



## Conferência Internacional LINKS 2015

Links 2015 - ligações entre o consumo de energia, alimentos e água no Brasil, no contexto das estratégias de mitigação das mudanças climáticas.

# LINKS



2 0 1 5

Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 22 a 24 de Setembro de 2015.



# UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

## ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE COMPLEMENTARIDADE ENTRE FONTES RENOVÁVEIS PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

**Lívia Maria Leite da Silva, Wilson Pereira Barbosa Filho, Rafaela Garcia Diniz de Souza, Wemerson Rocha Ferreira.**

Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Avenida Prefeito Américo Gianetti, s/n, Ed Minas, 1º andar, CEP: 31630-900 - Belo Horizonte / MG. Brasil.]

**Antonella Lombardi Costa, Ricardo Brant Pinheiro.**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia, Av. Antônio Carlos, 6627/3, bairro Pampulha, CEP: 21270-090, Belo Horizonte/ MG. Brasil

### RESUMO

Este trabalho realiza uma avaliação do potencial de complementaridade entre as fontes solar fotovoltaica, eólica e hidráulica, em regiões onde já existem usinas deste último tipo - pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e usinas hidrelétricas (UHE) - em operação, no estado de Minas Gerais. Neste estado, cerca de 85% da energia gerada é proveniente de usinas hidráulicas, deste modo, a complementaridade da geração caracteriza um mecanismo de aumento da confiabilidade do sistema e de sua viabilidade, dadas as possibilidades de estabilização sazonal da oferta de energia e utilização conjunta das estruturas de transmissão existentes. Os resultados apontam para um maior potencial estratégico da complementaridade entre a geração eólica solar e as PCHs.

Palavras-chave: Complementaridade, energia eólica, energia solar, energia hidráulica.

### ABSTRACT

This paper carries out an assessment of the potential of complementarity between the sources photovoltaic solar, wind and hydro, in regions where there are already plants of the latter type - Small Hydroelectric Plants (Pequenas Centrais Hidroelétricas - PCH) and hydroelectric power plants (HPP) - in operation in the state of Minas Gerais. In this state, about 85% of the energy generated comes from hydraulic source, thereby the complementarity of the generation represents a mechanism of increase of the reliability and viability of the electric system, given the possibilities of seasonal stabilization of the energy supply and utilization of existing transmission structures. The results point to a greater strategic potential of the complementarity between the sources solar and wind and the PCHs.

Keywords: Complementarity, wind power, solar power, hydraulic power.

### INTRODUÇÃO

A matriz elétrica brasileira é fortemente dependente da hidroeletricidade. Cerca de 65% dos empreendimentos em operação no Brasil são baseados nesta fonte. No caso de Minas Gerais, este valor chega a 85% [1]. Tal situação vem se tornando preocupante devido ao período de escassez hídrica por que passa grande parte do território nacional. A oferta de energia vem sendo garantida por meio do despacho de usinas térmicas, que, além de mais caras, são mais ambientalmente danosas.



Deste modo, é importante prover mecanismos capazes de garantir o aumento da segurança do suprimento com os menores impactos ambientais associados possíveis. Neste sentido, surge como alternativa a diversificação da matriz por meio da inserção de novas fontes de energia renovável.

Um sistema energético que utiliza dois ou mais tipos diferentes de fontes renováveis é chamado Sistema de Energia Renovável Híbrido [2]. Tais sistemas utilizam as fontes de forma integrada, provendo um suprimento mais econômico e ambientalmente adequado do que os sistemas que utilizam uma única fonte [3]. Sistemas de energia híbridos podem operar interligados ao sistema elétrico tanto para garantir uma demanda estipulada quanto para, ocasionalmente, alimentar a rede com qualquer excedente de energia [4].

Neste contexto, este trabalho realiza uma avaliação do potencial de complementaridade entre as fontes solar fotovoltaica, eólica e hidráulica em regiões onde já existem usinas deste último tipo - PCHs e UHEs - em operação, no estado de Minas Gerais. O objetivo principal é fazer uma avaliação das localidades que possuem usinas hidráulicas em funcionamento e cujos potenciais solar e eólico disponíveis permitam a instalação de usinas baseadas nestas fontes, visando à estabilização sazonal da oferta.

Os resultados obtidos foram agrupados de acordo com os Territórios de Desenvolvimento de Minas Gerais, onde o território que possui maior número de usinas com complementaridade foi o Território da Mata. Foi verificado um maior potencial de complementaridade entre as PCHs, que, por possuírem menores potências instaladas, se adequam melhor às fontes eólica e solar, energeticamente menos densas. Também é observado que a geração solar fotovoltaica, devido aos altos valores de potencial disponíveis no estado, apresenta pouca variação ao longo do ano, cumprindo, portanto, um papel ligado à repotencialização das usinas. Já a geração eólica apresenta maior variação anual, ou seja, nos meses em que a geração híbrida está em baixa a geração eólica está em alta, cumprindo assim um papel ligado à estabilização sazonal da oferta.

## ESTADO DA ARTE

O Brasil é um país com grande disponibilidade de recursos renováveis para o aproveitamento energético. Dentre eles, destacam-se os recursos hídricos, cujo aproveitamento possibilita a ofertar cerca de 65% da geração de eletricidade no país. Estas características fazem com que o Brasil tenha uma matriz energética limpa em comparação com outros países [5].

O Estado de Minas Gerais tem um grande potencial hídrico. As principais bacias que compõem sua rede hidrográfica são as dos rios Doce, Grande, Jequitinhonha, Mucuri, Paraíba do Sul, Paranaíba, Pardo e São Francisco. No Estado, bem como no Brasil, ocorreu a concepção da matriz energética baseada na hidroeletricidade. Houve a construção de grandes hidrelétricas com reservatórios que pudessem realizar a estocagem de água no período úmido, visando à geração de energia elétrica no período seco, uma estratégia de regularização de vazões e oferta de energia.

Contudo, devido ao endurecimento da legislação ambiental, que trata da construção de grandes barragens, passou a ocorrer o investimento nas usinas a fio d'água, que nem sempre apresentam características de regularização de vazões, o que possui como consequência imediata a redução da capacidade de regular a geração.

A crescente restrição de atender a carga no período seco impôs ao sistema elétrico brasileiro o desafio de complementar o parque hídrico com usinas que pudessem operar na base do sistema



durante período seco. Atualmente esta complementação ocorre através de usinas térmicas geralmente movidas a combustíveis fósseis, na maioria dos casos com elevado custo variável unitário [6].

Paralelamente, o setor energético vive dificuldades relacionadas ao atendimento da demanda não apenas no período seco, pois a capacidade de oferta de energia está fortemente afetada pelo período de seca pelo qual passa o Brasil, notadamente a Região Sudeste. A crise hídrica que se vive no final do período úmido do biênio 2014/2015 é tida como a mais grave da história do país [7], e traz inúmeras consequências sociais, econômicas e energéticas.

Logo, o sistema elétrico está evoluindo de uma base hidroelétrica, com parque gerador térmico operando como reserva, para um sistema hidrotérmico, onde o parque térmico terá que despachar na base, durante não somente o período seco, mas durante situações emergenciais, como a de escassez de chuvas que se vive no momento. As consequências advindas desse quadro não são somente econômicas - por efeito do mais elevado custo de despacho das térmicas - mas também ambientais, devido ao maior caráter poluidor desta última fonte.

A utilização de fontes poluidoras, não somente retira o país da posição de destaque que sempre ocupou por sua matriz baseada em fontes limpas, como caracteriza um contrassenso, devido ao enorme potencial de fontes renováveis que há disponível em seu território, como as fontes eólica e solar.

O potencial eólico no Brasil chega a 143.000 MW, não incluindo neste valor o potencial *offshore*. Além disso, com exceção da região amazônica, tal potencial tem uma manifestação predominante entre os meses de junho a dezembro, que são justamente os meses de menor pluviosidade [8]. Considerando que o potencial hidrelétrico brasileiro se mostra mais predominante no período oposto ao do potencial eólico, pode-se inferir que esses potenciais possam vir a ser complementares, quanto à demanda de energia elétrica no país [9].

No caso de Minas Gerais, o potencial é de 10,6 GW, 24,7 GW e 39,0 GW, nas alturas de 50m, 75m e 100m, respectivamente [10]. A maior capacidade de geração encontra-se em áreas pertencentes do Triângulo Mineiro e da Serra do Espinhaço.

Contudo, devido ao fato de estar relacionado à ocorrência de fenômenos naturais, o recurso eólico é variável e a capacidade de geração também. Portanto, para determinar-se a produção anual de energia, deve-se analisar uma distribuição probabilística que possa representar, da maneira mais fiel possível, o comportamento do regime de ventos numa região. A distribuição de *Weibull*,  $f(v)$ , dada pela (1), é classificada como a mais adequada para descrever o regime dos ventos de um local e representar as frequências mensais de sua velocidade [11].

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

onde  $v$  é a velocidade do vento registrada em **m/s**;  $c$  é o fator de escala em **m/s** e  $k$  é o fator de forma (adimensional) [12].



Uma vez que a distribuição de frequências de velocidade do vento tenha sido estipulada, pode-se calcular a produção anual de energia de acordo com a curva de potência da turbina eólica considerada.

No caso da fonte solar, o país também conta com significativo recurso em termos de disponibilidade. O Brasil encontra-se próximo à linha do Equador, de modo que a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade – varia pouco durante o ano. A média anual de energia incidente na maior parte do país varia entre 4 kWh/m<sup>2</sup>.dia e 5 kWh/m<sup>2</sup>.dia [10]. Segundo dados apresentados pela Abinee [13], estes níveis solarimétricos são considerados altos e propícios ao aproveitamento energético. Mesmo as regiões brasileiras que registram os menores índices de radiação solar incidente possuem potencial superior à de muitos países europeus, como Alemanha, cuja capacidade de geração instalada é muito superior à brasileira.

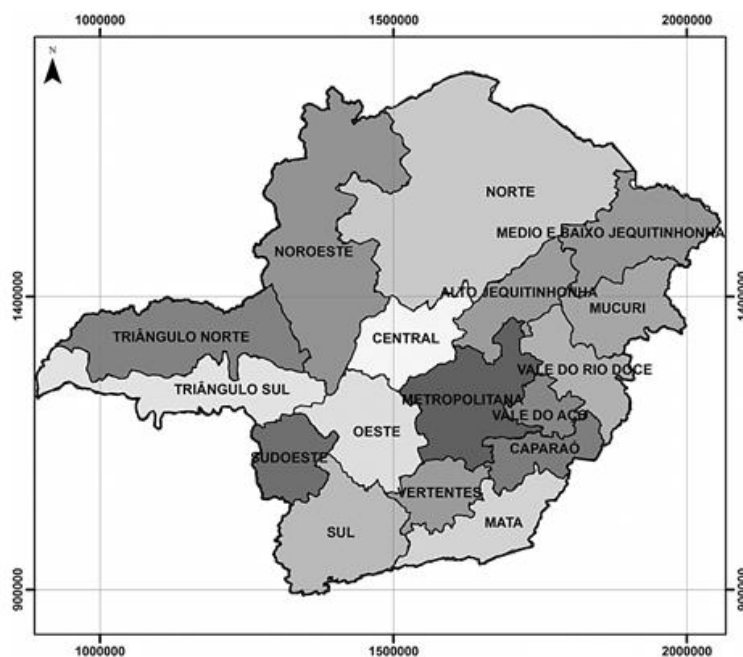
Em Minas Gerais, a radiação solar global diária média anual varia de 4,5 a 6,5 kWh/m<sup>2</sup>, onde os valores máximos ocorrem na região Norte de Minas Gerais e os mínimos na região Sudeste, onde se encontram as áreas de maior altitude (Serra do Caparaó e Mantiqueira). O potencial mínimo necessário para a instalação de sistemas fotovoltaicos planos sem concentração é de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>.ano, ou seja, 5,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia (valor diário anual médio) [10].

Logo, tendo em vista essa disponibilidade, a utilização conjunta dessas fontes em sistemas híbridos pode ser capaz de representar uma estratégia potencialmente eficaz em termos de aumento da confiabilidade do sistema.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Minas Gerais localiza-se na região sudeste do Brasil, possui 853 municípios, um total de 665 empreendimentos de geração elétrica em operação, gerando 15.648.090 kW de potência [1]. O Estado está dividido em 17 Territórios de Desenvolvimento, ilustrados pela *Figura 1*.

Figura 1: Territórios de Desenvolvimento



Fonte: Elaborado a partir de AGÊNCIA MINAS [14].

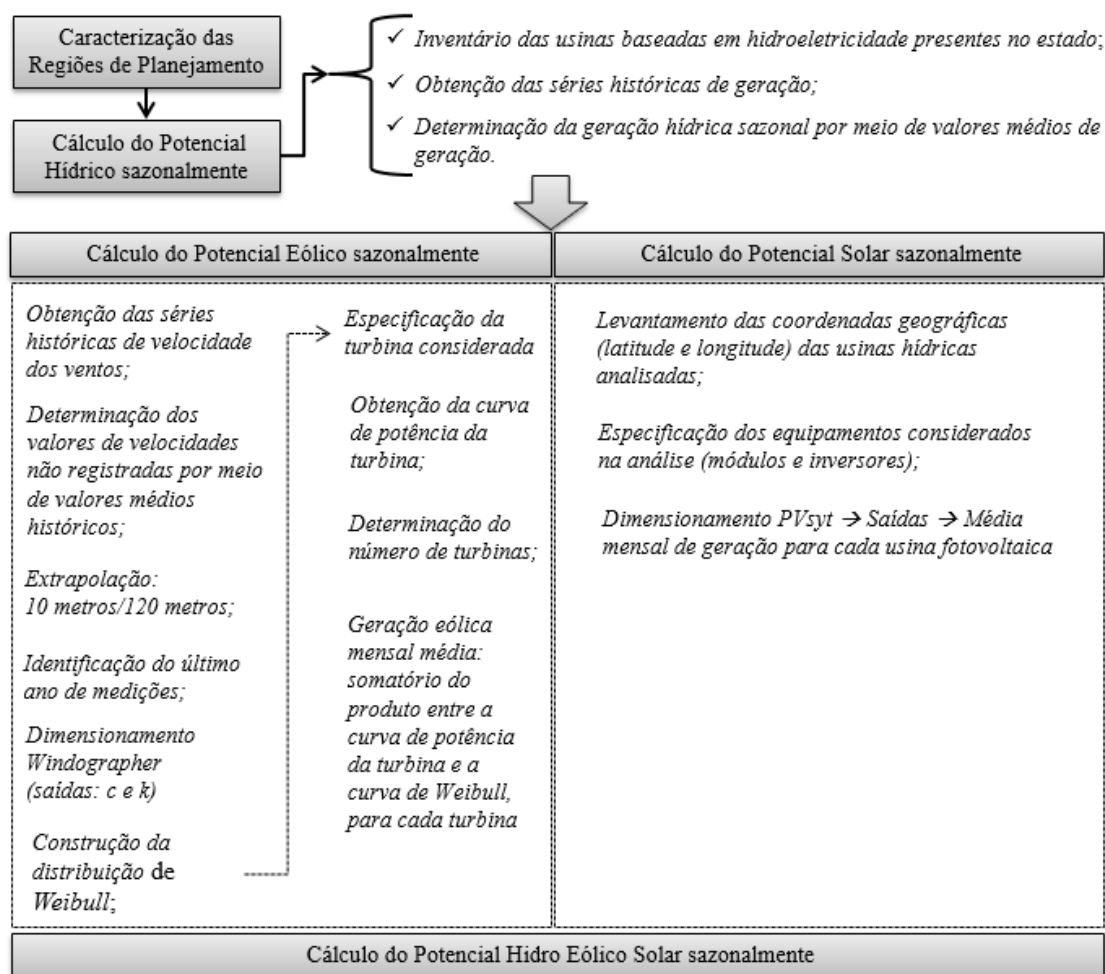
## METODOLOGIA

O presente estudo iniciou-se com o cálculo dos potenciais das fontes envolvidas, que foram determinados mediante metodologias específicas.

Para cálculo das gerações solar fotovoltaica e eólica, adotou-se a premissa, para a complementaridade ou repotencialização, de que a potência destas usinas corresponderia a 100% da potência da hidroelétrica analisada.

A metodologia utilizada neste estudo possui as etapas gerais descritas pela *Figura 2*.

Figura 2: Diagrama Metodológico



### Cálculo do Potencial Hídrico Sazonal

A determinação do potencial hídrico partiu do inventário de todas as usinas baseadas em hidroeletricidade e de sua localização dentro do contexto dos Territórios de Desenvolvimento. Atualmente existem 267 usinas deste tipo, sendo 126 CGHs, 97 PCHs, 44 UHEs [1]. Primeiramente, optou-se por desconsiderar as CGHs deste estudo, visando à diminuição do volume de dados. Em seguida, realizou-se o levantamento das séries históricas de geração das usinas junto aos órgãos competentes como Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Agência Nacional



de Energia Elétrica (ANEEL) e também mediante contato com proprietários. Algumas usinas não possuíam registros de sua geração, portanto, também precisaram ser excluídas da análise. No total, as simulações foram realizadas para 119 usinas. O valor do potencial hídrico foi considerado como sendo a média mensal dos valores medidos nas séries históricas.

## Cálculo do Potencial Solar sazonal

Para a estimativa do potencial de geração garantido pela energia solar fotovoltaica, realizou-se o dimensionamento das usinas solares por meio do software *PVsyst Photovoltaic* [15]. Esse software possui um banco de dados de radiação solar do *Meteonorm 6.1*. Foram fornecidas como entradas as latitudes e longitudes das hidrelétricas analisadas e a potência definida a partir da premissa já citada. Os equipamentos escolhidos para simulação foram os módulos policristalinos da *Kyocera*, e os inversores da *GE Power Conversion* e da *Power Electronics*. Realizadas as simulações obteve-se, a partir do software, uma média mensal de geração de energia elétrica para cada usina fotovoltaica.

## Cálculo do Potencial Eólico Sazonal

Para cálculo da geração eólica, utilizaram-se dados de velocidade de vento registrados pelas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas nas proximidades das usinas hidrelétricas analisadas. Os dados obtidos apresentam as medições realizadas diariamente e a cada hora do dia, nos últimos oito anos – podendo apresentar algumas variações neste período de acordo com a estação. Tais dados necessitaram passar por um pré-tratamento devido às seguintes particularidades:

- ocorrência de valores não medidos de velocidade de vento;
- medições realizadas a 10 metros de altura, onde não se realiza aproveitamento energético para os sistemas considerados.

Desta forma, primeiramente, realizou-se a substituição dos valores não medidos pela média entre os valores medidos no mesmo dia e na mesma hora, durante todos os anos da série histórica, desconsiderando valores iguais a zero. Em seguida, realizou-se uma extrapolação das velocidades de vento para uma altura adequada ao aproveitamento energético, no caso, de 120 metros.

Para o cálculo da velocidade do vento para uma altura de 120 metros, utilizou-se a Lei da Potência ou Lei de Hellmann, dada pela (2) [16-18]. Dentre as várias metodologias existentes, é a mais utilizada para estudos de caráter mais abrangente, sendo caracterizada por uma expressão simples capaz de fornecer resultados satisfatórios [19]:

$$V_z = V_r \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^n \quad (2)$$

onde  $V_z$  é a velocidade para a altura  $z$ ;  $z$  é a altura a ser extrapolada;  $V_r$  é a velocidade medida na altura de referência;  $z_r$  é a altura de referência;  $n$  é o coeficiente de rugosidade do solo [11]. Considerou-se um coeficiente de rugosidade do solo igual a 0,19 (classe de rugosidade média).

Utilizou-se o software *Windographer*<sup>®</sup> [20] para tratamento dos dados de velocidade do vento. Este software fornece como saídas os parâmetros  $k$  e  $c$  (mensais) relacionados à distribuição de *Weibull*.



De posse de tais valores é possível construir a distribuição de frequências conforme a (1), que expressa a probabilidade de ocorrência de cada valor de velocidade de vento.

O próximo passo é dado pela especificação dos equipamentos considerados na análise e pelo levantamento da curva de potência da turbina utilizada. A turbina escolhida para simulação foi a E115 da Enercon, com o diâmetro do rotor de 110 metros e potência nominal de 3.050 W. Para o cálculo do número de turbinas necessário em cada usina eólica utilizou-se a (3).

$$N_{TURB} = \frac{P_{INST}}{P_N E115} \quad (3)$$

Onde  $N_{TURB}$  é o número de turbinas necessário;  $P_{INST}$  é a potência instalada da usina eólica e  $P_N E115$  é a potência nominal da turbina E115.

Finalmente, calcula-se a geração mensal de energia eólica por meio do cruzamento entre a curva de potência da turbina e a distribuição de Weibull gerada para cada localidade. Utilizou-se a (4).

$$G_{ME} = \left[ \sum (W(v) \cdot P(v)) \right] \times 720 \times n \quad (4)$$

Onde  $G_{ME}$  é a geração média mensal de energia;  $v$  é a velocidade do vento em m/s;  $W(v)$  é a distribuição de Weibull para cada velocidade do vento;  $P(v)$  é a potência gerada pela turbina para cada velocidade do vento; 720 é o número de horas consideradas no mês;  $n$  é o número de turbinas [12].

## Cálculo do Potencial Hidro-Eólico-Solar

Após a determinação dos potenciais, os resultados foram traçados e comparados graficamente para cada usina.

Considerou-se que a fonte híbrida complementa a geração, quando, nos meses em que a geração da fonte principal (hídrica) encontra-se com valor abaixo da média, a fonte híbrida for capaz de garantir a geração, impedindo o máximo possível que a energia firme diminua. Nos casos em que não se verifica a complementaridade conforme exposto, verifica-se a repotencialização das usinas, que corresponde a um acréscimo na energia gerada.

Considerou-se que a repotencialização de cada usina é dada pela parcela em valor percentual que a energia gerada pela fonte híbrida – a área abaixo da curva de geração desta fonte – representa com relação à energia gerada pela fonte hídrica. Já a complementaridade é dada pelo produto entre a repotencialização e a razão entre os meses em que se verificou complementaridade e o total de meses do ano.

## RESULTADOS

As simulações foram realizadas para todas as usinas do tipo UHE e PCH de Minas Gerais, cujos dados históricos de geração puderam ser levantados. No total, foram avaliadas 119 usinas, sendo que, destas, 41 são UHEs e 78 são PCHs.





Os resultados mostram que, dentre as UHEs, 10 usinas, cerca de 24,39%, apresentaram valor de complementaridade acima de zero. No caso das PCHs, este número foi igual a 50, cerca de 64,10%. Desta forma, do total de usinas avaliadas, 60 delas, ou seja, cerca de 50,42% do total, apresentaram valor de complementaridade diferente de zero.

As usinas que apresentaram potencial de complementaridade são apresentadas nas Figura 3 e 4, para UHEs e PCHs, respectivamente.

Figura 3: Complementaridade e repotencialização – Resultados UHEs

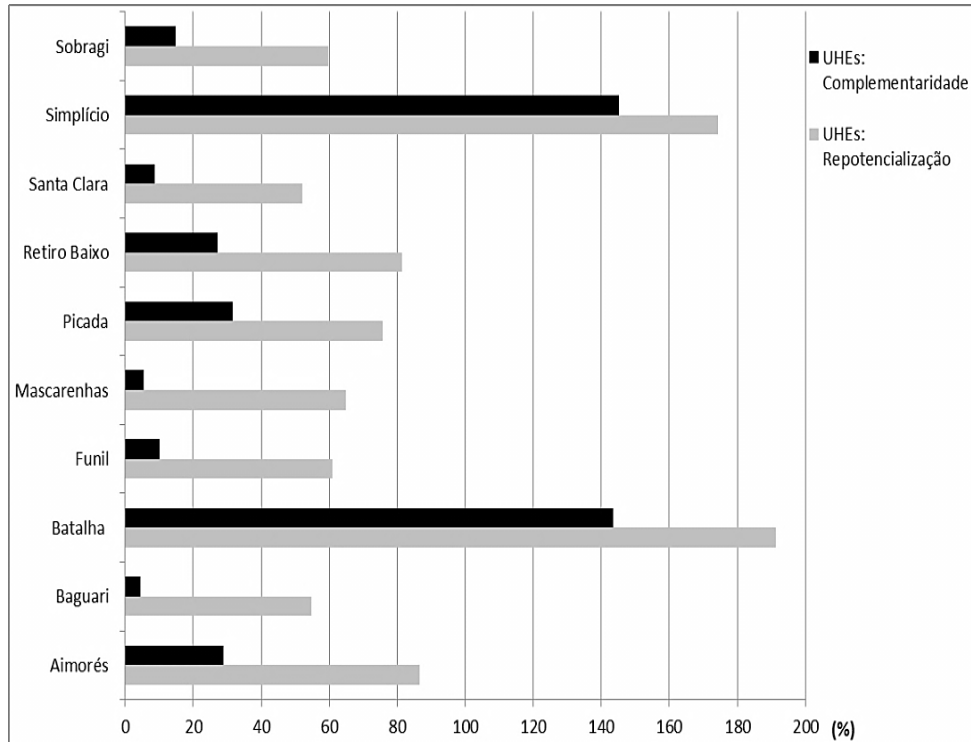
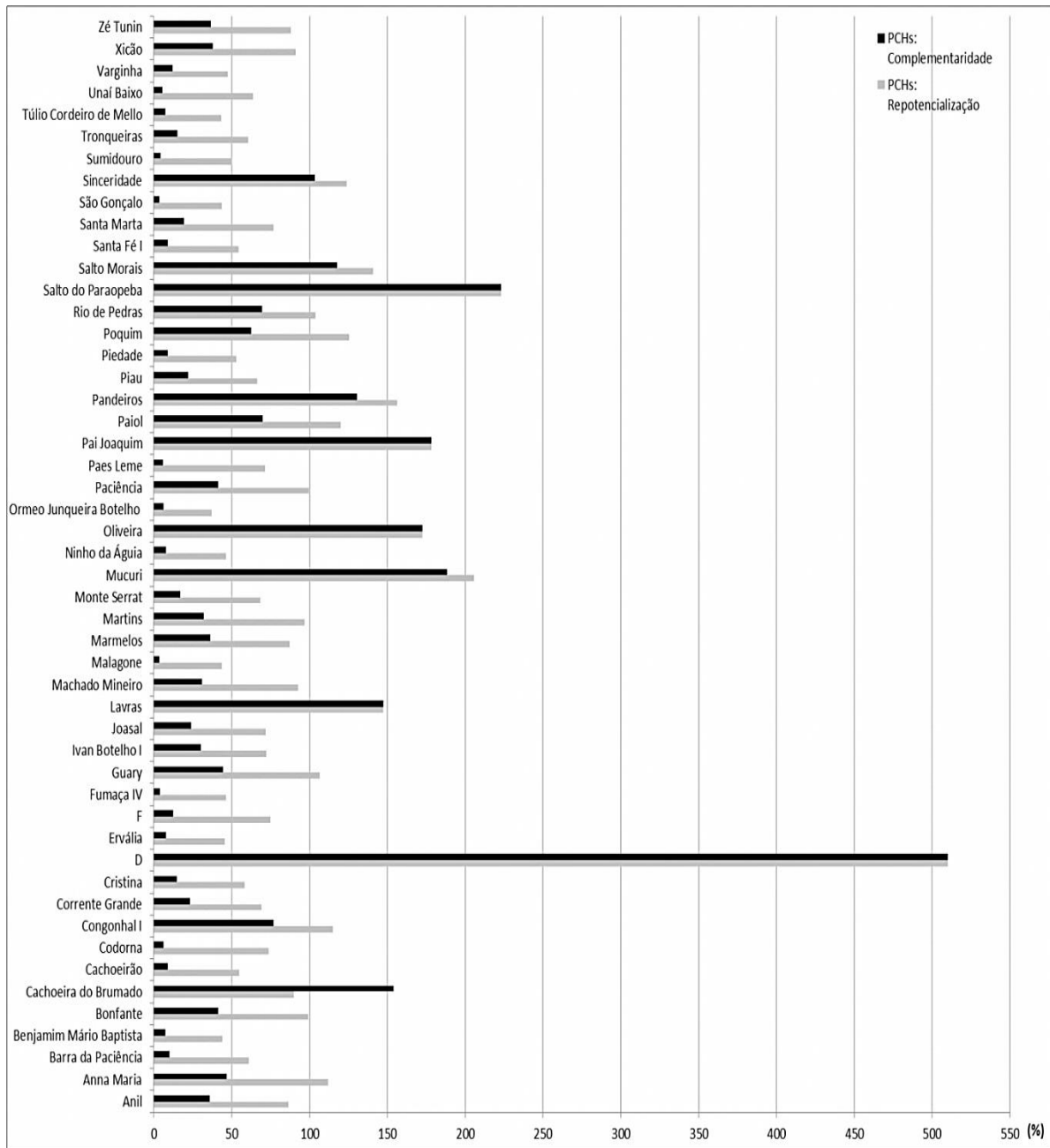


Figura 4: Complementaridade e repotencialização – Resultados PCHs



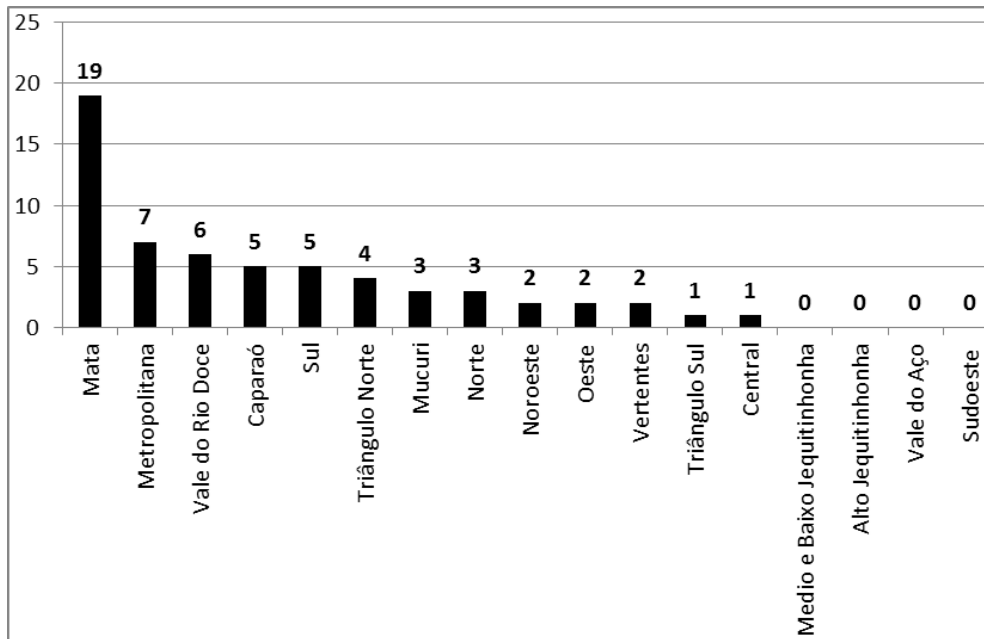
Observa-se que o maior número de usinas que apresentaram complementaridade em seu perfil de geração foram as PCHs, em detrimento das UHEs. A predominância de usinas do primeiro tipo aponta para o fato de que as fontes renováveis, por possuírem menor densidade energética em comparação às fontes tradicionalmente utilizadas na geração centralizada - notadamente hidroeletricidade e combustíveis fósseis – são mais compatíveis com as PCHs, devido às suas menores potências instaladas, da ordem de 3 a 30 MW.

Observa-se também que existe um acréscimo significativo no que diz respeito à potência gerada pelas usinas, ou seja, sua repotencialização. Em muitos casos, não se observa ganho expressivo no que diz respeito à complementaridade (conforme definição adotada neste trabalho), contudo os ganhos em termos de aumento de potência gerada são expressivos.

## Resultados de acordo com os novos Territórios de Planejamento

Na Figura 5 é apresentado o número de usinas com complementaridade por Território de Desenvolvimento. Pode-se observar que a Mata possui o maior número de usinas – 19 usinas, cerca de 31,67% - com complementariedade em seu perfil de geração.

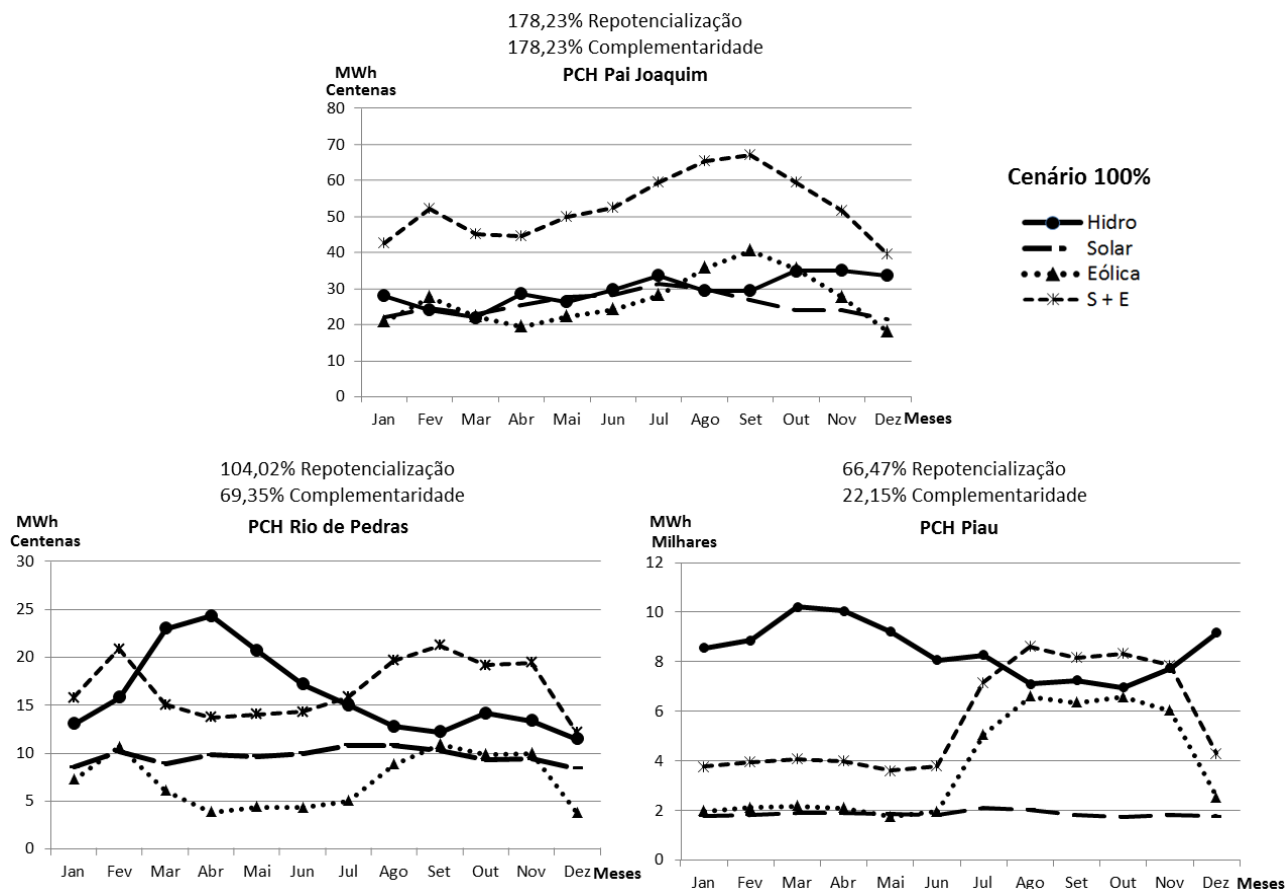
Figura 5: Número de usinas com complementaridade por Território de Desenvolvimento



Dos 17 Territórios de Desenvolvimento [14], 13 apresentaram usinas com complementaridade, e estas estão concentradas principalmente nas regiões da Mata e Metropolitana.

O perfil de geração de todas as usinas que apresentaram complementaridade não será apresentado devido ao volume de dados. A *Figura 6* permite analisar com mais detalhes o caso de três usinas.

Figura 6: Usinas com complementaridade: Perfil de geração



A PCH Pai Joaquim apresenta o melhor desempenho entre as três usinas analisadas. A fonte híbrida é capaz de, não somente garantir o mesmo montante de energia gerada pela fonte hídrica durante todo o ano, como exceder a geração da fonte principal. Analisando-se as fontes de forma isolada, pode-se observar que, para esta usina, a fonte eólica sozinha é capaz de oferecer um perfil de geração com complementaridade. A fonte solar não oferece complementaridade, porém é capaz de garantir a repotencialização da usina em quase 100%.

A PCH Rio de Pedras apresenta perfil com complementaridade apenas por meio da inserção da fonte híbrida. A geração solar é praticamente constante ao longo do ano e, portanto cumpre, novamente, papel ligado à repotencialização da usina. Já a fonte eólica apresenta maior variação ao longo do ano. Esta variação se dá de forma contrária à fonte hídrica, ou seja, os meses com maior geração eólica são os meses de menor geração hídrica, o que é o perfil desejado, tratando-se de fontes complementares.

A PCH Piau apresenta o perfil com a complementaridade menos significativa, contudo, com um bom desempenho com relação à repotencialização.

## CONCLUSÃO

Este estudo procurou identificar usinas hidrelétricas de Minas Gerais - PCHs e UHEs - cujos potenciais eólico e solar das localidades onde estas se encontram, permitam a instalação de usinas fotovoltaicas e eólicas visando à estabilização sazonal da oferta de energia.



Constatou-se que os melhores resultados em termos de complementaridade entre essas fontes foram observados entre as usinas do tipo PCH, devido a sua menor potência instalada, e que a região de Minas Gerais com o maior número dessas usinas foi a região da Mata. Mesmo nos casos em que não se observou a complementaridade entre as fontes, houve um ganho significativo em termos de repotencialização da usina avaliada.

O presente trabalho buscou chamar a atenção para as vantagens estratégicas advindas da diversificação da matriz estadual – e até mesmo nacional – por meio da inserção de fontes renováveis. Tais vantagens estão representadas:

- pelo aproveitamento de um vasto potencial disponível;
- pelo ganho em termos de segurança do suprimento, sobretudo neste momento em que o país passa por um período de crise hídrica;
- pelo pioneirismo ambiental, representado pela manutenção da geração baseada em fontes limpas;
- pelo ganho econômico, dada a possibilidade de construção de novas usinas que possam utilizar de forma conjunta com aquelas pré-existentes, estruturas de infraestrutura de transmissão já em operação.

## REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015. *Banco de Informações de Geração*. [Online]. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. [Acesso em 27 junho 2015].
- [2] YILMAZ, S.; SELIM, H. *A review on the methods for biomass to energy conversion systems design*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 25, p. 420–430, 2013.
- [3] YLMAZ, P.; HOCAOGLU, M. H.; KONUKMAN, A. E. S. *A prefeasibility case study on integrated resource planning including renewables*. *Energy Policy*, v. 36, p. 1223–1232, 2008.
- [4] LUNA-RUBIO, R. et al. *Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies*. *Solar Energy*, v. 86, p. 1077–1088, 2012.
- [5] MARINHO, M. H. N. *Oferta de Energia através da Complementaridade sazonal Hidro-eólica no estado de Pernambuco* [Online]. Disponível em: <[http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CD8QFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.poli.br%2Findex.php%3Foption%3Dcom\\_phocadownload%26view%3Dcategory%26download%3D7812%3Aartigo%26id%3D24%3Ainstitucional&ei=taoPUs29F4PP2wWK0YH4Aw&usq=AFQjCNGxYVt\\_1RI9VQhbu8S-7r-izLrVug](http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CD8QFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.poli.br%2Findex.php%3Foption%3Dcom_phocadownload%26view%3Dcategory%26download%3D7812%3Aartigo%26id%3D24%3Ainstitucional&ei=taoPUs29F4PP2wWK0YH4Aw&usq=AFQjCNGxYVt_1RI9VQhbu8S-7r-izLrVug)> [Acesso nov. 2014].
- [6] CASTRO, N. J, MARTINI,S., BRANDÃO, R., DANTAS, G. A., TIMPONI, R. R. 2009. *A Importância das Fontes Alternativas e Renováveis na Evolução da Matriz Elétrica Brasileira*. In V Seminário de Geração e Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 19-29.
- [7] CERQUEIRA, G. A. et al. *A Crise Hídrica e suas Consequências*. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (Boletim Legislativo nº 27, de 2015). [Online]. Disponível em: [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em 16 de abril de 2015..



- [8] AMARANTE, O. A. C., ZACK, M. B. J., SÁ, A. L., 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. MME, Brasília.
- [09] BARBOSA FILHO, W. P.; AZEVEDO, A. C. S.; XAVIER, M. V. E. *Study of complementarity between wind and hydropower schemes for the state of Minas Gerais*. In: I latin hydro power & systems meeting, 2013, Campinas. I Latin Hydro Power & Systems Meeting, 2013.
- [10] COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, 2012. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. Belo Horizonte: CEMIG.
- [11] SANSIGOLO, C. A. (2005). *Distribuições de Probabilidade de Velocidade e Potência do vento*. Revista Brasileira de Meteorologia. v.20, n.2, 207-214, 2005
- [12] VIAJANTE, G. P; CAMACHO, J.R.; ANDRADE, D.A. *Estimativa de obtenção de energia a partir do vento em uma dada área* [Online]. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em <file:///C:/Users/x16130461/Downloads/IX\_CEEL\_013.pdf>. Acesso abr. 2014
- [13] ABINEE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, 2012. Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. [Online] Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>> [Acesso em 27 maio 2015].
- [14] AGÊNCIA MINAS, 2015. *Fóruns Regionais de Governo*. [Online]. Disponível em <<http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticias/governador-pimentel-anuncia-a-criacao-dos-foruns-regionais-de-governo/>>. Acesso 09 jun 2015.
- [15] PVsyst Photovoltaic Software 6.2.6. <http://www.pvsyst.com/en/>
- [16] ĐURISIC, Z; MIKULOVIC, J. *A model for vertical wind speed data extrapolation for improving wind resource assessment using WAsP*. Renewable Energy. V 41. p 407 e 411. 2012.
- [17] GUALTIERI, G.; SECCI, S. *Methods to extrapolate wind resource to the turbine hub height based on power law: A 1-h wind speed vs. Weibull distribution extrapolation comparison*. Renewable Energy. V 43. p. 183-200. 2012.
- [18] GUALTIERI, G; SAURO, S. *Comparing methods to calculate atmospheric stability-dependent wind speed profiles: A case study on coastal location*. Renewable Energy. V 36. p. 2189 - 2204. 2011
- [19] BANÑUELOS-RUEDAS, F; ANGELES-CAMACHO, C.; RIOS-MARCUELLO, S. *Analysis and validation of the methodology used in the extrapolation of wind speed data at different heights*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. V 14. p. 2383–2391. 2010.
- [20] Windographer® Software. <https://www.windographer.com/>