



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPL/02

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO – VII**

**GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GPL**

**USINAS HÍBRIDAS EÓLICO-FOTOVOLTAICAS: ESTUDOS DE CASO COM FOCO NA  
COMPLEMENTARIEDADE ENTRE FONTES**

**Gustavo Pires da Ponte (\*)**  
EPE

**Cristiano Saboia Ruschel**  
EPE

**Flávio Alberto Figueredo Rosa**  
EPE

**Gustavo Brandão Haydt de Souza**  
EPE

**João Henrique Magalhães Almeida**  
EPE

**Michele Almeida de Souza**  
EPE

**Aline Couto de Amorim**  
EPE

**Josina Saraiva Ximenes**  
EPE

**RESUMO**

Este Informe Técnico apresenta uma proposta de metodologia para avaliação de usinas híbridas eólico-fotovoltaicas, sob o ponto de vista energético, com base em estudos de caso para diferentes locais e configurações. Foi avaliada a geração de usinas próximas entre si, em sítios com disponibilidade de dados anemométricos e solarimétricos, considerando como premissa o compartilhamento do ponto de conexão.

Os resultados obtidos apontam para a importância da discretização dos dados utilizados, bem como sinalizam que as características dos recursos energéticos locais e o dimensionamento de cada usina são fatores que influenciam sensivelmente o perfil de complementaridade da produção de energia.

**PALAVRAS-CHAVE**

Usinas híbridas, Eólica, Fotovoltaica

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Diversas notícias e estudos têm sido divulgados sobre a viabilidade de empreendimentos híbridos utilizando as fontes eólica e solar (fotovoltaica). Em vários casos, é apontada a existência de alguma complementaridade entre as fontes, a possibilidade de otimização dos custos de operação e de investimento, especialmente na conexão e a redução de impactos socioambientais. Com base nesses argumentos, alguns agentes geradores têm proposto a criação de produtos nos leilões de energia para contratação de usinas híbridas eólico-fotovoltaicas, buscando dessa forma, ampliar o espaço para novos empreendimentos no Nordeste, contornando parte das restrições do sistema de transmissão para escoamento da energia eólica e fotovoltaica.

Dada a evidência e a relevância da discussão sobre empreendimentos híbridos, e tendo em vista as afirmações de alguns agentes de geração sobre complementaridade da produção eólica e fotovoltaica e as vantagens decorrentes disso, a EPE entendeu ser oportuno se aprofundar sobre as bases metodológicas para estudos desse tipo, conhecer os fatores mais relevantes para avaliação de eventuais benefícios dessas usinas híbridas e obter evidências sobre a possibilidade de generalizar os resultados obtidos.

(\*) Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Av. Rio Branco, nº 1 - 11º andar - CEP 20.090-003, Rio de Janeiro, RJ Tel: (+55 21) 3512-3370 – www.epe.gov.br – E-mail: gustavo.ponte@epe.gov.br

## 2.0 - OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é descrever uma metodologia de análise da complementaridade entre a geração a partir do recurso eólico e a geração a partir do recurso solar (fotovoltaico) em uma mesma localidade onde possa ser desenvolvido um empreendimento híbrido.

Propõe-se avaliar as perdas de energia (cortes) quando da instalação de um empreendimento fotovoltaico junto a um empreendimento eólico existente, compartilhando o mesmo sistema de conexão, considerando uma capacidade limitada de escoamento de energia. Com o intuito de se obter o melhor uso de uma possível complementariedade local dos recursos, são analisados também os principais parâmetros que influenciam tais cortes de energia.

Ressalta-se que este estudo está focado na complementaridade local, visando a ganhos de otimização nos investimentos em conexão. Não é objetivo deste trabalho avaliar a complementaridade em escala regional ou efeito portfolio de um grupo numeroso de empreendimentos.

## 3.0 - DADOS UTILIZADOS

### 3.1 Locais estudados

Para seleção dos locais a serem avaliados, o primeiro critério adotado foi a necessidade de medições, tanto anemométricas quanto solarimétricas in loco, por período não inferior a 12 meses consecutivos e concomitantes. Sabe-se que quanto maior o período de medição, mais significativa a amostra. Porém, salvo raras exceções, não estavam disponíveis séries de dados de irradiação com período de medição superior a 12 meses. De posse das estações solarimétricas candidatas, teve início a busca por torres anemométricas próximas. Foi adotado que a distância máxima entre as estações não deveria ultrapassar 20 km, devido à premissa de que as usinas compartilhariam o mesmo ponto de conexão.

Após a aplicação dos critérios de seleção, foram identificados cinco locais com disponibilidade de dados, onde a complementariedade entre as fontes eólica e solar poderia ser avaliada. O mapa com a indicação aproximada dos locais estudados pode ser verificado na Figura 1, representando distintas características de vento e irradiação.



FIGURA 1 – Locais Estudados

### 3.2 Dados anemométricos e solarimétricos

A fim de subsidiar estudos elétricos e energéticos relacionados ao recurso eólico, a EPE vem, desde 2009, constituindo uma base de dados climatológicos e anemométricos, denominada Sistema de Acompanhamento de Medições Anemométricas (AMA). As medições são realizadas em estações anemométricas instaladas nos parques eólicos vencedores de leilões de energia, conforme determinação expressa nos contratos firmados com esses parques, e seguem normas e procedimentos internacionais destinados a garantir a qualidade das medições (EPE, 2016). Cabe registrar que um cuidado especial é tomado para garantir o sincronismo horário de todas as estações anemométricas de modo que as medições possam ser utilizadas em estudos com resolução horária, tal como o que se apresenta.

O Sistema AMA armazena medições registradas a cada 10 minutos, o que permite que avaliações do recurso possam ser feitas nesta resolução temporal ou em intervalos maiores, como de hora em hora. Esta possibilidade de análise em curtos intervalos torna possível o estudo de variações do recurso dentro da sazonalidade diária, tão importante na avaliação da inserção dos recursos renováveis variáveis (IRENA, 2017).

Para garantir a qualidade das medições do Sistema AMA, os registros recebidos passam por um processo de consistência em que são avaliadas todas as medições anemométricas e climatológicas (velocidade e direção do vento, pressão, temperatura e umidade) e toda a inconsistência de medição é assinalada. Para a devida substituição das medições incoerentes, é efetuado um processo de MCP (Medir-Correlacionar-Prever) entre torres próximas e com boa correlação das medições. A EPE mantém constante contato com agentes para garantia da qualidade da base de dados.

A base de dados solarimétricos utilizada considerou as medições apresentadas na EPE para fins de cadastramento e habilitação técnica dos projetos nos leilões de energia. Os requisitos para participação de empreendimentos nos leilões de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN) exigem que a estação solarimétrica possua pelo menos dois piranômetros para medição da radiação solar horizontal, padrão "First Class" ou superior, além da medição de umidade relativa, temperatura e velocidade de vento (EPE - b, 2016). Tais dados são posteriormente tratados e certificados por um certificador independente, garantindo certa confiabilidade aos dados utilizados.

Assim como os dados anemométricos, os dados solarimétricos possuem discretização temporal de 10 minutos. Considerando a variabilidade das fontes analisadas, tal resolução é relevante para a avaliação da produção de energia, uma vez que poderá capturar as oscilações que a análise de produção média horária ou diária não capturam.

Cada um dos 5 locais selecionados possui recurso eólico com perfil diário de velocidade distinto, enquanto o perfil de irradiação global é similar para as localidades, como pode ser observado na Figura 2.

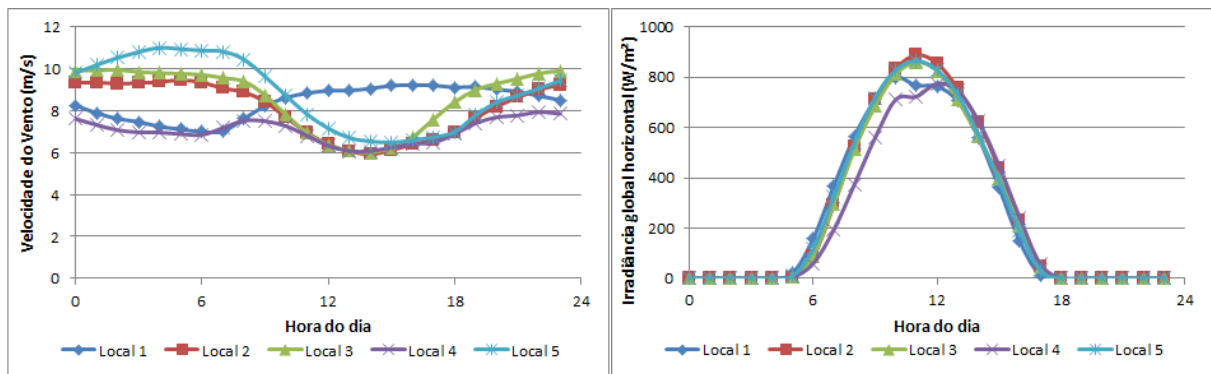


FIGURA 2 - Médias horárias dos recursos eólico e solar para os locais estudados

#### 4.0 - METODOLOGIA E PREMISSAS

##### 4.1 Parâmetros de análise

Para avaliar a produção e o *curtailment* de usinas híbridas, simulou-se para cada local a produção eólica e fotovoltaica separadamente. Assumindo a independência entre a produção de energia de cada fonte, a produção total é obtida através da soma, a cada 10 minutos, das produções individuais. Assumiu-se que ambas as usinas estariam conectadas à mesma subestação/sistema de transmissão, com capacidade equivalente à potência instalada da usina eólica. Admitiu-se que toda a energia elétrica gerada a partir da fonte eólica seria escoada por essa subestação e que sua capacidade ociosa (quando a produção da usina eólica é inferior à sua capacidade nominal) poderia ser ocupada pela energia proveniente da usina fotovoltaica. Adotou-se assim que, se a produção combinada eólica e fotovoltaica ultrapassar a capacidade de escoamento, o corte se dará na usina fotovoltaica.

Tendo em vista o caráter modular das fontes, avaliou-se o montante de energia fotovoltaica "cortada" para diferentes proporções de potência de cada usina, partindo-se do caso base 1-10: 1 unidade de potência de UFV (fotovoltaica) para cada 10 unidades de potência de EOL (eólica). Devido às diferentes potências unitárias dos equipamentos avaliados, as capacidades instaladas de cada fonte são tratadas de forma adimensional, isto é, a razão equivalente da potência de uma fonte em relação à outra.

##### 4.2 Cálculo da produção eólica

Para simulação de energia eólica, foram utilizados os dados registrados em intervalos de 10 minutos de pressão atmosférica, temperatura, umidade e velocidade média do vento, bem como a curva de potência de cada aerogerador utilizado. Para cada uma das simulações, considerou-se que o parque eólico é representado por um único aerogerador instalado no local de medição. A geração total é escalonada pela potência total do parque eólico considerado neste estudo, sem consideração de perdas elétricas, indisponibilidades forçadas e programadas, efeito

“esteira” e dispersão da geração em relação ao local de medição dos ventos. Esta metodologia, apesar de simplificada, gera resultados consistentes, como mostra a Nota Técnica nº NT-DEE-107/2016.

Para cada local, foi avaliada a influência de dois parâmetros dos aerogeradores: a potência nominal e o diâmetro do rotor. Para análise da mudança de potência nominal foram utilizados os modelos com diâmetro de rotor de 82 metros e potências unitárias de 2,05 MW, 2,35 MW e 3,0 MW. Para analisar a influência da mudança do diâmetro do rotor, foram utilizados os modelos com potência unitária de 2,0MW e diâmetros de rotor de 87m, 97m e 114m. As curvas de potência dos aerogeradores são mostradas na Figura 3.

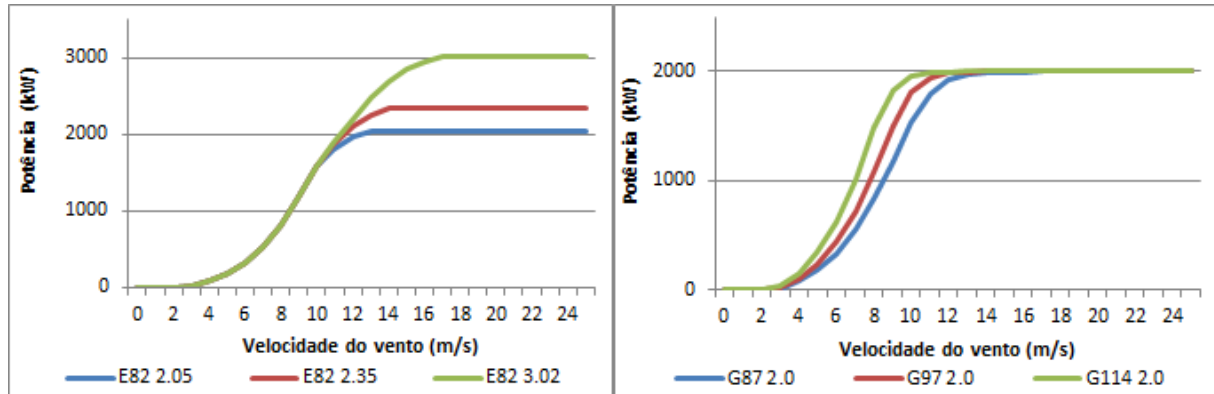


FIGURA 3 – Curvas de potência dos aerogeradores utilizados

Esta análise foi motivada pelo fato de que, no Brasil, conforme a evolução da tecnologia e com um melhor conhecimento do recurso eólico das regiões, diferentes modelos de aerogeradores foram sendo instalados em locais próximos. Ressalta-se que os modelos de aerogeradores utilizados neste estudo não correspondem aos modelos realmente instalados nos locais.

#### 4.3 Cálculo da produção fotovoltaica

Para o cálculo da produção fotovoltaica foi utilizado o software SAM (System Advisor Model), desenvolvido pelo NREL (National Renewable Energy Laboratories), órgão vinculado ao Departamento de Energia dos Estados Unidos. Este programa realiza simulações para diferentes fontes de energia renovável e é disponibilizado gratuitamente no endereço eletrônico da instituição. A escolha deste software deveu-se em grande parte ao fato de possuir a capacidade de simular a produção de um sistema fotovoltaico com resolução temporal menor que 1 hora, como necessário para realização deste estudo, já que foram utilizados dados de radiação solar e temperatura medidos a cada 10 minutos, a fim de capturar o efeito das oscilações de curto prazo na produção de energia.

Foram gerados dois casos base para análise: usina fotovoltaica (i) com estrutura fixa e (ii) com rastreamento em um eixo. Observa-se uma tendência cada vez maior em projetos de geração centralizada no Brasil de utilização de sistema de rastreamento em um eixo, tendo em vista o maior aproveitamento do recurso proporcionado pelo uso dessa solução. Contudo, a análise preliminar de perfis de ventos em alguns locais indicam que o sistema com estrutura fixa poderia ser mais adequado do ponto de vista da hibridização. Com a simulação dos dois sistemas, é possível avaliar o *curtailment* em cada caso, permitindo uma melhor análise das vantagens e desvantagens do uso de rastreamento em uma usina híbrida eólico-fotovoltaica.

Para ambas as configurações simuladas, em todos os locais, utilizou-se uma usina padrão formada por unidades geradoras com um inversor de 1 MW de capacidade nominal, e 1,23 MWp de módulos fotovoltaicos, dispostos em um arranjo de 18 módulos em série, com 220 séries em paralelo. Os módulos fotovoltaicos e o inversor foram selecionados a partir do banco de dados do software, utilizando-se modelos de fabricantes reconhecidos no mercado. Os módulos selecionados são da tecnologia de silício policristalino, com potência nominal de 310 Wp.

O resultado obtido dessas simulações foram valores de potência a cada dez minutos para o ano estudado, utilizados nas avaliações de corte de energia quando da hibridização com a fonte eólica.

#### 4.4 Limitações da metodologia

É importante ressaltar as limitações da metodologia adotada e das informações disponíveis. Uma delas diz respeito ao período avaliado. Além da dificuldade, já abordada, em se obter dados anemométricos e solarimétricos próximos e concomitantes, estes, quando disponíveis, resumem-se a um período limitado. Nas avaliações para este estudo, considerou-se para todos os locais a geração ao longo de doze meses, não sendo necessariamente o mesmo período (data de início e fim) para os diferentes locais. Com isso, não estão sendo avaliados os efeitos da variabilidade interanual dos recursos, algo relevante, sobretudo no caso da fonte eólica. De maneira resumida, é possível que o período avaliado tenha sido de ventos mais fracos, reduzindo a produção eólica e, conseqüentemente, reduzindo os

cortes da produção fotovoltaica excedente, favorecendo a conclusão sobre o efeito complementar das fontes. Da maneira análoga, a situação inversa pode ter ocorrido, o que não está sendo avaliado neste trabalho.

A variabilidade espacial dos recursos também está sendo tratada de maneira simplificada. Na seleção de estações anemométricas e solarimétricas, admitiu-se uma distância máxima de 20 km entre elas e simulou-se a produção das duas fontes nessa região, sem considerar a extrapolação horizontal dos recursos, efeitos de microclima, relevo local, etc.

## 5.0 - RESULTADOS

Conforme a metodologia descrita, para cada um dos 5 locais foram calculadas 6 configurações para geração eólica e 2 configurações para geração fotovoltaica. Desta forma, no total, foram analisados 60 casos. Para cada caso, foram avaliados os percentuais de corte de energia fotovoltaica ao longo de 1 ano, detalhando a influência dos equipamentos utilizados, bem como do comportamento específico dos recursos presentes em cada localidade. Também foi avaliada a relação entre o fator de capacidade diurno dos parques eólicos com os cortes de energia.

Em seguida os resultados foram apresentados em bases temporais menores, permitindo uma análise mais detalhada do comportamento dos cortes de energia. Por fim, foram simulados os percentuais de corte para proporções de potência fotovoltaica e eólica diferentes do caso base (1-10).

### 5.1 *Curtailment* anual

A Figura 4 mostra o percentual da energia fotovoltaica produzida que seria cortada para cada um dos 60 casos, no respectivo ano de análise. Os cortes apresentaram uma alta discrepância, variando entre 0,05% e 33,99%. Observa-se que para cada um dos 60 casos, os valores de corte são diferentes, evidenciando que os resultados são dependentes do comportamento dos recursos do local, do modelo de aerogerador utilizado e da estrutura da usina fotovoltaica.

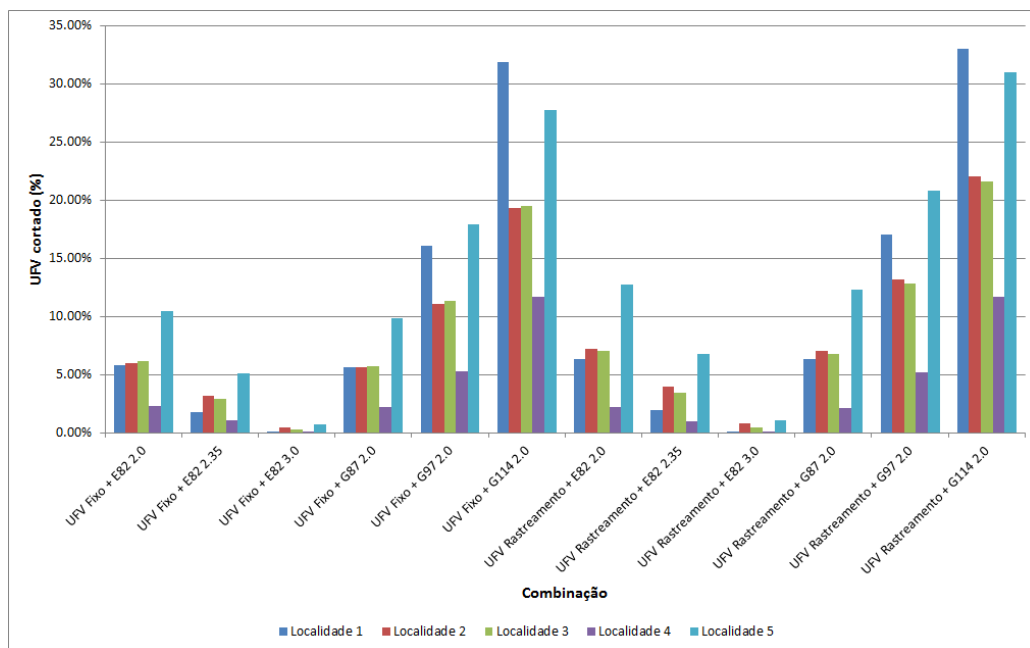


FIGURA 4 - *Curtailment* por combinação e local (60 casos).

Avaliando a influência da mudança da potência nominal do aerogerador, comparando-se para o mesmo local e mesmo tipo de estrutura fotovoltaica os resultados entre as turbinas E82 2.0, E82 2.35 e E82 3.0, observa-se que, para um mesmo diâmetro do rotor, quanto maior a potência nominal, menor foi o corte percentual de energia. Analisando as curvas de potência dos aerogeradores, vê-se que os casos com a turbina de maior velocidade nominal resultam em menos cortes de energia. Isso ocorre pois essas turbinas funcionam menos tempo em sua potência nominal, causando uma maior capacidade ociosa de transmissão.

Analisando a influência do diâmetro do aerogerador em todos os locais, ao comparar-se os resultados obtidos com as turbinas G87 2.0, G97 2.0 e G114 2.0 para um dado local e estrutura fotovoltaica, conclui-se que quanto maior o diâmetro do aerogerador maior o corte de energia. Isso ocorre pois para uma mesma velocidade média (abaixo da velocidade nominal), máquinas com maiores diâmetros geram mais energia, diminuindo a capacidade ociosa de transmissão.

Estruturas fotovoltaicas com rastreamento possibilitam maior aproveitamento da energia solar, especialmente no

início da manhã e no final da tarde, fato ilustrado na Figura 5. No caso de ocorrência de altas velocidades de vento nesses períodos, o corte de energia será maior, como pode ser verificado nos locais avaliados ao se confrontar resultados com diferentes estruturas para o mesmo local e mesma turbina eólica. Para o local 5, por exemplo, tal simultaneidade ocorre principalmente no início da manhã, conforme demonstrado na Figura 2.

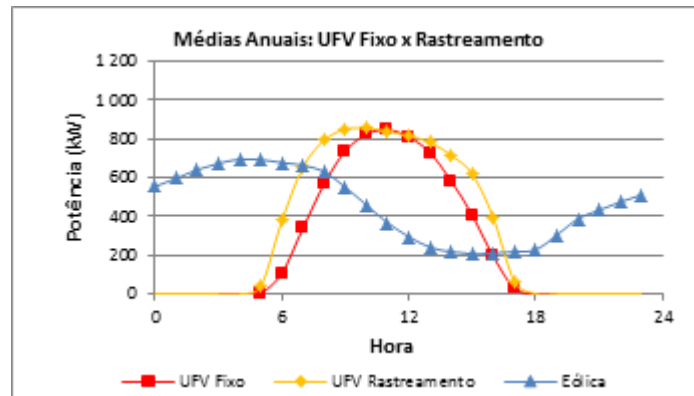


FIGURA 5 - Médias anuais de potência (kW) para a localidade 5.

Destaca-se que o comportamento da radiação é similar para os cinco locais analisados, ao contrário do que se verificou com os perfis de vento, que apresentam comportamentos distintos a depender do local. Desta forma, percebe-se que o aumento dos cortes de energia causado pelo uso de rastreamento em uma usina híbrida são mais dependentes das características do vento do que da radiação.

Apesar do percentual de corte ser maior para parques com estruturas de rastreamento de um eixo do que para os de estrutura fixa, a energia líquida injetada na rede (energia solar gerada menos cortes de energia) ainda é superior. Foi verificado que, mesmo com maiores cortes de energia, a produção líquida injetada é cerca de 25% superior quando utilizada a estrutura de rastreamento.

Além disso, observa-se na Figura 4 que, mesmo para combinações iguais, os resultados variam fortemente de acordo com o local estudado, reforçando a importância de análises específicas para cada local, evitando generalizações.

Por fim, para avaliar a relação entre o fator de capacidade diurno do parque eólico e a energia cortada, os resultados obtidos para cada um dos 60 casos foram comparados, conforme apresentado na Figura 6. É possível perceber que há, de fato, uma tendência de aumento do corte com o aumento do fator de capacidade diurno.

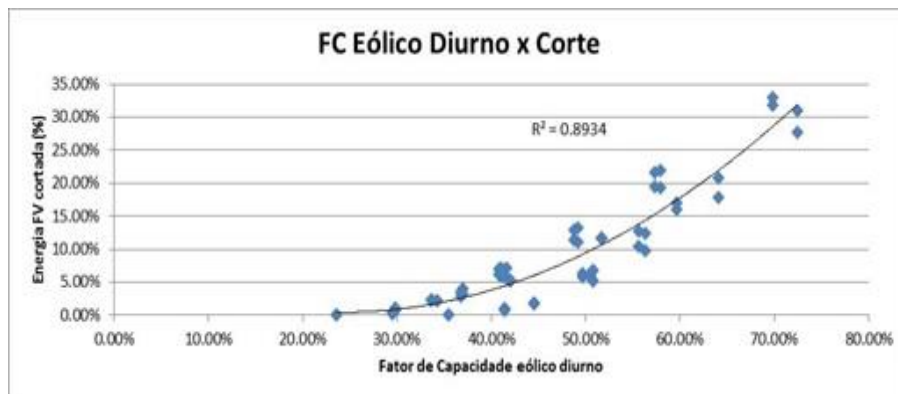


FIGURA 6 - Corte em função do fator de capacidade eólico diurno.

## 5.2 Análise sazonal e horária

Para melhor compreensão dos resultados apresentados anteriormente, foram realizadas algumas análises adicionais. A localidade 3 foi escolhida para estes estudos detalhados.

Devido à sazonalidade nos perfis de recurso, principalmente eólico, é esperado que o corte de energia também seja variável ao longo do ano. Com o intuito de avaliar esse efeito, repetiu-se a análise dos cortes de energia com a mesma metodologia, mas apresentando-se os resultados em base mensal. A Figura 7 apresenta o resultado obtido de corte total de energia fotovoltaica (em percentual) a cada mês do período simulado.



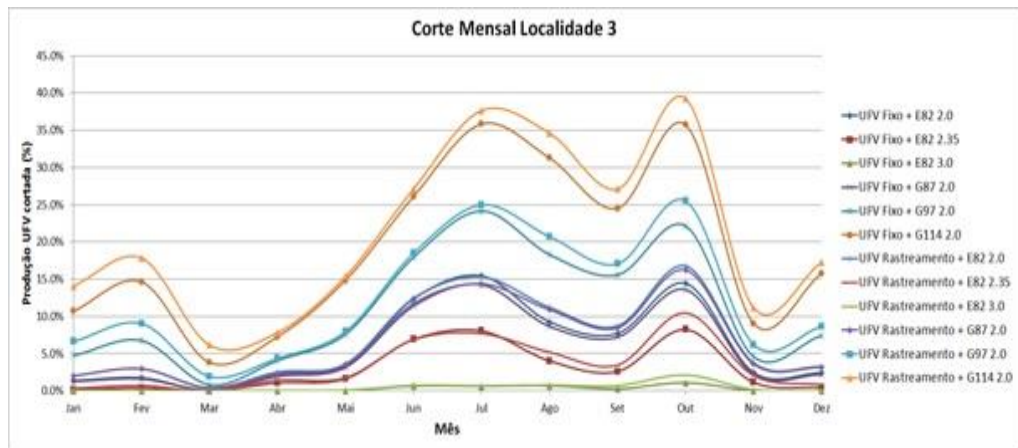


FIGURA 7 - Corte mensal de energia na localidade 3

Verifica-se que de fato há forte caráter sazonal nos cortes de energia, para as doze combinações simuladas. Para a combinação que apresenta o maior corte, este chega a cerca de 40% no mês de Outubro, indicando que, neste mês, grande parte da produção fotovoltaica ocorre quando a produção eólica está próxima ao seu limite. Já para o mês de Março, esta mesma combinação apresenta perdas um pouco superiores a 5%.

Este resultado pode ser melhor compreendido a partir da visualização da produção em dias específicos, como mostrado na Figura 8, em que são mostradas respectivamente as produções de energia deste local para um dia de Abril, quando há menores velocidades de vento, e para um dia de Setembro, para o qual o recurso eólico foi mais favorável.

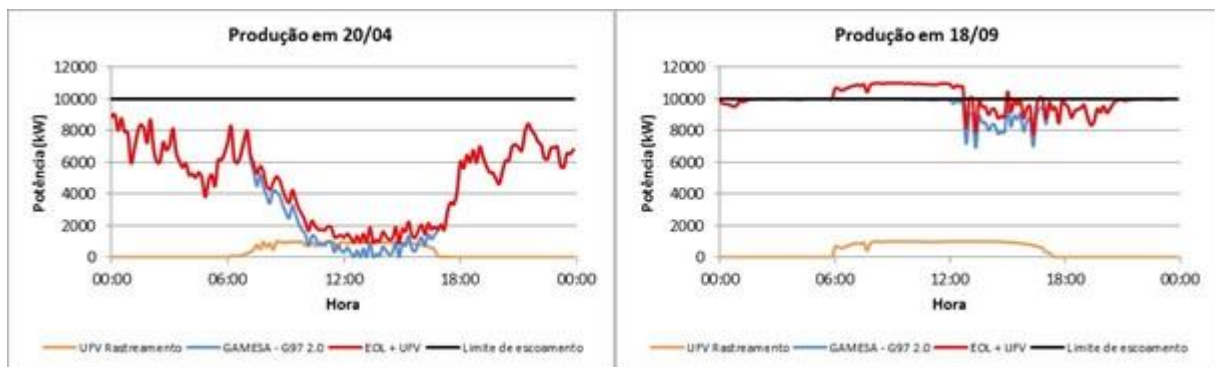


FIGURA 8 – Produção de energia por fonte e combinada em 20/04 e 18/09

Percebe-se que no dia 20/04, a produção eólica é reduzida, sendo possível escoar toda a produção fotovoltaica. Já no dia 18/09, verifica-se que durante um longo período, abrangendo toda a manhã, a usina eólica operou em sua potência nominal, não sendo possível escoar a produção fotovoltaica. Durante a tarde, com a redução da velocidade do vento, houve espaço para a injeção da energia fotovoltaica disponível.

Tais perfis, com velocidades de vento maiores pela manhã, são comuns para este local, como pode ser verificado na Figura 2. Este perfil do recurso resulta em um caráter horário para os cortes de energia, conforme apresentado pela Figura 9, que mostra os cortes de energia por horário do dia.

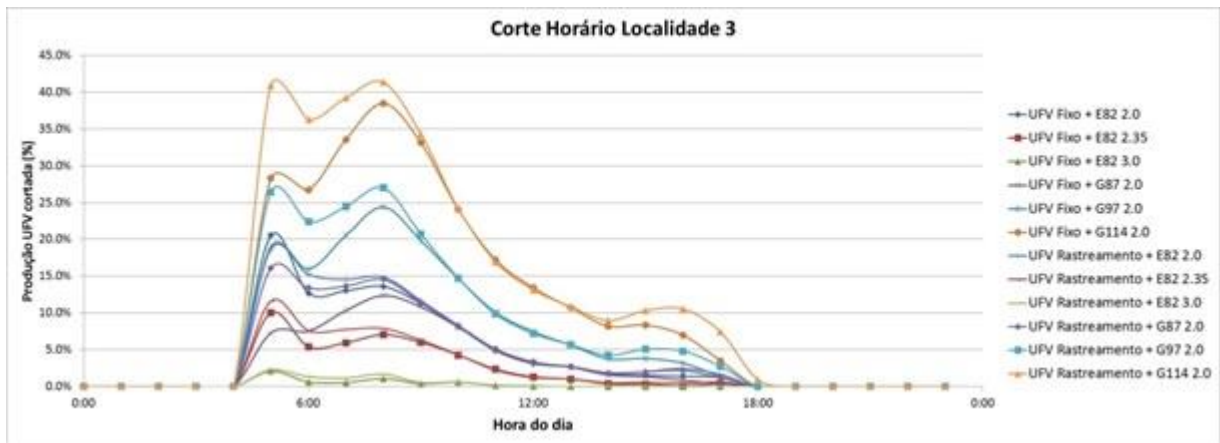


FIGURA 9 – Corte percentual médio de energia na localidade 3 em função da hora do dia

Cabe ressaltar que este resultado representa o perfil médio anual dos cortes de energia fotovoltaica em função da hora do dia. Ao se separar o resultado de cada mês, por exemplo, seriam verificados patamares e possivelmente comportamentos horários diferentes para cada período.

### 5.3 Efeito da proporção de potências instaladas fotovoltaica e eólica

Todos os resultados apresentados anteriormente basearam-se numa proporção de 10-1 entre potência instalada eólica e fotovoltaica. Para avaliar o impacto de diferentes proporções entre as fontes, as simulações foram repetidas variando-se tal proporção, desde 10-0,5 até 10-10, com variação de 0,5 na proporção fotovoltaica a cada simulação, como mostrado na Figura 10.

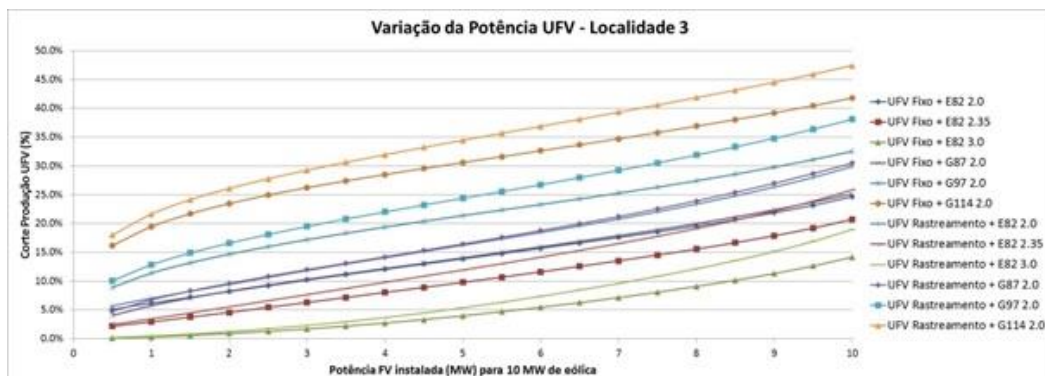


FIGURA 10 – Corte de energia anual em função da potência fotovoltaica instalada na localidade 3

Para a maioria das combinações simuladas, o comportamento do corte de energia é aproximadamente linear para boa parte da faixa de potências fotovoltaicas avaliadas. Novamente, é possível confirmar a forte dependência do corte com os equipamentos utilizados no projeto. Para combinações nas quais a máquina eólica opera longe de sua capacidade nominal, mesmo em proporções de 10-5 perde-se menos de 15% da energia fotovoltaica. Por outro lado, combinações onde a máquina eólica possui um fator de capacidade elevado apresentam níveis de corte superiores a 15%, mesmo para proporções baixas, como 10-0,5.

## 6.0 - CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste estudo mostram que a alegada complementariedade entre as fontes eólica e fotovoltaica depende de diversas variáveis, reforçando a importância de uma avaliação pautada em uma metodologia consistente. Verifica-se a partir das simulações apresentadas, que para um mesmo local, é possível obter resultados variados, a depender do dimensionamento considerado, demonstrando não ser possível generalizar resultados. Percebe-se ainda que, mesmo para sítios localizados no mesmo estado, foram obtidos resultados distintos, denotando a importância dos efeitos climáticos localizados.

Tomando como base a métrica estabelecida, de contabilização da produção fotovoltaica que excede a capacidade de escoamento da subestação (com capacidade igual à da potência eólica instalada), verifica-se que o montante de energia não aproveitada é função, principalmente, das (i) características dos recursos energéticos locais, sobretudo do perfil diário e sazonal de ventos; e (ii) do dimensionamento e características técnicas de cada usina.

Outra conclusão relevante é que não basta avaliar a eventual complementariedade de recursos (perfil de vento ou de irradiação global horizontal, por exemplo), uma vez que a curva de produção de energia elétrica pode ter



comportamento distinto, a depender do dimensionamento adotado, o que fica claro ao analisar a produção eólica a partir de diferentes aerogeradores para um mesmo sítio.

Ao avaliar o excedente de produção (“curtailment”), ficou clara também a importância da discretização da base de dados. O caráter variável e estocástico das fontes avaliadas faz com que a produção apresente oscilações em curtos intervalos de tempo, o que não seria capturado ao se trabalhar com valores médios horários, por exemplo. Mesmo dispondo de dados dos recursos e da produção a cada 10 minutos, sabe-se que a simulação resulta em atenuação das variações instantâneas, ainda que em menor escala. Com isso, eventuais picos (dentro do intervalo de 10 minutos) de geração fotovoltaica acabam não sendo observados, afetando a quantidade de energia “cortada” e o tempo em que a subestação operará no limite de sua capacidade nominal.

Pelo exposto, fica clara a importância de avaliações caso a caso, para cada local e configuração de usinas, com base em metodologia consistente, levando em consideração as medições dos recursos com bases discretizadas e por períodos extensos, de forma a contemplar a variabilidade interanual dos mesmos.

Cabe destacar que o resultado analisado em última instância neste trabalho foi a quantidade de energia proveniente da usina fotovoltaica vertida (“curtailment”). Pode haver outros critérios de análise de maior relevância para cada agente, como por exemplo, eventual redução de custos de investimento ao implantar uma usina “híbrida”, melhor uso do terreno disponível, a otimização do uso das instalações de interesse restrito, dentre outros. Reforça-se também que o presente estudo não aborda questões regulatórias ou econômico-financeiras.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EPE (a). Algumas estatísticas obtidas da simulação da geração eólica na região Nordeste. EPE-DEE-RE-107/2016. Dezembro de 2016.

EPE (b). Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica. EPE-DEE-RE-065/2013-r3. Março de 2016

EPE (c). Leilões de Energia: Instruções para as medições anemométricas e climatológicas em parques eólicos. Série Recursos Energéticos. EPE-DEE-RE-057/2016 – r1. Dezembro de 2016.

IRENA. Planning for the renewable future: Long-term modelling and tools to expand variable renewable power in emerging economies. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2017.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Gustavo Pires da Ponte, nascido em Brasília – DF em 1984, é Consultor Técnico na EPE, graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Brasília - UnB (conclusão em 2008) e pós-graduado em Engenharia de Tubulações pela PUC-Rio (conclusão em 2010) e mestrando Engenharia Urbana e Ambiental pela PUC-Rio.

Aline Couto de Amorim, nascida em Niterói – RJ em 1979, é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense – UFF (conclusão em 2006) e com MBA em Gestão pela Qualidade Total pela mesma Instituição (conclusão em 2009).

Cristiano Saboia Ruschel, nascido em Guaíba – RS em 1988, é Analista de Pesquisa Energética na EPE, e Engenheiro Mecânico graduado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (conclusão em 2012). Possui mestrado em Energia também pela UFRGS (conclusão em 2015), e atualmente cursa doutorado nos mesmos programa e instituição.

Flávio Alberto Figueredo Rosa, nascido em Ouro Preto em 1984, é graduado em Engenharia Elétrica pela Unifei em 2007 e Mestre em Engenharia Elétrica pela Unifei em 2009.

Gustavo Brandão Haydt de Souza, nascido no Rio de Janeiro em 1980, é graduado em Engenharia Elétrica pela UERJ em 2005 e Doutor em Sistemas Sustentáveis de Energia pela FEUP de Portugal, em 2012.

João Henrique Magalhães Almeida, nascido em 1985 em Alvinópolis, MG. Engenheiro Eletricista formado pela UFMG em 2009. Pós Graduado em Engenharia Econômica pela UERJ em 2015. É Analista de Pesquisa Energética na EPE desde 2013. Trabalhou na CEMIG D com estudos de linhas e subestações de 2010 a 2013.

Josina Saraiva Ximenes, nascida em Salvador – BA em 1988, é Analista de Pesquisa Energética na EPE, graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Bahia – UFBA (conclusão em 2013).

Michele Almeida de Souza, nascida em Rio de Janeiro – RJ, é graduada em Engenharia Elétrica pela UFF em 2007 e pós-graduada em Engenharia de Automação e Instrumentação pelo PROMINP/UERJ em 2008.