

GERAÇÃO HÍBRIDA COMO ALTERNATIVA PARA MITIGAR IMPACTOS DA MASSIVA INSERÇÃO DE GERAÇÃO RENOVÁVEL NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Violeta Fonseca Lino¹

Doutora em Engenharia Civil – Área de Planejamento Energético e Sistemas Elétrico

Instituição: Gerente de Projetos de Due Diligence no Grupo Energia

E-mail: violetalino@hotmail.com

Luis Henrique Lancellotti Zapparoli Pupin²

Engenheiro Civil, Pós-graduado em Energias Renováveis

Instituição: Coordenador de Due Diligence no Grupo Energia

E-mail: luishenrique.pupin@gmail.com

Alberto Luiz Francato³

Professor Livre Docente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

E-mail: francato@fec.unicamp.br

RESUMO

É notório que não só o Brasil, mas o mundo vem passando por uma transformação em suas matrizes de energia elétrica, devido ao crescimento populacional e econômico, preocupações com o meio ambiente e, conseqüentemente, aumento da demanda energética. Especialmente no Brasil, que é o foco deste estudo, e onde a estrutura de geração de energia, desde sua reformulação nos anos 2000, foi desenvolvida e regulamentada baseada em uma geração hidráulica com complementação por usinas térmicas. Nos últimos dez anos, a evolução da matriz tem mostrado uma significativa participação de fontes renováveis intermitentes e/ou sazonais como a energia eólica, solar e térmica a partir de biomassa, é perceptível os novos desafios tanto no planejamento quanto na operação do sistema, uma vez que o Brasil possui um sistema todo interligado, de grandes extensões geográficas e diferentes condições climáticas. Portanto este artigo apresenta e propõe pontos de vista pouco difundidos na área de energia e que podem ter impactos significativos na matriz brasileira. A ampla inserção de fontes intermitentes, sem uma nova proposta que contemple as diversidades de oferta das fontes contínuas, pode minimizar os interesses em novos desenvolvimentos na geração de base, bem como tornar menos atrativa a operação das fontes hídricas, responsáveis por grande parte do SEB. Além de mitigar os riscos, o trabalho apresenta resultados extremamente positivos, não só em termos de Garantia Física, mas também de aspectos que podem ser levantados em uma operação híbrida em prol da confiabilidade do sistema e da segurança energética.

Palavras-chaves:

Intermitência, geração de energia híbrida, garantia física, segunda energética.

ABSTRACT

It is notable that not only Brazil, but the world is going through a transformation in their electrical energy matrices, due to population and economic growth, concerns about the environment and, consequently, energy demand increase. Especially in Brazil, which is the focus of this study and where the power generation structure, since its reformulation in the 2000s, has been developed and regulated to have a hydraulic generation base with complementation by thermal plants. In the last ten years, the matrix evolution has shown a significant participation of intermittent and/or seasonal renewable sources such as wind, solar and thermal energy from biomass, it has been noticed new challenges in the system planning and operation, which already has an intensive challenge once it is practically all wired interconnected, of great geographical dimensions and different climatic conditions. This paper presents and proposes points of view that are not very widespread in the energy field and that can have significant impacts on the Brazilian matrix. The wide insertion of intermittent sources, without a new proposal that includes the diversities of the continues sources supply, can minimize the interests in new developments in the base generation, as well as make the operation of hydro sources less attractive, which are responsible for a large part of the SEB. In addition to mitigate the risks, the paper presents extremely positive results, in terms of not only the Firm Energy, but also aspects that can be raised in a hybrid operation in favor of system reliability and energy security.

Keywords:

Capacity Credit, Hybrid power generation, Intermittency

1. INTRODUÇÃO

O Brasil que tradicionalmente apresentou uma base de geração renovável por contar com sua majoritária participação na geração hídrica, especialmente com grandes reservatórios para tratar questões de oscilações dos regimes pluviais, desenvolveu um sistema elétrico baseado na geração de energia hídrica com reservatórios, com complementariedade em usinas termoelétricas, conectadas a um sistema de transmissão interligado que possui abrangência nacional em quase toda sua totalidade – o Sistema Interligado Nacional (SIN), que vêm se transformando rapidamente nos últimos anos. Exemplos destas transformações ocorrem nas usinas hidrelétricas recentemente construídas que quase em sua totalidade são do tipo a fio d'água. Ou seja, nestas usinas não existe capacidade de armazenamento de água suficiente para promover regularização da vazão para geração, o que reduz a capacidade de fornecimento de energia constante nos meses mais secos do ano.

Somando-se a este fato e observando-se o crescimento eminente da geração eólica, principalmente na região nordeste, o Brasil, pela sua capacidade de geração e crescimento através de diversas fontes alternativas, segue sua transformação de um sistema elétrico que possuía sua essência baseada nas usinas hídricas com capacidade de regularização complementado por usinas térmicas, para um sistema com inserção cada vez maior de outras gerações renováveis (eólica e solar), com a utilização da capacidade regularizadora de seu sistema hídrico para suprir déficits das gerações intermitentes (IEMA,2016).

É notável que a inserção de fontes renováveis à matriz eletroenergética brasileira é benéfica e necessária para suprir a demanda contínua por energia, porém do outro lado é impreterível atentar-se aos possíveis impactos que este rápido crescimento pode acarretar ao SEB (Sistema Elétrico Brasileiro), uma vez que as energias renováveis, principalmente eólica e solar, são baseadas em recursos de características intermitentes e sazonais. Sendo assim é de extrema importância o correto planejamento desde o início dos projetos de expansão, com foco em minimizar tais impactos, e não somente após o início da operação, o que poderá ser um momento tardio.

2. CRESCIMENTO DA GERAÇÃO RENOVÁVEL NO BRASIL

Desde o período da Revolução Industrial, a energia possui grande influência no bem-estar social e na competitividade econômica dos países, que foram sucessivamente vencendo paradigmas e ganhando espaço tecnológico para a crescente utilização de combustíveis fósseis. Onde é interessante verificar que 80% da demanda energética no ano de 2014 foi suprida por carvão, petróleo e gás natural (IEA, 2016).

Em busca de novas alternativas e fontes de energia limpa a custos menores, o Brasil juntamente com o mundo, teceu seu caminho no crescimento da disponibilidade energética. Toda a evolução da indústria e economia, juntamente com questões de âmbito ambiental culminaram nos avanços tecnológicos de recursos energéticos limpos e renováveis, tornando-os prioridade na expansão da matriz elétrica. Desde 2012, o acréscimo de capacidade instalada de geração renovável superou a implantação da geração não renovável. Em 2021 a energia renovável gerada ultrapassou a marca de 3.064 GW em capacidade instalada, representando 38% do montante mundial (IRENA, 2021).

A hidroeletricidade se tornou, há décadas, essencial na geração de eletricidade no SEB, devido ao seu protagonismo econômico e a vasta disponibilidade dessa fonte de energia. O Brasil desfruta de um parque de geração elétrica com cerca de 181,6 GW de capacidade instalada, principalmente hidrelétrica (EPE, 2022). O SEB é constituído majoritariamente por fontes renováveis existindo a relevância para geração hídrica, que corresponde a 60,2% da oferta interna total, enquanto 2,6% possuem origem solar e 11,4% em energia eólica. (EPE, 2022).

As Figuras 1 e 2 demonstram a rápida transformação e evolução de fontes de energia elétrica, que apesar de continuarem predominantemente hídrica, já tem seu papel sendo abordado por outras fontes de energia renovável.

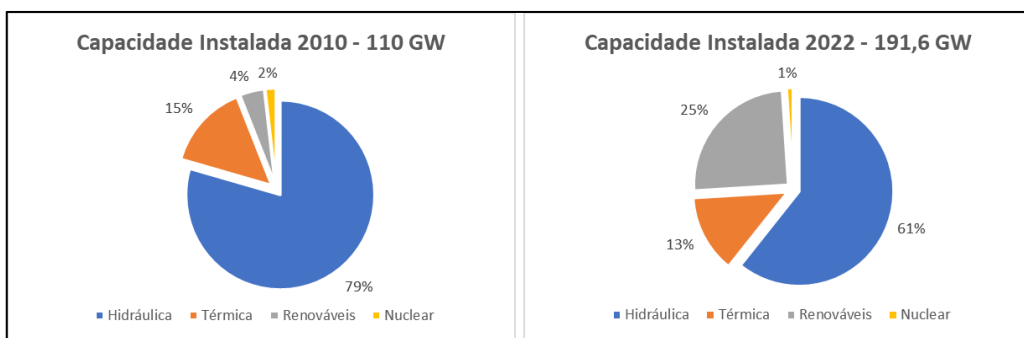


Figura 1: Capacidade Instalada 2010
Fonte EPE 2010

Figura 2: Capacidade Instalada 2022
Fonte CCEE 2023

A geração de energia proveniente de usinas eólicas atingiu 81,6 TWh em 2022, correspondendo a aproximadamente 26 GW de capacidade instalada e a uma expansão de 14,9%, já a produção de geração solar atingiu 30,1 TWh considerando tanto a geração centralizada como a distribuída, representando um avanço de 79,1% em relação ao ano anterior em ambos os casos (BEN 2023) (EPE, 2023) (CCEE, 2023).

Segundo o Plano da Operação Energética – PEN, 2010/2024 (ONS, 2022), pode-se observar que a previsão da potência instalada brasileira até 2024 e que os investimentos do setor elétrico são focados em geração eólica e solar. A EAR_{máx} (energia armazenada máxima hídrica) do SIN permanece inalterada de 2010 a 2024, isso porque a expansão hidrelétrica neste período é dada por usinas com pouco ou níveis inexistentes de regularização, ou seja, usinas a fio d'água. Além disso, é importante ressaltar que o SIN possui uma das maiores capacidades de armazenamento do mundo.

Neste contexto, o Brasil possui peculiaridades interessantes e únicas por já contar com uma matriz energética renovável ampla quando comparada à média mundial. Embora fontes tradicionais de energia renovável (biomassa e hidrelétrica) estejam fortemente presentes no SEB, a introdução da geração eólica e solar vem alterando as características da produção de energia nacional. Pois variações pertinentes dos recursos hídricos e de biomassa se sucedem em longos períodos (sazonais e anuais), enquanto as fontes

alternativas de geração (eólica e solar) apresentam grandes variações em períodos muito curtos (intradiária).

Segundo Hallack (2017) e Losekann (2013), a matriz eletroenergética brasileira possui privilégios para adaptação a uma inserção maciça de fontes intermitentes, como a energia eólica e solar, podendo ser pontuado como um sistema dinâmico, que permite ajustes necessários a esta expansão. Porém é necessário levar em consideração que: i) o sistema dispõe de uma alta flexibilidade devido a predominância hidráulica, contanto com 61% da capacidade instalada; ii) a capacidade máxima potencial de armazenagem dos reservatórios de 291 GW/mês, equivale a uma carga anual de aproximadamente cinco meses de geração; e iii) o sistema de transmissão do SIN, atende através de seu intercâmbio elétrico-energético, 98% da demanda nacional.

Portanto para o Brasil, os próximos anos podem apresentar desafios e oportunidades, uma vez que dispõe de muitos recursos energéticos e tecnologia para galgar mais espaço no quesito da energia renovável, mas que exigirá inovações e ajustes regulatórios para incluir as oscilações sistêmicas advindas das fontes de energia solar e eólica e ainda assim garantir seu alto nível de segurança e sustentabilidade energética.

Neste sentido a indústria eólica mundial apresenta uma evolução tecnológica relacionada a componentes e aerogeradores com unidades geradoras cada vez mais potentes e maiores. Dados recentes evidenciam que a China possui com sua nova turbina MySE 16.0-242 capacidade de gerar 16MW de potência a partir de um rotor com incríveis 242 metros de diâmetro, atualmente a maior unidade geradora eólica do mundo desenvolvida pelo Mingyang Smart Energy Group (MINGYANG SMART ENERGY, 2021).

A Figura 3 ilustra a evolução e projeção das torres eólicas e suas diferentes características construtivas, tais como, diâmetro, potência e altura e nos mostra que o “futuro” já chegou, caminhando cada vez mais rumo às novas tecnologias.

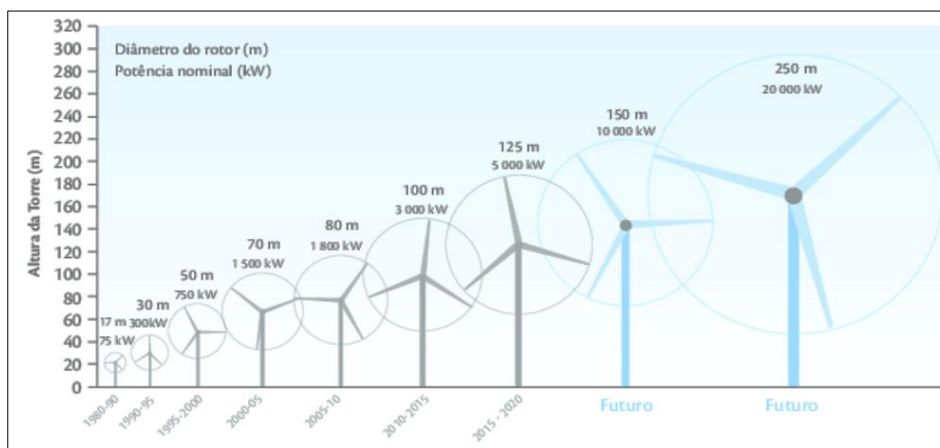


Figura 3: Evolução de características de turbogeradores eólicos.

Fonte: CGE (2015)

3. IMPACTOS DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO RENOVÁVEL

Como visto anteriormente, a massiva inserção de fontes renováveis no SEB já é uma realidade. Atualmente já se usufrui dos benefícios pelo crescimento destas fontes de geração através de custos mais baixos da energia elétrica, isto graças ao nível de exportação de energia do sistema Nordeste para o Sudeste-Centro Oeste durante o último ano no período considerado crítico para o sistema hídrico, somando-se a isso níveis pluviométricos elevados, resultado assim em um menor consumo dos reservatórios e aumentando a segurança energética do sistema, minimizando eventuais “erros” do planejamento do ONS (Operador Nacional do Sistema).

Em contrapartida, o aumento excessivo destas fontes sem uma mínima análise de riscos e impactos na matriz pode causar danos futuros como interrupção do fornecimento de energia. Isto pode ser motivado

através de uma fraca estrutura de geração de base ou de um sistema predominantemente intermitente, não agregando segurança ao SEB. A seguir é apresentado um estudo de caso realizado na cidade chinesa Jiaying que possuía uma significativa capacidade instalada de geração, mas índices baixos de Garantia Física (*capacity credit* em inglês), colocando assim em questão a segurança do seu sistema energético.

As garantias físicas visam promover credibilidade e confiabilidade aos sistemas eletroenergéticos além de proporcionar a remuneração dos gerados. Neste caso, quanto maior a garantia física de um sistema, maior sua segurança energética.

Keping Zhu, 2021 apresenta um estudo para a cidade chinesa Jiaying e expõe uma matriz energética predominante térmica e nuclear conforme Figura 4. Foram obtidos dados de temperatura e radiação solar do Distrito de Pinghu, Jianxing em 2020. Os dados horários de velocidade de vento foram coletados em Shengsi Islands, ilha próxima à cidade de Jianxing, sendo obtidos um total de 8.784 horas de estudo.

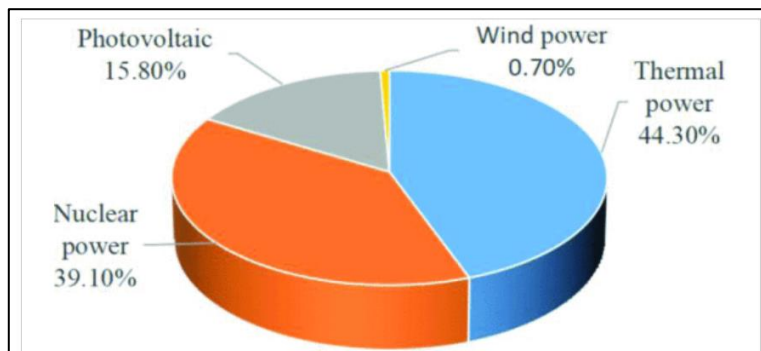


Figura 4: Matriz energética da cidade de Jianxing, China.
Fonte: Keping Zhu, 2021

As análises realizadas pelo modelo proposto por Keping Zhu, 2021, levam à uma conclusão com relação ao impacto das inserções de geração por fontes fotovoltaicas e eólica na garantia física da matriz energética da cidade de Jianxing.

As Figuras 5 e 6 tem como propósito demonstrar a análise realizada com a inserção de usinas eólicas, onde a mesma foi realizada com base em uma capacidade instalada variável de 20MW a 2000MW onde foi observado o comportamento referente à queda da Garantia Física enquanto aumentavam os valores de capacidade instalada.

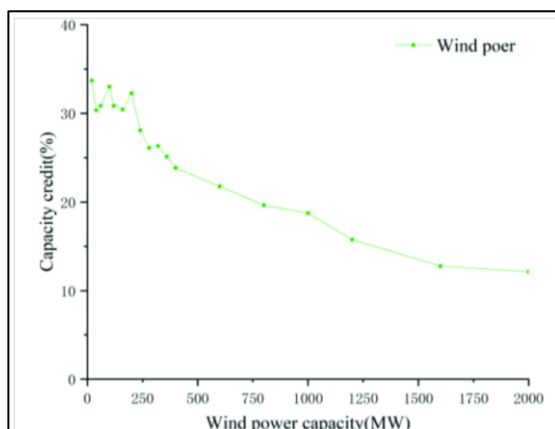


Figura 5: Correlação de impacto na Garantia Física conforme capacidade instalada
Fonte: Keping Zhu, 2021

Units	Wind power (MW)	Capacity value (MW)	Capacity credit (%)	Penetration power level (%)
5	20	6.7422	33.71%	0.59%
10	40	12.1455	30.36%	1.18%
15	60	18.5035	30.84%	1.76%
25	100	32.9922	32.99%	2.94%
30	120	37.0105	30.84%	3.53%
40	160	48.7089	30.44%	4.71%
50	200	64.5047	32.25%	5.88%
60	240	67.3901	28.08%	7.06%
70	280	73.1096	26.11%	8.24%
80	320	84.2404	26.33%	9.41%
90	360	90.4616	25.13%	10.59%
100	400	95.4177	23.85%	11.76%
150	600	130.6302	21.77%	17.65%
200	800	157.1535	19.64%	23.53%
250	1000	187.3636	18.74%	29.41%
300	1200	189.0767	15.76%	35.29%
400	1600	204.2463	12.77%	47.06%
500	2000	242.5866	12.13%	58.82%

Figura 6: Análise de impacto na Garantia física conforme capacidade instalada e índice de penetração
Fonte: Keping Zhu, 2021

Para uma análise comparativa entre a inserção da geração fotovoltaica e eólica na cidade de Jianxing, na Figura 7 observa-se que no mesmo índice de capacidade instalada, a Garantia Física da usina fotovoltaica é aproximadamente 5% maior quando comparada à usina eólica. Isto se deve muito pelo fato da cidade de Jianxing ser desenvolvida e ser afetada principalmente por áreas industriais e residenciais, fazendo com que sua carga máxima geralmente seja verificada em torno do meio-dia, coincidindo com o período de uma maior geração e Garantia física no horário de geração fotovoltaica.

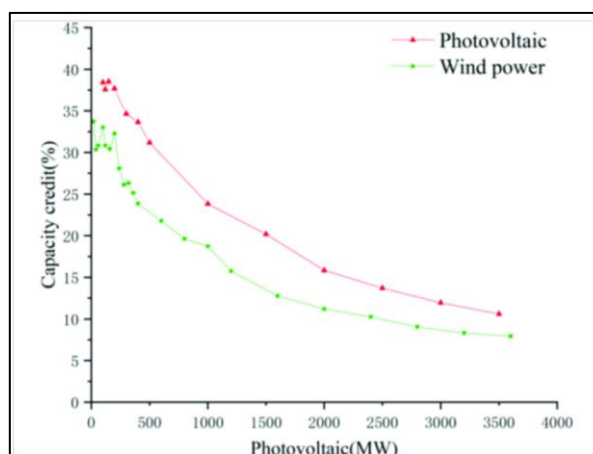


Figura 7: Análise comparativa de capacidade firme fotovoltaica e eólica conforme aumento da capacidade instalada
 Fonte: Keping Zhu, 2021

Independente da comparação fotovoltaica com eólica, observa-se um crescimento acelerado de fontes renováveis de maneira não criteriosa, sem avaliar o impacto na Garantia Física do sistema em questão, podendo levar a conclusões precipitadas e falhas ao objetivar aumento da segurança energética deste mesmo sistema. Como visto no caso anterior, ao aumentar significativamente a capacidade instalada de tais fontes, o impacto positivo no sistema se torna mínimo, onde muitas vezes não é justificado o investimento financeiro.

A implantação de fontes renováveis de energia nos mercados resulta em implicações e reformas de política energética necessárias que, quando não planejadas antecipadamente podem gerar graves consequências. Segundo Sirin et. al., 2022, o mercado da Turquia já sofre há mais de 20 anos com as reestruturações, onde os geradores de combustíveis fósseis existentes são impactados por essa grande transformação por meio de dois mecanismos principais. Em primeiro lugar, devido à prioridade de despacho, garantias de compra oferecidas como parte dos programas de incentivo dos governos e seu baixo custo marginal, as fontes de energia renovável tendem a mudar suas curvas de oferta de eletricidade, forçando a produção de usinas marginais. Isso resulta no fator conhecido como ordem de mérito, que em alguns mercados geradores de combustíveis fósseis ocasionalmente apresentam lances negativos para permanecerem despachados durante o horário de pico. Em segundo lugar, as características de geração de usinas renováveis podem exacerbar a oscilação dos preços praticados pelo mercado atacadista e, portanto, elevar os riscos de preços e os custos de balanceamento do sistema.

Para Gurtler et al., 2019 países como a Espanha e República Tcheca, pioneiros na inovação de inserção de fontes renováveis na União Europeia, ainda sofrem o desmantelamento de suas políticas energéticas e mostram quão vulneráveis países podem se tornar pela falta de tais políticas energéticas adequadas.

Conclui-se desta forma que muitos casos internacionais podem servir como referência e lições aprendidas para a matriz brasileira, porém não devem ser consideradas como uma verdade absoluta visto que a base elétrica brasileira é composta por um grande percentual de geração hídrica distribuída em uma vasta extensão territorial com diferentes cenários climáticos e pluviiais ao longo do tempo, característica singular

não percebida em outros países. Porém nota-se claramente que grandes potências mundiais investiram fortemente em usinas intermitentes sem se preocupar com a segurança energética de suas matrizes, problema este que pode ser considerado como lição aprendida pelo Brasil a fim de se pensar em uma possível reestruturação de seu sistema.

Apresentado os potenciais riscos e impactos na matriz energética, propõe-se análise cuidadosa para que se possa minimizar ou até mesmo mitigar tais riscos sem a necessidade de grandes investimentos em gerações consideradas como energia de base, onde no caso brasileiro resume-se a energia hídrica e térmica. Assim, o artigo em questão propõe-se a algumas alternativas que possam vir de encontro com tais necessidades, sem exaurir todas possibilidades de resolução dos possíveis problemas.

4. PROPOSTA PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS NO SEB

Como proposta à mitigação dos riscos apresentados anteriormente a principal sugestão que está em pauta atualmente pelo setor é a operação de forma híbrida entre duas ou mais fontes. Tal formato de operação é questionado principalmente com o cunho de ganhos de Garantia Física ou complementariedade entre duas fontes intermitentes a fim de se obterem níveis de geração mais contínuos, e não com foco na segurança energética do SEB. Assim, o artigo em questão propõe a hibridicidade com um olhar voltado ao ganho real no sistema como um todo, propondo uma operação entre uma fonte intermitente e uma fonte de base controlada por um mesmo agente. Esta proposta pode até mesmo servir como inspiração aos países mencionados anteriormente que vem sofrendo com o problema não considerado previamente podendo resultar em uma saída para retomar a segurança energética de suas matrizes.

O princípio da combinação de uma geração hídrica com uma fonte renovável se dá devido ao fato do nível de confiança das gerações consideradas como base (hídrica e térmica), onde suas Garantias Físicas são resultados de modelos matemáticos que asseguram um atendimento mínimo de 95% da demanda. Já para as usinas intermitentes, os mesmos índices são representados por equações matemáticas simplificadas nas quais os históricos de geração demonstram atendimento aproximado não maior de 50% (dados referentes às usinas Eólica de Bons Ventos, Coqueirinho e usinas fotovoltaicas de Tanquinho e Tauá).

A Figura 8 apresenta uma simulação de geração híbrida entre uma fonte hídrica cuja Garantia Física representa 97MW, e por sua vez considerada como geração de base, e uma fonte renovável eólica com Garantia Física de 13MW, que é caracterizada como intermitente. Em uma operação isolada, somente a geração hídrica é considerada como energia de base, sendo somente esta considerada como energia assegurada pelo SEB. Já em uma operação híbrida, pode-se adicionar a Garantia Física da usina renovável à Garantia Física da usina hídrica combinando assim em uma única Garantia Física com geração de base, visto que os reservatórios das usinas hídricas podem suprir quaisquer oscilações da geração intermitente e continuar atingindo índices de 95% de atendimento à demanda. No caso em questão, passaríamos de uma geração de base de 97MW para 110MW, apresentando um ganho de 13,4% de confiabilidade ao SEB somente na operação de forma híbrida.

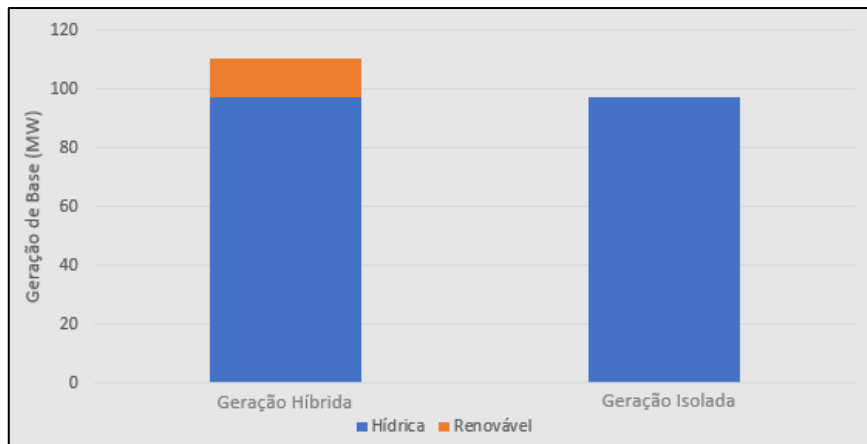


Figura 8: Comparativo entre energia de base na carga em geração tipicamente hídrica (isolada) e geração híbrida com usina renovável

Fonte: Próprio autor

Estes valores foram confirmados através do modelo matemático MA₂CG+ (LINO, 2023) que foi desenvolvido para estudos com o mesmo propósito de analisar ganhos em operações no formato híbrido. Modelo este que também foi utilizado para avaliação de ganhos secundários para a operação em questão que serão apresentados a seguir.

Adicionalmente ao acréscimo da geração de base o modelo apresentou, para condições em que há uma complementariedade relevante, que por sua vez possui curvas de gerações opostas entre as duas fontes, ganhos referentes a níveis de reservatório da fonte hídrica, o que significa uma maior segurança energética ao SEB aumentando o nível de confiança ao atendimento da Garantia Física mesmo em períodos secos, momento considerado crítico pelo ONS.

As Figuras 9 e 10 apresentam um exemplo de complementariedade ideal entre uma geração hídrica representada pela cascata do Rio Pardo, que é composta pelas usinas à fio d'água Limoeiro e Euclides da Cunha e pela usina de reservatório de Caconde, onde somente esta possui a capacidade de regularização e armazenamento de água (EAR), e pela usina renovável de Biomassa de Ester que possui picos de geração nos meses de julho, mês este considerado como o mais crítico para uma geração hídrica.

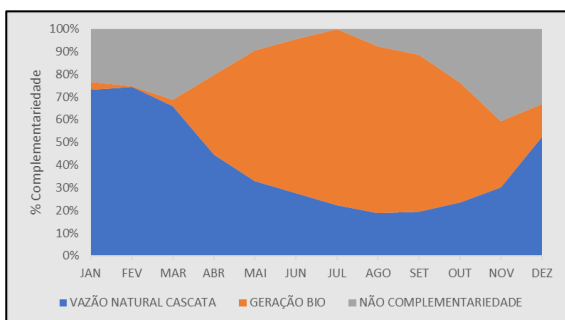


Figura 9: Análise de complementariedade entre vazão natural da cascata Rio Pardo e geração BIO Ester média

Fonte: Próprio autor

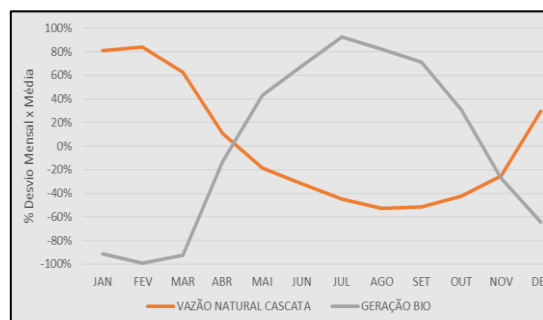


Figura 10: Comparativo entre vazão natural da cascata e geração BIO.

Fonte: Próprio autor

Através desta operação e como demonstrado na Figura 11, é notável um ganho do volume de reservatório de Caconde através de uma operação de forma híbrida juntamente com a usina de Biomassa de Ester, apresentando ganhos de 16,5% nos níveis de armazenamento (de 333hm³ para 388hm³), o que significa maior segurança ao sistema como um todo.

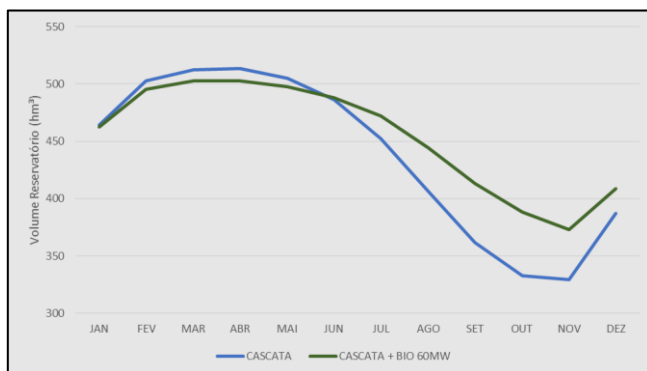


Figura 11: Comparativo entre volume final do reservatório de Caconde com e sem acréscimo de energia BIO Ester

Fonte: Próprio autor

Com o propósito de estender e confirmar a aplicabilidade da proposta de mitigação em questão também para o setor eólico, um dos focos da *Brazil Wind Power 2023*, a Figura 12 apresenta em uma operação similar a anterior alterando somente a usina de Biomassa de Ester pela usina Eólica de Bons Ventos, onde há ganhos de 5,15% nos níveis de Caconde, ganhos relativamente menores ao comparar com a operação em conjunto com Ester, mas ainda sim interessantes ao SEB, aumentando a segurança energética somente com a operação em formato híbrido. Esta diferença pode ser verificada na Figura 13, onde demonstra que o pico de geração de Bons Ventos acontece em setembro, mês este em que se está próximo ao período úmido, o que ainda assim é significativo para a geração hídrica, mas em níveis menores ao comparar com Ester que possui níveis de geração máxima no meio do período seco, em julho.

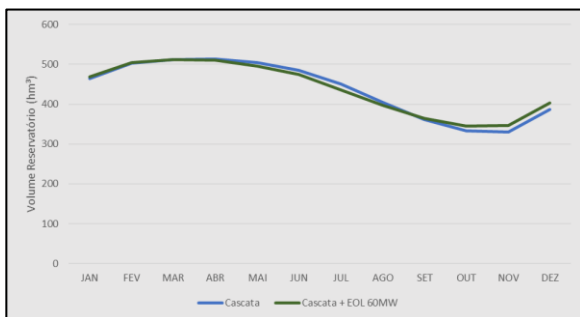


Figura 12: Comparativo entre volume final do reservatório de Caconde com e sem acréscimo de energia EOL Bons Ventos

Fonte: Próprio autor

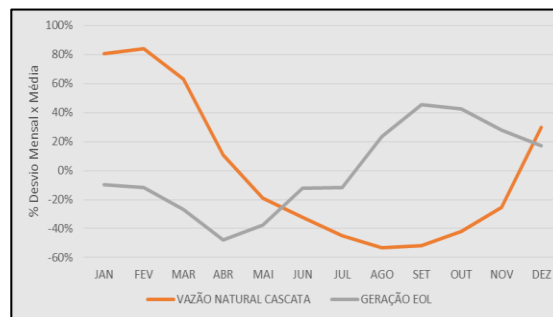


Figura 13: Comparativo entre vazão natural da cascata e geração eólica

Fonte: Próprio autor

5. CONCLUSÃO

É notável que uma inserção exacerbada de gerações renováveis sem análise de impactos na matriz eletroenergética pode levar o Brasil aos mesmos problemas que grandes potências mundiais já estão enfrentando. Sendo assim é necessário rever questões de âmbito regulatório para garantir a atratividade de geradores de energia de todas as fontes de geração, a fim de se evitar favorecimentos a certas fontes de geração. Observa-se a inexistência de regulamentações tanto em questões operativas como comerciais, as quais são necessárias para a complexidade que a hibridicidade exige, não somente no SEB, como também em outros países.

Como visto no caso da China, investimentos massivos de energias renováveis intermitentes na matriz energética sem energia de base resultam em menor confiabilidade e energia firme ao sistema, porém quando operados em regimes híbridos, como observado nos estudos de caso realizados com a cascata do Rio Pardo, esta geração poderia ser considerada como geração de base devido à grande confiabilidade da geração híbrida, aumentando assim a garantia de energia firme ao sistema com os mesmos investimentos realizados para gerações isoladas. É claro que se trata dos mesmos ativos de geração, mas muda-se a forma contábil de gerir os despachos, bem como a perspectiva de remuneração dos agentes de geração.

Em outros estudos realizados através do mesmo modelo da geração de forma cooperativa e híbrida com as fontes renováveis, tem-se a possibilidade de se obter ganhos de segurança energética. Esta análise indica que níveis de reservatório podem ser mantidos em média com maior armazenamento de energia potencial em períodos críticos de geração, principalmente para a combinação com a geração por biomassa, mas também por qualquer outra fonte que possua curva de geração complementar à hídrica.

Um último fator a ser considerado, é a avaliação do quanto a inserção de fontes intermitentes em sistemas eletroenergéticos deve ser combinada de forma que a geração de base consiga mitigar riscos operacionais como um todo e favorecer todos os agentes de geração de forma igualitária, ou seja, qual seria o “blend” ideal na geração de base.

REFERÊNCIAS

[Arial 10] CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA – Balanço Energético 2022.

EPE, EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS. Balanço Energético Nacional, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/_balanco-energetico-nacional-2022f. Acesso em 28/06/2022.

EPE, EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS. Balanço Energético Nacional, 2010. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/_balanco-energetico-nacional-2010f. Acesso em 28/06/2022.

GURTLER, K; et al. The dismantling of renewable energy policies: The cases of Spain and the Czech Republic. Energy Policy. Volume 133, October 2019.

HALLACK, M. The role of regulatory learning in energy transition: the case of solar PV in Brazil. Milan, Italy: Center for Research on Energy and Environmental Economic and Policy (IEFE), Bocconi University, April, 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/CQ4hmt>>.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key World Energy Statistics 2016. International Energy Agency. <http://www.iea.org>.

IEMA Instituto de Energia e Meio Ambiente - Prioridades para a integração das fontes renováveis variáveis no sistema elétrico. São Paulo, 2016.

IRENA, INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Installed renewable electricity capacity, 2021. Disponível em: https://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT/IRENASTAT__Power%20Capacity%20and%20Generation/RECAP_2022_cycle1.px/. Acesso em 28/06/2022.

KEPING ZHU et. al. Capacity-Credit Evaluation of Renewable Energy Power in Jiaying City based on Monte-Carlo Simulation. International Conference on Power System Technology (POWERCON), 2021.

LINO, V. F.; Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para avaliação de garantia física híbrida em fontes renováveis. Tese de doutorado, UNICAMP. 2023;

LOSEKANN, L. D.; Desafio do setor elétrico brasileiro: novo papel dos reservatórios. Blog Infopetro, 12 ago. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/caQGdw>>.

MME – MINISTÉRIO DE MINÉRIAS E ENERGIA. BEN 2023 – Balanço Energético Nacional 2023.

MINGYANG SMART ENERGY. Leading innovation: MingYang Smart Energy launches MySE 16.0-242, the world's largest offshore Hybrid Drive wind turbine, 2021. Disponível em: <http://www.myse.com.cn/en/jtxw/info.aspx?itemid=825>.

ONS, Operador Nacional do Sistema ELÉTRICO. Plano da Operação O que é o ONS, 2004. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>. Acesso em 28 de junho de 2022.

SIRIN, S. M. et. al. How do variable renewable energy technologies affect firm-level day-ahead output decisions: Evidence from the Turkish wholesale electricity market. Energy Economics. Volume 112. August, 2022.