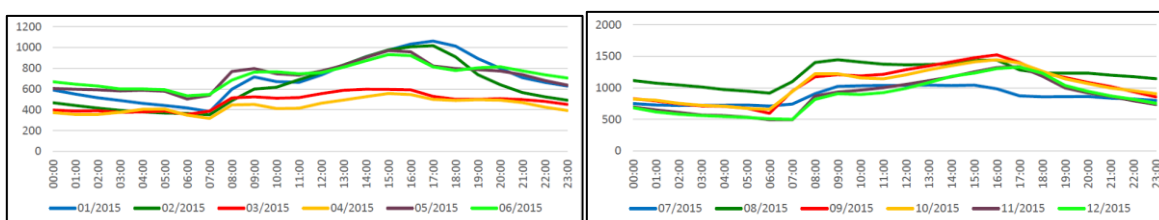


Gráfico 3 – Geração eólica em dia típico no estado do Rio Grande do Norte.

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2015)

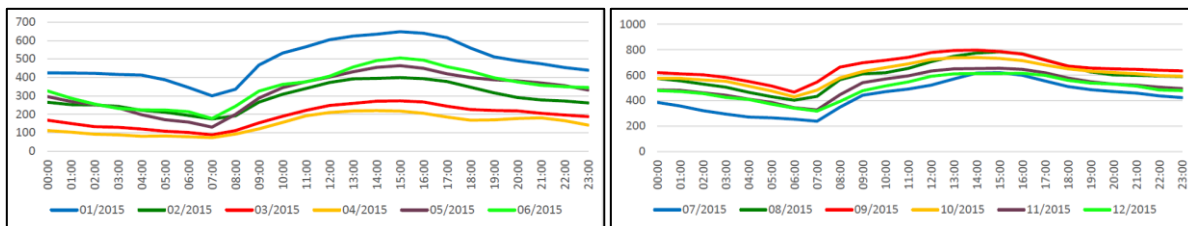


Gráfico 4 – Geração eólica em dia típico no estado do Ceará.

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2015)

#### IV. PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA HÍBRIDO RENOVÁVEL

Após o estudo de várias técnicas de dimensionamento de geração de energia elétrica a partir de sistemas híbridos, este trabalho selecionou o dimensionamento proposto por Markvart (1996). Este método, a partir de uma metodologia gráfica e analítica, utiliza a teoria de programação linear para garantir que o atendimento de uma determinada carga ocorra a partir dos recursos eólicos e solar existentes. Neste sentido, inicialmente, são definidas, em um mesmo gráfico no plano x-y, as retas representativas da fronteira de atendimento à carga, traçadas com a interligação dos pontos representativos da capacidade instalada necessária de cada uma das fontes, para o atendimento pleno da carga, referentes a cada mês do ano e, por consequência, é estabelecida uma curva de dimensionamento, formada pela junção dos segmentos de reta mais à direita do eixo y. Uma vez conhecida a curva de dimensionamento, calcula-se qual a combinação ótima econômica das capacidades instaladas, a partir de um critério econômico referente ao custo de instalação individual das fontes.

A utilização de técnicas de dimensionamento mais avançadas e também de algoritmos de otimização mais poderosos, do ponto de vista da quantidade de variáveis otimizadas, apresenta-se como um grande desafio, principalmente quando há pouca disponibilidade de dados sobre os recursos eólico e solar. Dessa forma, uma abordagem para a avaliação da viabilidade de um sistema híbrido, que aproveite a complementariedade natural existente entre as fontes eólica e solar, pode ser mais facilmente feita com a aplicação de métodos gráficos e analíticos, como o proposto por Markvart (1996), para posterior refinamento, a partir do uso desses métodos mais sofisticados.

Atenção especial deve ser dada às questões envolvendo a análise do comportamento da carga a ser alimentada, quando da modelagem do sistema eólico e do sistema solar, assim como às restrições e técnicas utilizadas para a otimização do sistema a ser proposto. Em função da diversidade das fontes que integram um sistema híbrido, alguns desafios técnicos devem ser enfrentados, para a obtenção de maior eficiência de geração e de um comportamento com menor variabilidade.

Aplicando com adaptações a metodologia de dimensionamento gráfico-analítica, apresentada por Markvart (1996), com base na capacidade de geração eólica e solar mensal, foi possível definir o conjunto de meses do ano que compõem a curva de dimensionamento híbrido, apresentada na Gráfico 5.

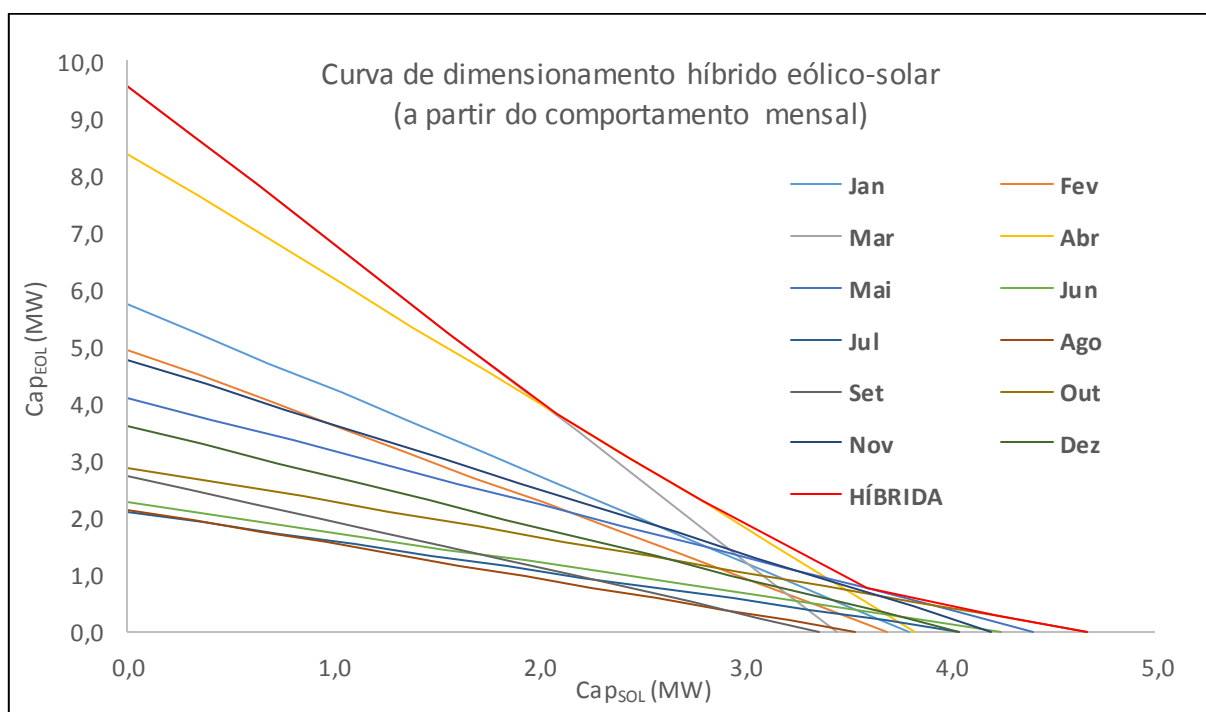


Gráfico 5 – Curva de dimensionamento híbrido eólico-solar proposta

Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado obtido pelo método proposto apresentou a combinação de capacidades instaladas para cada fonte de 2,86 MW solar e 2,24 MW eólico.

A biomassa para energia, cuja caracterização foi abordada no capítulo 3, demanda a existência de ativo agrícola, seja plantação ou floresta, criada e manejada adequadamente com a intenção específica de produzir, de forma constante, a biomassa suficiente para a queima como combustível em central geradora térmica, portanto, despachável por meio de processos produtivos já conhecidos e com tecnologia dominada.

Ao verificar-se o comportamento de geração do sistema híbrido proposto, apresentado anteriormente no Gráfico 5, pode-se concluir que a capacidade adicional a ser incluída deveria ser capaz de gerar um máximo de 60% da carga proposta no dimensionamento original do sistema. Tal comportamento pode ser mais bem visualizado na Gráfico 6.

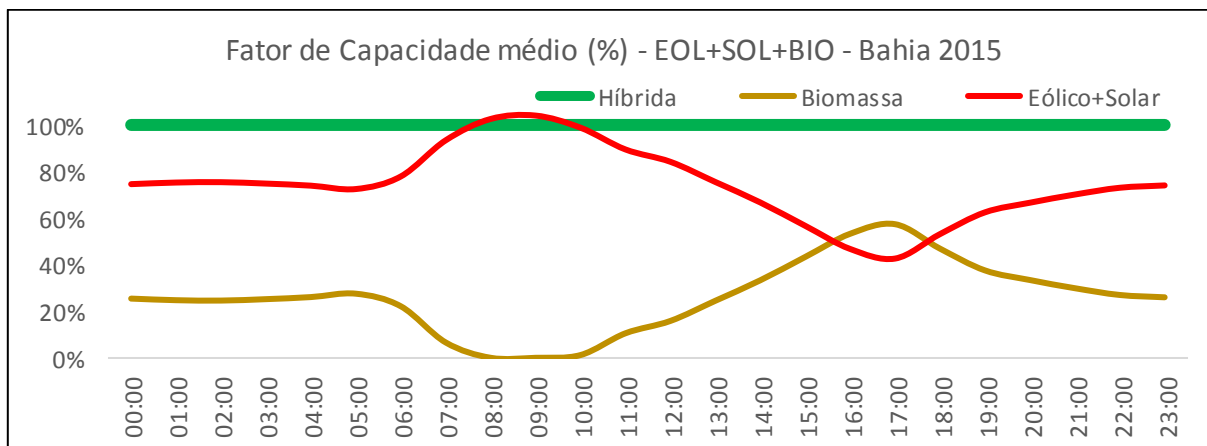


Gráfico 6 – Comportamento de geração de base necessário para biomassa

Fonte: Dados da pesquisa.

## V. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou descrever uma solução possível para se permitir a maior participação das fontes de energias renováveis intermitentes na matriz elétrica brasileira e, neste sentido, procurou inicialmente compreender a intermitência das fontes eólica e solar, pois esta é apontada historicamente como o fator operacional limitante para uma maior participação dessas fontes na composição das matrizes energéticas.

Neste sentido, o exemplo prático observado nos últimos anos no Brasil, em específico na região nordeste, decorrente das dificuldades hídricas observadas na região, ao mesmo tempo em que confirmou a existência abundante dos recursos eólico e solar, influenciou positivamente para uma intensificação da participação dessas fontes, fazendo com que seja possível, na prática, que a geração de eletricidade possa ser realizada pela fonte eólica, em grande proporção do atendimento das cargas, no período de transição energética..

O método de dimensionamento aplicado neste trabalho, assim como a inserção da biomassa para energia como terceira fonte do sistema híbrido proposto, representa uma alternativa inicial

para a seleção de um sistema híbrido adequado ao local de instalação, com possibilidade de obtenção de perfil de geração de energia elétrica estabilizado, semelhante ao de centrais de geração hídricas e térmicas, principalmente ao gás natural, conhecidas como geração de base, oferecendo oportunidade para a expansão da capacidade instalada das fontes renováveis.

## VI. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos organizadores do III CONEPETRO, às agência reguladoras ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, à empresa pública EPE – Empresa de Pesquisa Energética e à UNIFACS – Universidade Salvador pelos dados e infraestrutura necessária para a realização deste trabalho.

## VII. REFERÊNCIAS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da inserção da energia solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. (Nota Técnica EPE).

LI, Yi; AGELIDIS, Vassilios G; SHRIVASTAVA, Yash. **Wind-solar resource complementarity and its combined correlation with electricity load demand**. In: CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND APPLICATIONS, 4., Xian. Anais.... Sydney: ICIEA, 2009. p. 3623–3628. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5138882/>>. DOI 10.1109/ICIEA.2009.5138882.

MARKVART T. **Sizing of hybrid photovoltaic-wind energy systems**. *Solar Energy*, v. 57, n. 4, p. 277-281, 1996.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **BOLETIM MENSAL DE GERAÇÃO EÓLICA**. Rio de Janeiro, jan. 2015; fev. 2015; mar. 2015; abr. 2015; maio 2015; jun. 2015; jul. 2015; ago. 2015; set. 2015; out. 2015; nov. 2015; dez. 2015

SHAYANI, Rafael A.; OLIVEIRA, Marco Aurélio G.; CAMARGO, Ivan M T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5., Brasília, 2006.