

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PAULO MIGUEL DUARTE DE FREITAS

**ESTUDO SOBRE O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL
ENERGÉTICO E DE ARMAZENAMENTO DE UHR: UMA ANÁLISE DA
CONTRIBUIÇÃO PARA O SIN**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PAULO MIGUEL DUARTE DE FREITAS

**ESTUDO SOBRE O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL
ENERGÉTICO E DE ARMAZENAMENTO DE UHR: UMA ANÁLISE DA
CONTRIBUIÇÃO PARA O SIN**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Freitas, Paulo Miguel Duarte de
Estudo Sobre o Aproveitamento do Potencial Energético
e de Armazenamento de UHR: uma análise da contribuição para
o SIN / Paulo Miguel Duarte de Freitas; orientação
de Everthon Taghori Sica. - Florianópolis, SC,
2023.

60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico
de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Inércia. 2. Sistema Interligado Nacional. 3.
Usina Hidrelétrica Reversível. 4. Armazenamento de Energia.
I. Sica, Everthon Taghori. II. Instituto Federal de
Santa Catarina. III. Estudo Sobre o Aproveitamento
do Potencial Energético e de Armazenamento de UHR.

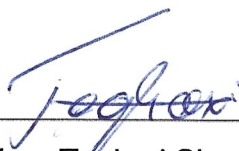
**ESTUDO SOBRE O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL
ENERGÉTICO E DE ARMAZENAMENTO DE UHR: UMA ANÁLISE DA
CONTRIBUIÇÃO ~~INERCIAL~~ PARA O SIN**

PAULO MIGUEL DUARTE DE FREITAS

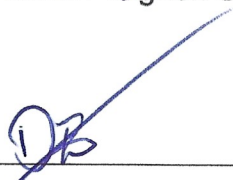
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 27 de junho, 2023.

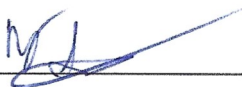
Banca Examinadora:



Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng



Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng



Prof. Marco Aurélio Moreira Saran, M. Sc.

Dedico este trabalho aos meus avós, Miguel e Marlene, pela parceria, auxílio e compreensão ao longo de todos esses anos.
Vocês foram imprescindíveis nessa jornada, obrigado.

AGRADECIMENTOS

À minha família, Adelmo, Ana, Fábio, Marlene e Miguel que tanto me ajudaram ao longo dos anos e são parte desse momento tanto quanto eu.

Ao meu professor e orientador Sica que me auxiliou durante o desenvolvimento do trabalho sempre sendo muito atencioso e prestativo. Agradeço também a ele a oportunidade de apresentar este trabalho no XIX ERIAC em Foz do Iguaçu, foi uma experiência única na minha vida.

A todos os amigos que fiz ao longo do curso pois sem eles tudo teria sido mais difícil, em especial à maior amizade que eu poderia imaginar, meu amor Ana Luisa.

Ao IFSC, seus professores e servidores pelo comprometimento ao ensino prestado nessa jornada.

À Camerge e aos colegas de trabalho por toda ajuda e ensinamentos passados.

RESUMO

As usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) são uma tecnologia amplamente adotada em outros países por sua maturidade do ponto de vista técnico e viabilidade econômica. Por existirem tão poucas na matriz elétrica brasileira, há bastante espaço para a sua expansão, aprimorando em diversos aspectos o Sistema Interligado Nacional (SIN). Dentre eles, o principal aspecto seria o aumento da capacidade de armazenamento, mas também ocorreria a sua atuação no balanço entre carga e geração quando há forte participação das fontes intermitentes e na transferência de energia do período úmido para o período seco, maximizando a produção de eletricidade. Este trabalho apresenta uma análise do potencial energético das UHRs na matriz elétrica brasileira e seu impacto na capacidade de armazenamento e confiabilidade do SIN frente à transição energética e variação dos regimes hidrológicos nas bacias. Ao explorar os princípios de funcionamento e utilização das UHRs existentes, é possível abordar as contribuições das UHRs para a regulação de frequência do SIN e na otimização do uso do capital natural hídrico com o aumento da participação das fontes renováveis.

Palavras-chave: Inércia. Sistema Interligado Nacional. Usina Hidrelétrica Reversível. Armazenamento de Energia.

ABSTRACT

Pumped-hydro storage power plants (PHS) are a technology widely adopted in other countries due to their maturity from a technical point of view and economic viability. Because there are so few in the Brazilian electricity matrix, there is plenty of room for its expansion, improving the National Interconnected System (SIN) in several aspects. Among them, the main aspect would be the increase in storage capacity, but also their role in the balance between load and generation when there is a strong participation of intermittent sources and in the transfer of energy from the wet period to the dry period, maximizing the electricity generation. This work presents an analysis of the energy potential of PHS in the Brazilian electrical matrix and its impact on the storage capacity and reliability of the SIN in the face of energy transition and variation of hydrological regimes in the basins. By exploring the principles of operation and use of existing PHS, it is possible to address the contributions of PHS to the regulation of SIN frequency and the optimization of the use of natural water capital with the increased participation of renewable sources.

Keywords: Inertia. National Interconnected System. Pumped-Hydro Storage. Energy Storage.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Definição do Problema	12
1.2	Justificativa	13
1.3	Objetivo Geral.....	14
1.4	Objetivos Específicos	15
1.5	Metodologia de trabalho.....	15
1.6	Estrutura do trabalho.....	16
	REFERÊNCIAS.....	17
	APÊNDICES	19
	APÊNDICE A – Artigo completo.....	20
	APÊNDICE B – Comprovante de apresentação.....	29
	APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso.....	33
	ANEXOS.....	42
	ANEXO A – Folder de chamada do congresso	43

1 INTRODUÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem o objetivo de consolidar os conhecimentos adquiridos durante o curso e desenvolver as competências e habilidades que constituem o perfil do egresso, sendo parte obrigatória da matriz curricular do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia (IFSC), Câmpus Florianópolis.

As formas de TCC permitidas, conforme o Projeto Pedagógico do Curso e o Regulamento de TCC do Curso de Engenharia Elétrica do IFSC – Câmpus Florianópolis (IFSC, 2018, 2019) são as seguintes:

1. Apresentação de monografia;
2. Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica; ou
3. Publicação de artigo em periódico nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Nesse sentido, este trabalho se enquadra na forma nº 2 - Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Outrossim, ressalta-se o cumprimento dos requisitos obrigatórios descritos nos Regulamentos de TCC do IFSC Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, em especial, a saber:

- O acadêmico cursou e foi aprovado na unidade curricular de TCC-I no segundo semestre de 2022;
- O acadêmico em conjunto com seu orientador submeteu o artigo intitulado “Estudo sobre o Aproveitamento do Potencial Energético e de Armazenamento de UHR: uma análise da contribuição inercial para o SIN” (Apêndice A) para o Décimo Nono Encontro Regional Ibero-Americano do Cigre (XIX ERIAC);
- O aceite do artigo pelo congresso ocorreu no dia 21 de março de 2023, enquanto o acadêmico já havia finalizado TCC-I;

- O acadêmico apresentou o artigo no congresso no dia 24 de maio de 2023 (Apêndice B);
- O congresso foi considerado pertinente e relevante à área de Engenharia Elétrica com a anuência do coordenador do curso e do docente orientador.

Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso atende a todos os requisitos exigidos nos regulamentos e diretrizes do IFSC – Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica para que possa ser realizada a defesa pública do trabalho.

Durante o evento XIX ERIAC, foram apresentados outros artigos relacionados ao tema de armazenamento de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN) que se mostraram complementares e pertinentes com este trabalho.

Em Tarrago *et al.* (2023), é feita uma análise de mitigação dos efeitos de desligamentos das linhas de transmissão que interligam as subestações de Goianinha, Santa Rita II, Norfil e Mussurú II ao utilizar baterias se mostrando possível evitar a sobrecarga da linha de transmissão de 230 kV Goianinha / Norfil em caso de contingência.

De maneira semelhante, Noblat *et al.* (2023) avaliaram o uso de baterias para evitar o *curtailment* de geração com a inserção no Sistema Interligado Nacional (SIN) de 3 usinas fotovoltaicas (UFV) com 2 GW de potência instalada ao todo na região norte do estado de Minas Gerais. Os autores utilizam o *software* Análise de Redes Elétricas (Anarede) do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) para realizar a análise de fluxo de potência com a implementação do sistema de armazenamento. Concluem que a utilização do armazenamento permitiu a flexibilização e despacho máximo da geração das UFVs sem sobrecarregar a subestação da região. Outra vantagem citada é que o armazenamento possibilita o despacho preferencial de energia em horários em que ela é mais cara, armazenando-a em horários em que é mais barata, assim obtendo-se um retorno financeiro positivo.

Em Lisboa *et al.* (2023) é apresentada uma modelagem das tecnologias de armazenamento como as usinas hidrelétricas reversíveis (UHR), as flutuações de carga do SIN e a oferta de geração eólica e solar no planejamento de longo prazo de sistemas energéticos. Foi considerado na modelagem a capacidade de armazenamento de energia e as potências de carregamento e descarregamento de

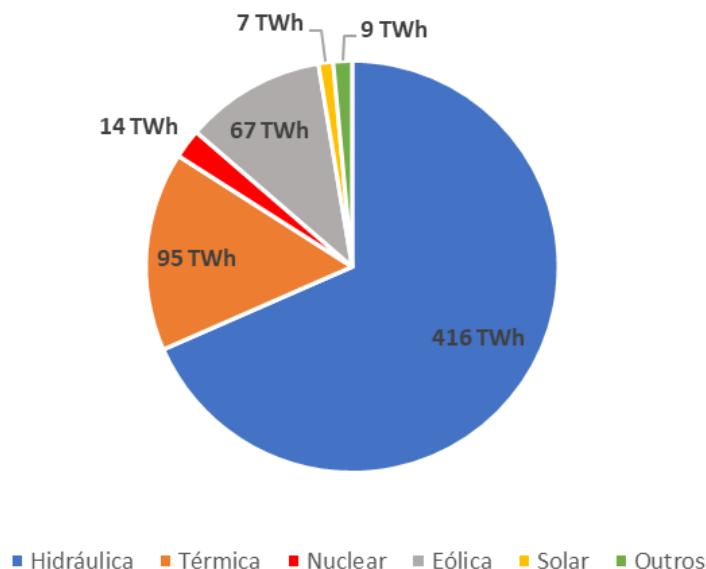
energia. Na formulação matemática do problema foi aplicado o modelo MATRIZ do CEPEL no sistema brasileiro para um horizonte até 2036. Em uma das simulações realizadas ofereceu-se para o modelo a utilização de UHRs no subsistema Sudeste/Centro-Oeste. Uma das conclusões obtidas no estudo em questão é de que existe vantagem econômica para investimentos em UHR no subsistema analisado em comparação ao uso de usinas térmicas a gás no fornecimento de flexibilidade intradiária ao SIN no horizonte analisado. Também, concluíram que esse cenário quando comparado ao cenário de expansão de referência obtém um aumento da capacidade instalada total no SIN de 12,63 GW, quase todo (12,575 GW) proveniente do aumento da oferta de flexibilidade fornecida pelas UHRs e por termelétricas a gás.

De maneira investigativa, Martins *et al.* (2023) realizaram uma pesquisa de opinião entre especialistas brasileiros abordando aspectos tecnológicos, econômicos e eletrotécnicos relacionados à operação e planejamento para a inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE) na matriz elétrica brasileira. É citado que o maior obstáculo para os SAE no Brasil é o modelo regulatório, sendo reportada a sua falta de neutralidade tecnológica e que a sua estrutura de contratação de uso do sistema elétrico é restritiva. Outro entrave citado na pesquisa investigativa é que inexistente a definição do “Agente Armazenador”, o que dificulta atender de forma específica os SAE, assim, não há regulamentação que determine proibições quanto à instalação de SAEs, e, também, não há segurança jurídica para haver a realização de investimentos.

O tema de armazenamento de energia está em discussão no setor elétrico brasileiro se mostrando assunto recorrente no XIX ERIAC. Há a necessidade de avaliar o uso de sistemas de armazenamento como as UHRs na transição energética no cenário brasileiro, avaliando o seu potencial de complementação das fontes de geração intermitentes e de aumento da segurança energética do sistema.

Nos últimos anos, o Sistema Interligado Nacional (SIN) sofreu alterações com relação a participação das diferentes fontes de energia na composição de sua matriz energética, deixando de ser um sistema hidrotérmico, para ser hidro-termo-eólico. A Figura 1 apresenta a participação de cada tipo de fonte energética na geração de eletricidade, no ano de 2021, no SIN. Do total de 608 TWh gerados, 68,4% foram provenientes de fonte hidráulica, 15,6% de térmica, 11,0% de eólica, 2,3% de nuclear, 1,2% de solar e 1,5% de outras fontes (EPE, 2022, p. 326).

Figura 1 – Geração de Eletricidade em 2021 por Tipo de Usina



Fonte: Adaptado de EPE (2022, p. 326).

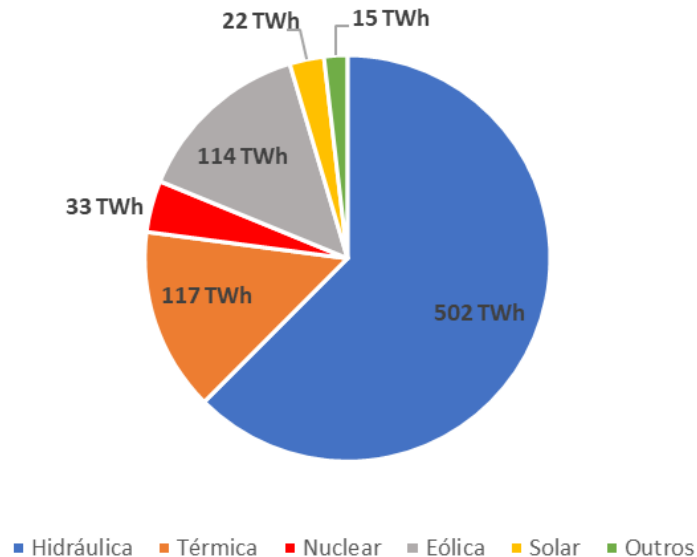
A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 (PDE), estima um aumento considerável da participação das fontes eólica e solar na geração de energia elétrica do país. A Figura 2 apresenta a prospecção de cada tipo de fonte energética na geração centralizada de eletricidade para o ano de 2031, no Brasil. É projetada uma geração de 804 TWh (EPE, 2022, p. 326), dos quais 62,5% seriam provenientes de fonte hidráulica, 14,2% de plantas eólicas e 2,7% de plantas fotovoltaicas, representando um aumento da geração de energia proveniente de fontes intermitentes e, por consequência, uma diminuição relativa da participação das hidrelétricas.

Esse aumento da geração de energia através das plantas eólicas e solar fotovoltaicas traz consigo um novo desafio ao Operador Nacional do Sistema (ONS), pois, a geração através desses dois tipos de usina utiliza inversores de potência em seu processo até a conexão com a rede básica. O uso desses inversores ocasiona o desacoplamento eletromecânico entre geração e rede elétrica, que, em caso de perturbações ou falhas acarreta a variação de frequência da rede, ou seja, há uma perda de inércia no SIN.

As usinas hidrelétricas (UHE) são eficientes no controle de frequência da rede através do uso de seus sistemas de controle, que podem atuar e alterar a geração de energia para corrigir variações de frequência além dos limites operativos. No entanto, conforme citado anteriormente, a perspectiva é de uma diminuição da

participação relativa das UHE na matriz elétrica do SIN, com um aumento das fontes eólica e solar.

Figura 2 – Estimativa de Geração de Eletricidade em 2031 por Tipo de Usina



Fonte: Adaptado de EPE (2022, p. 326).

1.1 Definição do Problema

Nesse sentido, as usinas hidrelétricas reversíveis têm princípios de funcionamento semelhantes às UHE no controle de frequência e podem contribuir inercialmente com o sistema, porém, o Brasil possui um aproveitamento baixíssimo deste tipo de tecnologia, o que favorece a sua expansão. Assim, as UHR poderiam desempenhar um papel importante na operação do SIN, e simultaneamente, atuar no aumento da segurança energética ao aumentar a capacidade de armazenamento.

A inércia, em grandes sistemas de potência, é a energia armazenada girante nos sistemas eletromecânicos de produção de energia elétrica (NREL, 2020, p. V). Quando, por exemplo, uma usina ou uma linha de transmissão apresenta instabilidade na frequência, a inércia pode atenuar uma variação abrupta de frequência, possibilitando que sistemas de controle de velocidade atuem. O aumento crescente de injeção de potência proveniente de plantas eolioelétricas e solar fotovoltaicas dotadas de arquiteturas similares a *full converter*, reduzem relativamente a inércia do SIN. Isso ocorre em virtude, não apenas da inerente variabilidade na geração eolioelétrica ou solar fotovoltaica, mas sobretudo da desagregação

eletromecânica entre o recurso energético primário demandado e o recurso energético secundário ofertado, a eletricidade, que pode acarretar instabilidade da frequência e reduzir a segurança do suprimento do sistema.

Outra questão pertinente é a diminuição da energia armazenada nos reservatórios. Na década de 1970, quando cheios, os reservatórios tinham capacidade para suprir a demanda por três a quatro anos, mas com o aumento de carga do sistema, em 2014, esta capacidade foi restringida para apenas 5 meses, (HUNT *et al.*, 2014, p. 514) reduzindo a segurança energética do sistema. Assim, uma possibilidade para melhorar a confiabilidade do sistema e aumentar a inércia seria expandir a capacidade de armazenamento de energia em plantas de produção de energia elétrica com forte característica inercial. E, para isso, muitos tipos de tecnologias poderiam ser utilizados, como baterias, armazenamento térmico de energia, armazenamento de energia por ar comprimido, hidrogênio verde, entre outros. Porém, uma solução amplamente adotada no mundo, e que pode ser considerada uma tecnologia madura e de maior disponibilidade é o armazenamento hidráulico.

Através da construção de mais usinas hidrelétricas com reservatórios de acumulação poder-se-ia aumentar a capacidade de armazenamento satisfazendo simultaneamente, a perda de inércia do sistema e aumentar a capacidade de geração hidrelétrica no período seco, o qual é mais desfavorável para o SIN. No entanto, conforme é destacado pela EPE (2018, p. 9), a maioria do potencial hidrelétrico remanescente para ser explorado no Brasil, está localizado na região Amazônica e são, por conta da topografia, UHE a fio d'água, apresentando baixa geração de energia no período seco.

Então, este trabalho analisa a contribuição das UHR no aumento da segurança e da confiabilidade do SIN, no armazenamento de energia para complementação das fontes renováveis intermitentes e na transferência de energia do período úmido para o período seco.

1.2 Justificativa

O momento de maior crescimento das UHR ocorreu na década de 1970, quando houve um aumento da participação da geração elétrica de fonte nuclear nos países mais desenvolvidos economicamente. Isso, somado com a já existente

geração térmica à carvão, tornou os sistemas elétricos de potência desses países menos flexíveis e favoreceu a construção de projetos de UHR que aumentassem a resiliência do sistema (EPE, 2021, p. 6-7).

Atualmente, há uma expansão da geração por fontes renováveis, fazendo-se necessária a existência de geradores que tragam flexibilidade para o balanço entre carga e geração, assim como, aumenta-se a importância de armazenamento de energia que supra a variabilidade dessas fontes. Nesse contexto, as UHR se tornam novamente atrativas, com a EPE (2021, p. 7) reconhecendo-as como um “meio importante para garantir a segurança e qualidade do fornecimento de energia elétrica na transição energética”.

De acordo com a *International Hydropower Association* (IHA), em 2021, a capacidade instalada no mundo de UHE era de 1360 GW, dos quais 165 GW eram de UHR, maior parte delas localizadas na China, Estados Unidos da América, Europa e Japão, sendo uma tecnologia amplamente utilizada (IHA, 2022, p.47).

No entanto, o aproveitamento de UHR no Brasil é extremamente baixo. Existem apenas quatro UHR no país, a UHR Edgard de Souza, a UHR de Traição, a UHR de Pedreira e a UHR de Vigário (EPE, 2021, p. 8-9), das quais nenhuma possui um ciclo operativo convencional de turbinamento e bombeamento como é observado em UHR em outros países. Porém, Estudos de Inventário de UHR estão sendo conduzidos pela EPE, o primeiro sendo feito no estado do Rio de Janeiro e posteriormente outros serão realizados em São Paulo e nos demais estados do país (EPE, 2019, p. 8).

Com tão poucas UHR no Brasil, a inviabilidade de novas UHE com reservatórios de acumulação e a necessidade de uma transição energética para uma matriz mais limpa, há uma possibilidade para a expansão de UHR na matriz elétrica brasileira, sendo relevante a análise do tema proposto.

1.3 Objetivo Geral

Analisar o potencial de contribuição energética de UHR para atenuar a perda de inércia do SIN frente ao aumento da participação das fontes renováveis intermitentes como eólioelétrica e solar fotovoltaica.

1.4 Objetivos Específicos

Assim, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- a) avaliar o potencial de expansão da matriz elétrica e energética do SIN, principalmente por fonte hidráulica;
- b) analisar o que são as UHR e possíveis aplicações para o cenário brasileiro;
- c) apresentar as características das UHR existentes no Brasil e no mundo;
- d) analisar a questão da perda de inércia no SIN com uso de fontes intermitentes e a contribuição que pode ser desempenhada pelas UHR para a sua mitigação;
- e) analisar a contribuição das UHR à segurança energética e à confiabilidade do SIN, avaliando como a utilização desse tipo de usina pode amenizar o impacto da sazonalidade da variação dos regimes hidrológicos ao longo do ano; e
- f) avaliar a otimização do uso do capital natural hídrico e maximização da produção de eletricidade com a utilização de UHR.

1.5 Metodologia de trabalho

A fundamentação teórica deste trabalho será feita através da pesquisa exploratória. A pesquisa exploratória, de acordo com Gil (2008, p. 27), “[...] têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer, e modificar conceitos e idéias [...]”. Esse tipo de pesquisa possibilita uma visão geral do tema, sendo normalmente feita através do levantamento bibliográfico e documental (GIL, 2008, p. 27). Dessa maneira, será consultado em materiais pertinentes ao tema as informações necessárias para o seu desenvolvimento, utilizando-se de artigos científicos e de documentação técnica, desenvolvida por órgãos brasileiros ou internacionais.

Outrossim, também, será aplicado o método dedutivo. Gil (2008, p. 9) afirma que o método dedutivo “parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica”. Assim, através do método dedutivo, deverão

ser encontrados paralelos ou semelhanças entre as aplicabilidades e funções das UHR em outros mercados de energia elétrica ao redor do mundo para o cenário brasileiro e suas aplicações no SIN.

Então, ao longo do trabalho serão estudados e analisados casos de possíveis usos de UHR no Brasil discutidos na literatura, assim como, a utilização das UHR em outros países nos seus respectivos mercados e sistemas elétricos, possibilitando deduzir o seu potencial de aplicação no Brasil.

1.6 Estrutura do trabalho

Na Introdução apresenta-se a fundamentação legal e regulatória de enquadramento e os requisitos desta forma de TCC, assim como a definição do problema, a justificativa, os objetivos geral e específicos e a metodologia de trabalho.

No Apêndice A é apresentado o artigo completo, sendo que os comprovantes da apresentação do artigo no congresso, tais como fotos e certificado de participação e apresentação, estão no Apêndice B. No Apêndice C têm-se os slides de apresentação do artigo no congresso. E por fim, no Anexo A tem-se o folder de chamada para apresentação dos artigos pelo congresso.

REFERÊNCIAS

EPE. **Considerações sobre a Expansão Hidrelétrica nos Estudos de Planejamento Energético de Longo Prazo**. Brasília: EPE, 2018.

EPE. **Estudos de Inventário de Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR): Metodologia e Resultados Preliminares para o Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: EPE, 2019.

EPE. **Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR): Desafios para inserção em mercados de energia elétrica**. Brasília: EPE, 2021.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Brasília: EPE, 2022.

HUNT, Julian. D. *et al.* Enhanced-Pumped-Storage: Combining pumped-storage in a yearly storage cycle with dams in cascade in Brazil. **Energy**, [S.l.], v. 78, p. 513-523, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214011888>. Acesso em: 18 out. 2022.

IFSC. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. Florianópolis, 2018. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2018/11/PPC_Eng_Elétrica_DAE_CF_IFSC_2018_v2.6.1.pdf. Acesso em: 14 mai. 2023.

IFSC. **Regulamento de TCC do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. Florianópolis, 2019. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2019/05/Regulamento_TCC_EEL_CF_IFSC_2019.pdf. Acesso em: 14 mai. 2023.

IHA. **2022 Hydropower Status Report: Sector trends and insights**. Londres, Reino Unido: IHA, 2022.

LISBOA, Maria Luiza *et al.* Proposta de Metodologia de Otimização de Parque Híbrido Eólico-solar com Armazenamento. *In*: Encontro Regional Ibero-Americano do Cigre, 19., 2023, Foz do Iguaçu. **XIX ERIAC**. Rio de Janeiro: Cigre, 2023.

MARTINS, Camila *et al.* Análise dos Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica de Grande Porte no Mercado Brasileiro. *In*: Encontro Regional Ibero-Americano do Cigre, 19., 2023, Foz do Iguaçu. **XIX ERIAC**. Rio de Janeiro: Cigre, 2023.

NOBLAT, Wagner *et al.* Aplicação de Sistemas de Armazenamento em Usinas Fotovoltaicas Híbridas Conectadas ao Sistema Interligado Nacional para Mitigar Restrições de Transmissão. *In*: Encontro Regional Ibero-Americano do Cigre, 19., 2023, Foz do Iguaçu. **XIX ERIAC**. Rio de Janeiro: Cigre, 2023.

NREL. **Inertia and the Power Grid: A Guide Without the Spin**. Golden, EUA: NREL, 2020.

TARRAGO, Vinicius *et al.* Impacto de Sistemas de Armazenamento como Reserva de Capacidade para Controle de Carregamento de Linhas de Transmissão. *In*: Encontro Regional Ibero-Americano do Cigre, 19., 2023, Foz do Iguaçu. **XIX ERIAC**. Rio de Janeiro: Cigre, 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Artigo completo

C1 – Desenvolvimento de Sistemas Elétricos e Economia

ESTUDO SOBRE O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E DE ARMAZENAMENTO DE UHR: UMA ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO INERCIAL PARA O SIN

P.M. DUARTE*
IFSC
Brasil
 pmdf08@gmail.com

E.T. SICA
IFSC
Brasil
 sica.eng@gmail.com

Resumo – As usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) são uma tecnologia amplamente adotada em outros países por sua maturidade do ponto de vista técnico e viabilidade econômica. Por existirem tão poucas na matriz elétrica brasileira, há bastante espaço para a sua expansão, aprimorando em diversos aspectos o Sistema Interligado Nacional (SIN). Dentre eles, o principal aspecto seria o aumento da capacidade de armazenamento, mas também ocorreria a sua atuação no balanço entre carga e geração quando há forte participação das fontes intermitentes e na transferência de energia do período úmido para o período seco, maximizando a produção de eletricidade. Este artigo apresenta uma análise do potencial elétrico e energético das UHRs na matriz brasileira e seu impacto na capacidade de armazenamento e confiabilidade do SIN frente à transição energética e variação dos regimes hidrológicos nas bacias. Ao explorar os princípios de funcionamento e utilização das UHRs existentes, é possível abordar as contribuições das UHRs para a regulação de frequência do SIN e na otimização do uso do capital natural hídrico com o aumento da participação das fontes renováveis.

Palavras-chave: Inércia – Sistema Interligado Nacional – Usina Hidrelétrica Reversível – Armazenamento de Energia

1 INTRODUÇÃO

Diante da crescente participação das plantas eolielétricas e solar fotovoltaicas no Sistema Interligado Nacional (SIN), o sistema que era hidrotérmico, passou a ser hidro-termo-eólico com predominância da fonte hidráulica. Com esse aumento, o operador do sistema enfrenta novos desafios ao gerenciá-lo, pois, quando há uma quantidade abaixo do desejável de recursos eólico ou solar, a geração de eletricidade proveniente destas fontes é diminuída ou cessada, podendo acarretar perturbações de frequência ou a perda de inércia no SIN. Nesse sentido, a operação de curto prazo apresenta uma nova dificuldade em manter o balanço entre geração e carga e o controle da relação tensão-frequência, podendo haver uma iminente perturbação da inércia no sistema.

A inércia, em grandes sistemas de potência, é a energia armazenada girante nos sistemas eletromecânicos de produção de energia elétrica. Quando, por exemplo, uma usina ou uma linha de transmissão apresenta instabilidade na frequência, a inércia pode atenuar a sua variação abrupta, possibilitando que sistemas de controle de velocidade atuem.

O aumento crescente de injeção de potência proveniente de plantas eolielétricas e solar fotovoltaicas dotadas de arquiteturas similares a *full converter*, reduzem relativamente a inércia do SIN. Isso ocorre em virtude da desagregação eletromecânica entre o recurso energético primário demandado e o recurso energético secundário ofertado, a eletricidade, o que pode acarretar instabilidade da frequência e reduzir a segurança do suprimento do sistema.

Uma possibilidade para melhorar a confiabilidade do sistema e aumentar a inércia seria expandir a capacidade de armazenamento de energia em plantas de produção de energia elétrica com característica inercial e, para isto, alguns tipos de tecnologias poderiam ser utilizados, como baterias, armazenamento térmico de energia, armazenamento de energia por ar comprimido, hidrogênio verde, entre outros. Porém,

*Instituto Federal de Santa Catarina - Av. Mauro Ramos, 950 - Centro, Florianópolis/SC; Email: pmdf08@gmail.com.

uma solução amplamente adotada em outros países, e que pode ser considerada uma tecnologia madura e de maior disponibilidade é o armazenamento hidráulico.

As usinas hidrelétricas (UHE) são eficientes no controle de frequência da rede através do uso de seus sistemas de controle, que podem atuar rapidamente e alterar a geração de energia para corrigir variações de frequência. Através da construção de mais UHEs com reservatórios de acumulação poder-se-ia aumentar a capacidade de armazenamento satisfazendo simultaneamente, a perda de inércia do sistema e aumentar a capacidade de geração hidrelétrica no período seco, o qual é mais desfavorável para o SIN. No entanto, a maioria do potencial hidrelétrico remanescente para ser explorado no Brasil, está localizado na região Amazônica e são, por conta da topografia, UHEs a fio d'água, apresentando baixa geração de energia no período seco. Nesse sentido, as usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) têm princípios de funcionamento semelhantes às UHEs no controle de frequência, porém, o Brasil possui um aproveitamento baixíssimo deste tipo de tecnologia, o que favorece a sua expansão. Assim, as UHRs poderiam desempenhar um papel importante na operação do SIN, e simultaneamente, atuar no aumento da segurança energética do país ao aumentar a capacidade de armazenamento e na transferência de energia entre diferentes ciclos operativos.

2 SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

O SIN é responsável por interligar a geração e a transmissão de energia elétrica no Brasil, sendo gerenciado e supervisionado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A maior parte da sua capacidade instalada e geração de energia elétrica é proveniente de usinas hidrelétricas distribuídas em 16 bacias hidrográficas. No entanto, nos últimos anos houve um aumento significativo da participação das usinas eólicas e fotovoltaicas na sua matriz.

A divisão do SIN em quatro subsistemas com distintas características e seu grande porte permitem a transferência de energia entre as regiões do país ao explorar as variações dos seus regimes hidrológicos e eólicos, aumentando a segurança do suprimento energético do sistema. O subsistema Norte é composto majoritariamente por hidrelétricas, em grande parte à fio d'água, as quais possuem baixa capacidade de regularização. No subsistema Nordeste, a maior parte de sua geração de energia é proveniente de usinas eolioelétricas, com o pico de geração ocorrendo entre os meses de junho e dezembro. No subsistema Sudeste/Centro-Oeste, a maioria de sua geração de energia é proveniente de usinas hidrelétricas, com o pico ocorrendo entre os meses de dezembro e março, com as usinas termelétricas atuando na complementação da geração hidrelétrica nos meses de menor precipitação. No subsistema Sul, a maior parte de sua geração de energia é proveniente de usinas hidrelétricas havendo também uma presença significativa de usinas eolioelétricas.

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2031 [1], em 2021, o Brasil possuiu 200 GW de potência instalada para geração de energia elétrica, dos quais 179 GW eram de fontes centralizadas e 21 GW de autoprodutores de energia elétrica (APE) e geração distribuída (GD). Para 2031, é estimada uma potência instalada para geração de energia elétrica no país de 275 GW, dos quais 220 GW seriam de fontes centralizadas e 55 GW de APE e GD. Assim, é estimado um aumento de 75 GW na capacidade instalada total, um aumento de 37% em 10 anos. A Tabela I apresenta a capacidade instalada de geração centralizada por tipo de usina em 2021, em 2031 e o aumento percentual de 2021 a 2031.

TABELA I. CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO CENTRALIZADA POR TIPO DE USINA [1]

Tipo de Usina	Capacidade Instalada em 2021	Capacidade Instalada em 2031	$\Delta\%$
Hidráulica	116 GW	124 GW	7%
Térmica	37 GW	51 GW	36%
Eólica	20 GW	30 GW	55%
Solar	4 GW	10 GW	135%
Nuclear	2 GW	4 GW	121%
Total	179 GW	220 GW	23%

Através da Tabela I é possível notar que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) projeta para o período de 2021 a 2031 um aumento pequeno na geração das UHEs. Ressalta-se que os reservatórios já existentes têm sido expostos a restrições hidrológicas, como a ocorrida na escassez hídrica de 2021, limitando a sua capacidade de armazenamento e consequentemente a sua geração de energia elétrica para o SIN [1].

Ademais, também é esperado um aumento considerável no parque gerador eólico e solar fotovoltaico nos próximos anos. Essas novas fontes renováveis têm se comprovado competitivas financeiramente e a sua expansão deve ocorrer de maneira acelerada. Esse aumento traz novos desafios ao SIN, com a EPE citando que será necessária uma expansão de potência complementar, devido às limitações do atendimento aos requisitos de potência e a variabilidade de produção dessas fontes intermitentes [1].

Nesse contexto, as UHR podem representar uma opção viável considerando as novas características do SIN. Com as suas principais contribuições ao sistema sendo a flexibilidade de geração, controle de frequência, controle de reativo, adiamento do investimento em ativos de transmissão, redução dos ciclos das termelétricas, capacidade *black-start* e o provimento de inércia [1,2].

Ao longo do tempo, os principais motivos que fizeram os investimentos em UHRs atrativos foram: a necessidade de complementação de fontes inflexíveis e que possuem baixa capacidade de geração em rampa, como usinas nucleares, termelétricas a carvão e hidrelétricas a fio d'água; a necessidade de complementação de fontes intermitentes, como as usinas eólicas e fotovoltaicas; e, adicionar ao sistema a capacidade de regularização sazonal da disponibilidade hídrica [3].

No cenário brasileiro, as motivações mais pertinentes seriam a necessidade da complementação das fontes intermitentes, e o aumento da capacidade de regularização sazonal, frente à impossibilidade de se expandi-la com a construção de novas UHEs com capacidade de armazenamento.

3 USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS

As usinas hidrelétricas reversíveis possuem a capacidade de não somente turbinar água, como também de bombeá-la. Dessa maneira, as UHRs possuem dois reservatórios em diferentes elevações, o reservatório inferior e o reservatório superior. No processo de turbinamento para geração de energia elétrica, o fluxo hidráulico ocorre do reservatório superior para o inferior, enquanto no bombeamento o fluxo hidráulico ocorre no sentido inverso, consumindo energia elétrica. Assim, as UHRs são capazes de armazenar energia.

Existem três tipos principais de arranjo de UHR: *open loop*, *closed loop* e *pump-back* [1,2].

As UHRs *open loop* são as que possuem em pelo menos um de seus dois reservatórios uma significativa vazão afluente de água, ou seja, estão incluídas em um curso natural d'água. Nesse arranjo, normalmente, o reservatório inferior possui uma UHE convencional e deve ser levado em consideração na sua operação as alterações causadas no fluxo do rio. Um dos benefícios desse tipo de UHR é a regulação da vazão do rio, permitindo aumentá-la em momentos de seca, turbinando a água ou diminuí-la em momentos de cheias, bombeando-a [1,2].

As UHRs *closed loop* são as que não possuem uma vazão afluente significativa de água para nenhum de seus reservatórios. Em comparação às UHRs *open loop*, esse arranjo oferece mais flexibilidade na localização dos reservatórios e causa menos impacto ambiental. Normalmente é implementado em pequenas lagoas artificiais, onde a sua principal fonte de água é a precipitação [1,2].

No arranjo *pump-back*, os dois reservatórios estão contidos no mesmo fluxo de rio, com o reservatório inferior imediatamente à jusante do superior, permitindo livre fluxo de água entre ambos. Nesse arranjo, há a possibilidade das moto-turbinas gerarem energia a todo momento, utilizando a vazão afluente ao reservatório superior. Nesse sentido, a conversão de uma UHE contida entre dois reservatórios em série para se tornar uma UHR não depende da construção de um ou dois novos reservatórios, sendo necessário somente a adequação da casa de força, trocando os geradores por motor-geradores e instalando turbinas reversíveis [1].

Ao longo do desenvolvimento do sistema elétrico brasileiro, foram instaladas apenas quatro UHRs no Brasil: a UHR Edgard de Souza (SP) com 16 MW de potência de turbinamento e 14 MW de potência de bombeamento; a UHR de Pedreira (SP) com 100 MW de potência instalada; a UHR de Traição (SP) com 22 MW de potência instalada; e a UHR de Vigário (RJ) com 88 MW de potência instalada [2].

Em 2019, a EPE elaborou um Estudo de Inventário de UHRs para o estado do Rio de Janeiro, onde afirma que as UHRs são uma tecnologia que fornece potência com flexibilidade para atender à variação instantânea de carga. Destaca-se, também no estudo, o provimento de serviços ancilares e como a sua participação no sistema elétrico pode garantir uma expansão da oferta de energia de maneira econômica e sustentável. O Estudo de Inventário realizado para o Rio de Janeiro identificou 15 locais com potencial geográfico, hidrológico e socioambiental para a instalação de UHRs, totalizando 21,11 GW de potência instalada nesses projetos e capacidade de armazenamento de 63,33 GWh [4].

4 SUPORTE DE FREQUÊNCIA E CONTRIBUIÇÃO INERCIAL AO SIN

As principais funções que as UHR possuem no suporte à sistemas de potência (SEP) são resposta de frequência, suporte de tensão, redução de picos, capacidade *black-start* e reserva de emergência. A resposta de frequência é utilizada quando a frequência da rede varia além de um intervalo pré-definido, neste quesito, as UHRs provêm controle primário de frequência utilizando os seus sistemas de controle de velocidade, podendo atuar na injeção de potência para o sistema quando turbinando, ou na absorção de potência do sistema quando bombeando.

Outra função desempenhada por UHRs no suporte à SEPs é o nivelamento de carga, o que é útil na redução do *curtailment-off* causado pelo excesso de oferta. Esse efeito ocorre quando parte da geração de energia é frustrada ao não poder ser utilizada. De um lado, isso pode ocorrer em casos de grande inserção de geração por fontes renováveis intermitentes como fotovoltaica e eólica, sendo necessário esse corte para se manter o balanço entre carga e geração [2]. De outro lado, é que as fontes intermitentes renováveis são em grande parte conectadas ao sistema através de inversores de potência, consequentemente, há um desacoplamento eletromecânico entre as massas girantes da frequência da rede, ou seja, não oferecem uma reserva girante (inércia), desfavorecendo ainda mais a manutenibilidade da frequência.

Os diferentes tipos de tecnologias empregadas nos motor-geradores influenciam diretamente a capacidade e tempo de resposta da usina. Em UHRs com unidades de rotação fixa, a inércia é fornecida diretamente pela energia cinética armazenada nos rotores, não sendo possível controlar a potência absorvida no modo bombeamento. Em unidades de rotação variável, a resposta inercial pode ocorrer eletronicamente por meio de conversores de potência, ou seja, é provida uma inércia sintética, havendo, neste caso, a possibilidade de controlar a potência no modo de bombeamento [2]. Enquanto as unidades de rotação fixa possuem uma faixa de operação típica no modo geração entre 50% e 100% da capacidade, as unidades de rotação variável possuem uma faixa de operação entre 30% e 100%. No modo bombeamento, as unidades de rotação fixa normalmente operam em potência constante, já as unidades de rotação variável permitem certa flexibilidade, operando entre 70% e 100% da capacidade. Assim, é possível notar que a utilização de unidades de rotação variável permite uma flexibilidade de geração e bombeamento superior às unidades de rotação fixa, facilitando o controle de frequência [3].

Com relação ao arranjo das máquinas, existem os grupos quaternários, compostos de 4 máquinas, um grupo turbina-gerador e outro bomba-motor, ambos totalmente independentes. Neste arranjo, cada conjunto normalmente é instalado em espaços diferentes, sendo mais cara, porém, é mais favorável às mudanças de modo operativo e aumenta a disponibilidade, sendo o mais indicado de se implementar na conversão para UHR de UHEs convencionais já existentes [5].

Existem também os grupos ternários, que se trata de um conjunto motor-gerador conectado no mesmo eixo em uma bomba e em uma turbina, tendo como principal vantagem a rapidez na inversão da operação, melhorando a capacidade de reserva operativa. Em [5], são apresentadas as 5 variantes deste tipo de grupo: (i) tanto a bomba quanto a turbina ficam ligadas rigidamente ao eixo motor-gerador sem utilizar acoplamentos; (ii) a turbina é ligada rigidamente ao eixo do motor-gerador e a bomba é ligada por meio de acoplamento mecânico de dentes; (iii) idem a (ii), mas combinado com uma turbina auxiliar para arranque; (iv) idem a (ii), mas combinado com conversores hidrodinâmicos de torque; e (v) a turbina é ligada por meio de acoplamento mecânico de dentes ao eixo do motor-gerador e a bomba é ligada por meio de acoplamento mecânico de dentes e por acoplamento hidrodinâmico [5].

Já, os grupos binários são os mais simples construtivamente, sendo compostos de motor-gerador e turbina-bomba. Em [5] são apresentadas as 4 variantes deste tipo de grupo: (i) a turbina-bomba é acoplada rigidamente ao motor-gerador; (ii) a turbina-bomba é acoplada rigidamente ao motor-gerador e a um motor de arranque; (iii) a turbina-bomba é acoplada rigidamente ao motor-gerador e a uma turbina de arranque; e (iv) a turbina-bomba é acoplada por acoplamento mecânico de dentes e há conversor de torque hidrodinâmico para demarragem [5].

O arranjo de máquinas que resulta no menor tempo de resposta da parada total para a geração ou da parada total para o bombeamento ou da inversão entre os 2 modos operativos, são as de grupo ternário. Especificamente as do tipo (v) que são as mais ágeis no tempo de resposta [5].

Para se obter um maior controle de frequência, pode-se optar por UHRs de grupo quaternário operando em curto-circuito hidráulico. O curto-circuito hidráulico é a operação em simultâneo de uma unidade da usina em modo turbinamento enquanto outra opera em modo bombeamento. Essa capacidade de operação faz com que a usina seja vista pelo operador do sistema como uma carga controlável, dando-a uma flexibilidade de

potência de $\pm 100\%$. O esquema de curto-circuito hidráulico proposto aumenta a flexibilidade para o controle de frequência, contribuindo de maneira significativa para retomar a frequência nominal da rede básica em caso de surtos ou falhas [6]. Um exemplo de usina com essa capacidade é a Kops II [3,6].

A China possui a maior capacidade instalada de UHRs no mundo, com mais de 30 GW. Nesse país, as UHRs desempenham um importante papel na operação dos 4 sistemas de potência regionais (*East China, North China, Northeast China e Central China*). De maneira semelhante com o Brasil, cada subsistema possui diferentes características de geração e consumo. O subsistema *East China*, é um centro de carga que possui uma grande diferença entre a quantidade de carga entre os períodos de ponta e de fora de ponta. Para controlar subfrequências, por exemplo: 50% das UHRs em modo de bombeamento devem ser cortadas quando a frequência do sistema for inferior a 49,40 Hz e 100% das UHRs em modo de bombeamento devem ser cortadas quando a frequência do sistema for inferior a 49,35 Hz, auxiliando no controle de frequência. No subsistema *Northeast China*, as UHRs de Baishan e Pushihe, em caso de falha nas linhas de transmissão de alta tensão em corrente contínua, atuam no corte rápido de geração e transferência para o modo de bombeamento. No subsistema *Central China*, um exemplo de controle de frequência é observado na Fig. 1. No dia 4 de junho de 2018, às 21h07, a frequência deste subsistema diminuiu para 49,95 Hz após uma falha. As UHRs nas estações Baoquan, Lianxu, e Huilong iniciaram a resposta para o controle da frequência, que às 21h29, aumentou para 50,02 Hz. A Fig. 1 apresenta os dados de geração para as estações Baoquan e Lianxu, podendo ser observado o aumento de geração para corrigir a subfrequência, seguido da diminuição da geração com a retomada da frequência nominal do sistema [7].

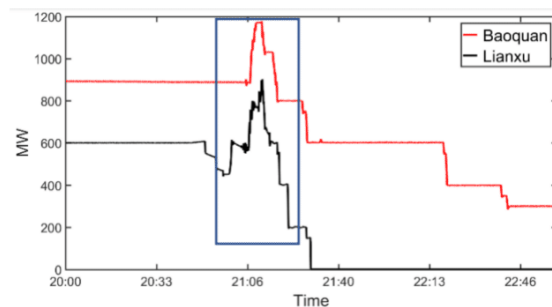


Fig. 1. Exemplo de Resposta à Falha de UHRs [7]

Com a utilização de UHRs no SIN, papéis semelhantes a este poderiam ser desempenhados para aumentar a capacidade de controle de frequência da rede básica em casos de surtos que causem desequilíbrios entre a carga e geração.

5 ARMAZENAMENTO E COMPLEMENTAÇÃO ENERGÉTICA AO SIN

As UHRs podem ser utilizadas na complementação e integração com o sistema energético, melhorando a segurança do suprimento e a regularização hidrológica. Conforme descrito por [7], as UHRs desempenham diferentes papéis na China. No subsistema *Northeast China* há uma geração significativa por fonte eólica que em alguns momentos ultrapassa a carga do subsistema. A utilização da UHR Pushihe, localizada nessa região, auxilia na redução do uso das conexões com os outros 3 subsistemas ao armazenar o excedente de energia gerada das fontes eólicas, evitando o *curtailment-off* ou a sobrecarga das linhas de transmissão. Ao combinar a UHR com a geração eolielétrica, o pico de demanda é alterado da ponta para fora de ponta, havendo uma redução do déficit de carga do subsistema ao aproximar-se as curvas de geração e carga [7].

Uma solução analisada em [8] para o cenário brasileiro capaz de balancear a geração entre o período úmido e o período seco é a *Enhanced-Pumped-Storage* (EPS). EPS é a combinação entre uma UHR com reservatório superior de grande capacidade de armazenamento com várias usinas à jusante. Ao utilizar um reservatório superior com variações significativas entre as cotas mínimas e máximas, há uma relação maior entre armazenamento de energia por área ocupada, assim, tem-se uma área inundada menor, sendo possível diminuir a evaporação de água e o vertimento do excedente que não pode ser armazenado ou turbinado. Esse arranjo permite obter 90% de eficiência geral no processo de armazenamento em alguns casos, possibilitando uma maior penetração de fontes renováveis na matriz elétrica do SIN. Um exemplo apresentado pelos autores [8] de possíveis locais para a instalação de UHRs é na bacia do Paraná, onde é proposta a instalação da UHR de Catalão, utilizando-se como reservatório inferior a UHE Serra do Facão.

Outra proposta de [8], é a construção da UHR de Canastra, onde o reservatório inferior seria o reservatório de Furnas. O reservatório superior da UHR possuiria cota mínima de 1.050 metros e cota máxima de 1.250 metros, 45,83 TWh de EAR_{max} e capacidade de 10,65 GW de aumento médio de geração nas usinas em cascata no período seco. No período úmido, haveria uma redução de 11,2 GW de capacidade de geração de energia no conjunto de usinas em cascata dos rios Grande e Paraná. Assim, a eficiência geral no processo de armazenamento foi estimada em 89,22%, com a vantagem de melhorar o balanço de geração entre o período úmido e o período seco [8].

Em [9], é apresentado outro possível local para instalação de UHR, no rio São Francisco. A UHR de Múquem, conforme proposta pelos autores, possuiria cota mínima de 550 metros e cota máxima de 700 metros. A pequena variabilidade de cota de apenas 12 metros no reservatório de Sobradinho favorece a evaporação de água por conta de sua grande área alagada de 4.214 km², comparados com apenas 52 km² do reservatório proposto de Múquem. Enquanto, o reservatório de Sobradinho armazena 7,167 MW_{med}/km², o reservatório de Múquem armazenaria 267,3 MW_{med}/km², ou seja, 37 vezes mais energia por km². Ao reduzir a evaporação de água, reduzir-se-ia o desperdício do recurso natural, otimizando o uso do capital natural hídrico. O aumento da capacidade de armazenamento da região, permitiria a transferência de energia da estação úmida para a estação seca, mas também, permitiria armazenar o excedente de geração de energia elétrica das usinas eólicas do parque gerador do subsistema Nordeste, facilitando a penetração desta fonte de energia na região. Do ponto de vista ambiental, com um novo reservatório na bacia hidrográfica do rio São Francisco, a cota máxima do reservatório de Sobradinho poderia ser reduzida, dando um novo propósito à parte da área alagada que na estação seca possui utilidade restrita, podendo então servir para agricultura irrigada, por exemplo. Os autores ainda citam que, ao reduzir para a cota mínima o reservatório de Sobradinho e armazenando este volume de água perdido em UHRs ao longo do São Francisco, haveria um aumento de geração de 0,26 GW_{med} e uma perda de 0,18 GW_{med} com bombeamento, ou seja, haveria um ganho geral de 0,08 GW_{med} para o sistema [9].

Para o estado do Rio de Janeiro, a EPE realizou, em 2019, um Estudo de Inventário [4] buscando identificar possíveis locais para a construção de UHRs. Para realização do estudo, foi desenvolvida uma ferramenta em plataforma ArcGIS, a GeoUHR. Os critérios para obtenção dos locais em potencial são: considerar apenas reservatórios novos; áreas com topo suave para o reservatório superior; para cada área superior, a identificação das possibilidades para o reservatório inferior (distância menor que 5 km e desnível maior que 100 metros); a determinação do fator L/H para cada conjunto de reservatório inferior e superior, onde L é a distância e H é o desnível entre eles; e, a exclusão de localidades onde há áreas urbanas ou legalmente protegidas. Para desníveis superiores à 300 metros e L/H inferior à 10, foram obtidas 23 localidades, das quais 15 estavam em locais com condições socioambientais favoráveis, totalizando 21,11 GW de potência instalada nesses projetos e capacidade de armazenamento de 63,33 GWh [4]. Na Fig. 2 são apresentados os 15 locais identificados como propícios para instalação de UHRs no estado do Rio de Janeiro.

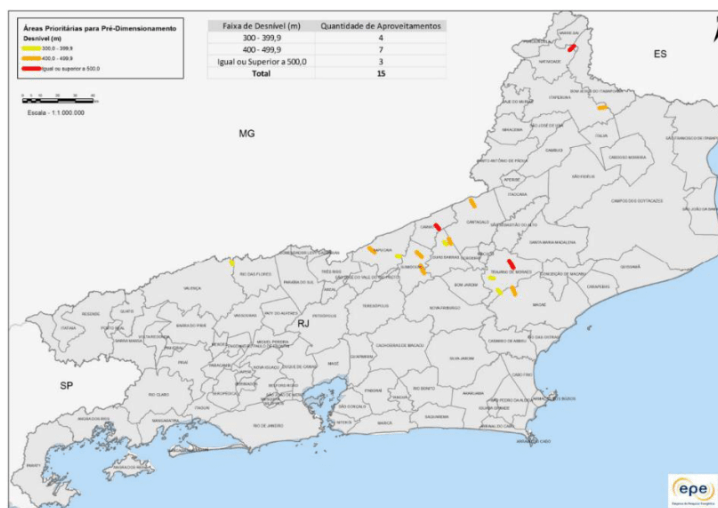


Fig. 2. Localização das UHRs Seleccionadas no Pré-Dimensionamento da EPE para o Rio de Janeiro [4]

Conforme é descrito por [3], a existência das usinas em cascata pode aumentar a eficiência geral do processo de armazenamento para cerca de 95%. Nos casos em que a UHR diminui o vertimento ou a evaporação nas barragens em cascata, a sua instalação pode resultar em um ganho positivo de energia ao sistema. Uma situação em que se ocorre um aumento significativo da eficiência geral do processo (quando comparado à eficiência típica de uma só UHR) poderia acontecer no caso da construção da UHR Lajeado, no Rio Tocantins. A proposta de [3] é que a UHR Lajeado utilize o reservatório da já existente UHE Lajeado como reservatório inferior, e, instalar um reservatório superior com 4.200 hm³ de volume. Com este arranjo, os autores estimaram um aumento de 27,8% na geração de energia no período seco do conjunto de UHEs em cascata (Lajeado, Estreito e Tucuruí), enquanto no período úmido é estimado uma diminuição da geração de 17,9%, ocorrendo a transferência de energia entre os dois períodos e linearizando a curva de geração do conjunto de usinas. Outra situação favorável ao projeto, é que proximidade com a UHE Lajeado permite a utilização das linhas de transmissão já existentes da região, o que facilita a absorção do excedente de energia gerada do SIN, principalmente de plantas eólicas do subsistema Nordeste [3]. Na Fig. 3, é apresentada a localização da UHR Lajeado tendo como base a posição da UHE Lajeado e o relevo da área.

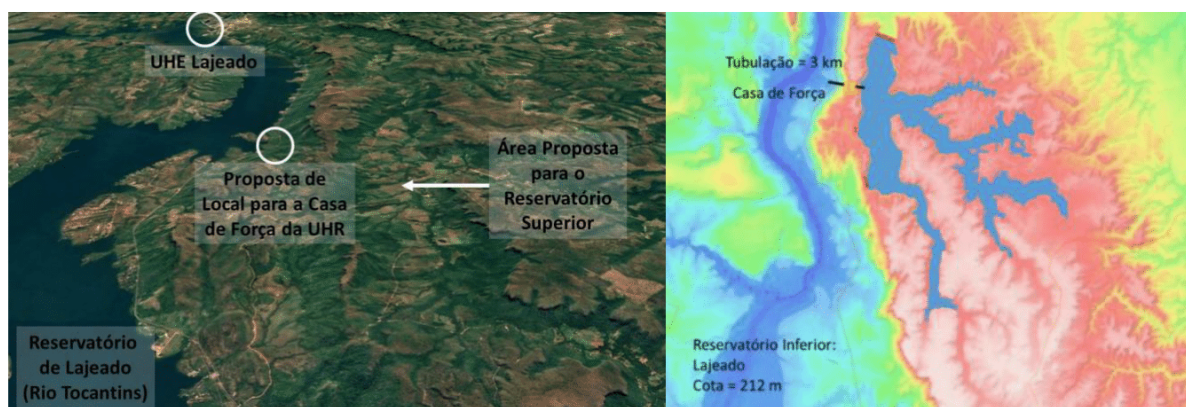


Fig. 3-(a). Localização da UHR Lajeado

Fig. 3-(b). Relevo do Reservat. Sup. [3].

Com o aumento do volume de água armazenado nos reservatórios, além do aumento da energia armazenada para geração, haveria também o aumento do potencial de usos múltiplos da água. Assim, o fornecimento de água tratada estaria exposto à menores riscos de desabastecimento como os que ocorreram ao longo dos últimos anos em algumas regiões do país, como o ocorrido no Rio São Francisco e no Rio Paraíba do Sul. Um maior nível dos reservatórios ou a fixação de sua cota máxima favorece o transporte pelas hidrovias, o que aumentaria a capacidade de transporte, diminuindo custos. Outras atividades, como o turismo e a pesca também seriam beneficiadas [10].

6 CONCLUSÕES

A transição energética, vantajosa para a diversificação da matriz elétrica brasileira, traz consigo novos desafios na operacionalização do SIN. Quanto maior a inserção das fontes renováveis intermitentes eólica e solar fotovoltaica na rede, mais difícil se torna a regulação de frequência, assim como, a imprevisibilidade destas fontes requer métodos de armazenamento do excedente de energia elétrica gerado. Assim, é essencial o estudo e análise de tecnologias, como as usinas hidrelétricas reversíveis. Por exemplo, há períodos em que o ONS registra excedente de geração, sobretudo no período noturno, e isto poderia ser um insumo para o bombeamento em UHRs

No controle de frequência, as UHRs com unidades de rotação variável permitem a regulação em ambos os modos operativos, enquanto nas de rotação fixa isto só ocorre no modo turbinamento, sendo fornecida inércia ao sistema. Com relação ao arranjo de máquinas, as unidades de grupo ternário são as que resultam nos menores tempos de resposta quando comparadas as de grupo binário. Nas de grupo quaternário, pode-se obter um maior controle de frequência operando em curto-circuito hidráulico, assim, a usina é vista pelo operador do sistema como uma carga controlável, tendo uma flexibilidade de potência de +/-100%.

O uso de UHRs como meios de armazenamento de energia é capaz de aumentar a segurança do suprimento energético, principalmente no cenário atual de expansão das fontes intermitentes, auxiliando também na

regularização hidrológica, favorecendo a integração com outros tipos de usinas no SIN. Uma das propostas encontradas na bibliografia revisada, é a construção da UHR de Canastra, utilizando como reservatório inferior o reservatório de Furnas, sendo estimada uma eficiência geral no processo de armazenamento e geração de 89,22% ao considerar a integração com as UHEs em cascata. Outra proposição revisada foi a UHR de Lajeado, capaz de atuar na regularização da geração ao transferir energia do período úmido para o período seco na bacia do Rio Tocantins, ambas aumentando o potencial de armazenamento do SIN.

A EPE demonstra o interesse no estudo do potencial de expansão das UHRs com a realização do Estudo de Inventário para o Estado do Rio de Janeiro, onde foram identificados 15 locais com potencial geográfico, social e ambiental para a instalação das UHRs.

Diante disso, a utilização de UHRs na matriz elétrica brasileira se mostra vantajosa no cenário atual de aumento acelerado da participação das fontes renováveis, havendo potencial para a sua expansão, com esta tecnologia se mostrando capaz de aumentar a inércia do sistema, auxiliando no controle de frequência. Simultaneamente, auxilia no aumento da capacidade de armazenamento e regularização da geração de energia no SIN, se mostrando uma tecnologia adequada ao cenário atual.

7 REFERÊNCIAS

- [1] Empresa de Pesquisa Energética, “Plano Decenal de Expansão de Energia 2031”, EPE, *Ministério das Minas e Energia*. Brasília, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf
- [2] Empresa de Pesquisa Energética, “Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR): Desafios para inserção em mercados de energia elétrica”, EPE, *Ministério das Minas e Energia*. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-561/EPE-DEE-NT-013_2021-r0.pdf
- [3] R. Brandão, N. de Castro and J. Hunt, *A Viabilidade das Usinas Reversíveis no Sistema Interligado Nacional*, 1st. ed. Rio de Janeiro: E-Papers, 2021.
- [4] Empresa de Pesquisa Energética, “Estudos de Inventário de Usinas Hidrelétricas Reversíveis (UHR): Metodologia e Resultados Preliminares Para o Estado do Rio de Janeiro”, EPE, *Ministério das Minas e Energia*. Brasília, 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-353/EPE-DEE-NT-006_2019-r0.pdf
- [5] A. J. Macintyre, *Máquinas Motrizes Hidráulicas*, 1st. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- [6] J. Pérez-Díaz, J. Sarasúa and J. Wilhelmi, “Contribution of a hydraulic short-circuit pumped-storage power plant to the load–frequency regulation of an isolated power system”, *Inter. Jour. of Elec. Pow. & Ener. Syst.*, vol. 62, pp. 199-211, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.04.042.
- [7] Y. Sun *et al.*, “The Role of Pumped Hydro Storage in Supporting Modern Power Systems: A Review of the Practices in China”, in *2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, May 2019, pp. 1613-1617, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2019.8881156.
- [8] J. Hunt, M. Freitas and A. Junior, “Enhanced-Pumped-Storage: Combining pumped-storage in a yearly storage cycle with dams in cascade in Brazil”, *Energy*, vol. 78, Dec. 2014, pp. 513-523, doi: 10.1016/j.energy.2014.10.038.
- [9] J. Hunt, M. Freitas and A. Junior, “Seasonally-Pumped-Storage on the São Francisco River: increasing energy storage capacity and reducing evaporation losses”, *Sustainability In Debate*, vol. 7, Dec. 2016, pp. 18-33, doi: 10.18472/SustDeb.v7n3.2016.17436.
- [10] J. Hunt, M. Freitas and A. Junior, “A review of seasonal pumped-storage combined with dams in cascade in Brazil”, *Renew. and Sust. Ener. Rev.*, vol. 70, pp. 385-398, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.255.

APÊNDICE B – Comprovante de apresentação







XIXeriac

21 a 25 de maio de 2023
Foz do Iguaçu | PR | Brasil

PROMOÇÃO



APOIO
ORGANIZACIONAL



PAULO DUARTE
IFSC - CÂMPUS
FLORIANÓPOLIS





CERTIFICADO

Certificamos que, **PAULO MIGUEL DUARTE DE FREITAS** participou do **XIX ERIAC – Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE**, realizado em Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, no período de 21 a 25 de maio de 2023.

Foz do Iguaçu, 25 de maio de 2023.


João Carlos de Oliveira Mello
Diretor-Presidente do CIGRE-Brasil


Rodrigo Gonçalves Pimenta
Coordenador Geral e Executivo do XIX ERIAC

PROMOÇÃO



APOIO
ORGANIZACIONAL



CERTIFICADO



Código de validação

Certificamos que **PAULO MIGUEL DUARTE DE FREITAS** apresentou o trabalho técnico **"ESTUDO SOBRE O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E DE ARMAZENAMENTO DE UHR'S: UMA ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO INERCIAL PARA O SIN"** no XIX ERIAC – Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE-BRASIL, realizado no período de 21 a 25 de maio de 2023.

FOZ DO IGUAÇU, 25 DE MAIO DE 2023


João Carlos de Oliveira Mello
Diretor-Presidente do CIGRE-Brasil


Rodrigo Gonçalves Pimenta
Coordenador Geral e Executivo do XIX ERIAC

PROMOÇÃO



APOIO
ORGANIZACIONAL



APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso



Introdução

- Usinas Hidrelétricas Reversíveis
 - amplamente adotadas no mundo
 - maturidade do ponto de vista técnico
 - viáveis economicamente
 - pouco utilizadas no Brasil (amplo espaço para expansão)
 - potencial de **aumento da capacidade de armazenamento**
 - atuação no **balanço entre geração e carga**



Introdução



- Crescente participação das plantas eolioelétricas e solar fotovoltaicas no SIN
 - transformação de hidrotérmico para hidro-termo-eólico
 - o operador do sistema é apresentado à uma nova dificuldade em manter o balanço entre geração e carga e o controle da relação tensão-frequência, podendo haver uma iminente perturbação da inércia no SIN

TABELA I. CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO CENTRALIZADA POR TIPO DE USINA [1]

Tipo de Usina	Capacidade Instalada em 2021	Capacidade Instalada em 2031	$\Delta\%$
Hidráulica	116 GW	124 GW	7%
Térmica	37 GW	51 GW	36%
Eólica	20 GW	30 GW	55%
Solar	4 GW	10 GW	135%
Nuclear	2 GW	4 GW	121%
Total	179 GW	220 GW	23%

3

Introdução



- Crescente participação das plantas eolioelétricas e solar fotovoltaicas no SIN
 - estas usinas são conectadas no SIN através de inversores dotados de arquiteturas similares a *full converter*, que reduzem relativamente a inércia
 - isso ocorre em virtude da desagregação eletromecânica entre o recurso energético primário demandado e o recurso energético secundário ofertado, o que pode acarretar instabilidade da frequência
- Para aumentar a inércia pode-se expandir a capacidade de armazenamento de energia em plantas com característica inercial
 - a solução mais adotada é o armazenamento hidráulico

4

Introdução



- As usinas hidrelétricas são eficientes no controle de frequência da rede
 - utilizam sistemas de controle que podem atuar rapidamente para corrigir variações de frequência
- Com a construção de mais UHEs com reservatórios de acumulação:
 - aumenta-se a capacidade de armazenamento
 - diminui-se a perda de inércia do sistema
 - aumenta-se a capacidade de geração hidrelétrica no período seco
- Potencial de expansão desse tipo de UHE é baixo no Brasil
 - maioria do potencial hidrelétrico remanescente está na Amazônia e são a fio d'água

5

Introdução



- UHRs como possível solução
 - princípios de funcionamento semelhantes às UHEs no controle de frequência
 - aproveitamento baixíssimo deste tipo de tecnologia no Brasil
 - podem atuar no aumento da segurança energética do país
 - atuação na complementação das fontes intermitentes

6

Suporte de Frequência e Contribuição Inercial



- A resposta de frequência é utilizada quando a frequência da rede varia além de um intervalo pré-definido
 - as UHRs provem controle primário de frequência
 - injeção de potência para o sistema quando turbinando
 - absorção de potência do sistema quando bombeando
- Outra função desempenhada por UHRs é o nivelamento de carga
 - útil na redução do *curtailment-off* causado pelo excesso de oferta
- Os diferentes tipos de tecnologias empregadas nos motor-geradores influenciam diretamente a capacidade e tempo de resposta da usina
 - em unidades de rotação fixa, a inércia é fornecida diretamente pela energia cinética armazenada nos rotores, não sendo possível controlar a potência absorvida no modo bombeamento
 - em unidades de rotação variável, a resposta inercial pode ocorrer eletronicamente por meio de conversores de potência, ou seja, é provida uma inércia sintética

7

Suporte de Frequência e Contribuição Inercial



- Existem 3 arranjos possíveis nas máquinas das UHRs
 - os grupos quaternários, compostos de um grupo turbina-gerador e outro bomba-motor, ambos totalmente independentes
 - mais favorável às mudanças de modo operativo e aumenta a disponibilidade da usina
 - os grupos ternários, compostos de um conjunto motor-gerador conectado no mesmo eixo em uma bomba e em uma turbina
 - principal vantagem é a rapidez na inversão da operação melhorando a capacidade de reserva operativa, sendo a mais rápida entre os 3 arranjos
 - os grupos binários, compostos de motor-gerador e turbina-bomba

8

Suporte de Frequência e Contribuição Inercial



- Curto-circuito hidráulico
 - para se obter um maior controle de frequência, pode-se optar por UHRs de grupo quaternário operando em curto-circuito hidráulico
 - o curto-circuito hidráulico é a operação em simultâneo de uma unidade da usina em modo turbinamento enquanto outra opera em modo bombeamento
 - dessa maneira, a usina é vista pelo operador do sistema como uma carga controlável
 - aumenta-se a flexibilidade para o controle de frequência, contribuindo de maneira significativa para retomar a frequência nominal da rede básica em caso de surtos ou falhas

9

Armazenamento e Complementação Energética ao SIN



- UHRs podem ser utilizadas na complementação e integração com o sistema energético, melhorando a segurança do suprimento e a regularização hidrológica
- Na China, no subsistema *Northeast China* há uma geração significativa por fonte eólica que em alguns momentos ultrapassa a carga do subsistema
 - a utilização da UHR Pushihe auxilia na redução do uso das conexões com os outros 3 subsistemas ao armazenar o excedente de energia gerada das fontes eólicas, evitando o *curtailment-off* ou a sobrecarga das LTs
 - ao combinar a UHR com a geração eolioelétrica, o pico de demanda é alterado da ponta para fora ponta, havendo uma redução do déficit de carga

10

Armazenamento e Complementação Energética ao SIN



- *Enhanced-Pumped-Storage*

- combinação entre uma UHR com reservatório superior de grande capacidade de armazenamento com várias usinas à jusante
- ao utilizar um reservatório superior com variações significativas entre as cotas mínimas e máximas, há uma relação maior entre armazenamento de energia por área ocupada
 - com uma área inundada menor é possível diminuir a evaporação de água e o vertimento do excedente que não pode ser armazenado ou turbinado
- esse arranjo permite obter 90% de eficiência geral no processo de armazenamento em alguns casos

11

Armazenamento e Complementação Energética ao SIN



- *Enhanced-Pumped-Storage*

- um exemplo de possível implementação de EPS no Brasil é a proposta da instalação da UHR de Canastra
 - reservatório inferior seria o reservatório de Furnas
 - reservatório superior possuiria cota mínima de 1.050 metros e cota máxima de 1.250 metros
 - 45,83 TWh de EAR_{max}
 - no período seco, 10,65 GW de aumento médio de geração nas usinas em cascata no período seco
 - no período úmido, 11,2 GW de redução média de geração
 - eficiência geral no processo de armazenamento estimada em 89,2%

12

Armazenamento e Complementação Energética ao SIN



- UHR de Múquem no Rio São Francisco
 - a pequena variabilidade de cota de apenas 12 metros no reservatório de Sobradinho favorece a evaporação de água por conta de sua grande área alagada de 4.214 km² e capacidade de armazenamento de 7,167 MWmed/km²
 - o reservatório proposto de Múquem possuiria apenas 52 km² e capacidade de armazenamento de 267,3 MWmed/km² (37x mais energia por km²)
 - o aumento da capacidade de armazenamento da região permitiria:
 - a transferência de energia da estação úmida para a estação seca
 - armazenar o excedente de geração de energia elétrica das usinas eólicas do parque gerador do subsistema Nordeste
 - redução da cota máxima do reservatório de Sobradinho
 - estimativa de aumento de geração de 0,26 GWmed com perdas de 0,18 GWmed com bombeamento, ou seja, haveria um ganho geral de 0,08 GWmed

13

Armazenamento e Complementação Energética ao SIN



- Estudo de Inventário para o Rio de Janeiro realizado pela EPE
 - utilizada uma ferramenta em plataforma ArcGIS, a GeoUHR
 - foram obtidas 23 localidades para os critérios técnicos definidos
 - 15 estavam em locais com condições socioambientais favoráveis
 - 21,11 GW de potência instalada
 - capacidade de armazenamento de 63,33 GWh



Fig. 2. Localização das UHRs Selecionadas no Pré-Dimensionamento da EPE para o Rio de Janeiro [4]

14

Armazenamento e Complementação Energética ao SIN



- UHR Lajeado no Rio Tocantins
 - reservatório inferior seria a UHE Lajeado
 - reservatório superior com 4.200 hm³ de volume
 - UHEs Lajeado, Estreito e Tucuruí seriam beneficiadas
 - diminuição do vertimento e da evaporação nas barragens em cascata pode resultar em um ganho positivo de energia ao sistema

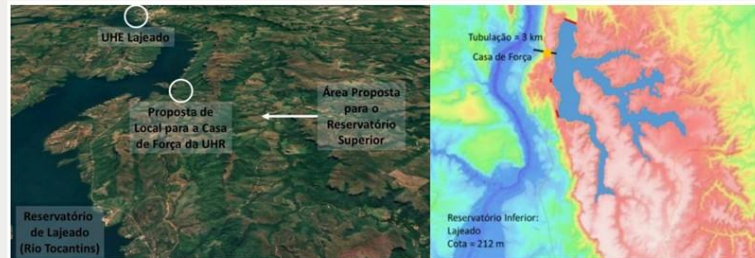


Fig. 3-(a). Localização da UHR Lajeado

Fig. 3-(b). Relevo do Reservat. Sup. [3].

15

Armazenamento e Complementação Energética ao SIN



- UHR Lajeado no Rio Tocantins
 - aumento da energia armazenada para geração
 - aumento do potencial de usos múltiplos da água
 - o fornecimento de água tratada estaria exposto à menores riscos de desabastecimento como os que ocorreram ao longo dos últimos anos em algumas regiões do país
 - fixação de sua cota máxima favorece o transporte pelas hidrovias, diminuindo custos
 - outras atividades, como o turismo e a pesca também seriam beneficiadas

16

Conclusões



- A transição energética traz consigo novos desafios na operacionalização do SIN
 - se torna mais difícil realizar a regulação de frequência da rede
 - a imprevisibilidade destas fontes requer métodos de armazenamento do excedente de energia elétrica gerado
- Essencial o estudo e análise de tecnologias, como as usinas hidrelétricas reversíveis
 - há períodos em que o ONS registra excedente de geração, sobretudo no período noturno, e isto poderia ser um insumo para o bombeamento em UHRs
- O uso de UHRs como meios de armazenamento de energia é capaz de aumentar a segurança do suprimento energético, principalmente no cenário atual de expansão das fontes intermitentes, auxiliando também na regularização hidrológica
- A EPE demonstra o interesse no estudo do potencial de expansão das UHRs com a realização do Estudo de Inventário para o Estado do Rio de Janeiro
- A utilização de UHRs na matriz elétrica brasileira se mostra vantajosa no cenário atual de aumento acelerado da participação das fontes renováveis

17

Obrigado pela atenção!



Paulo Miguel Duarte de Freitas

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
pmdf08@gmail.com

Everthon Taghori Sica

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
sica.eng@gmail.com

ANEXOS

ANEXO A – Folder de chamada do congresso

BOLETIM 1



xixeriatic

XIX Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE
A Bienal do CIGRE na Ibero-América

Mais que um Encontro, o
 XIX ERIAC será um grande
 Reencontro.

21 a 25 de maio de 2023 | Foz do Iguaçu, Brasil



Retirada do estator da Unidade 6 – Usina de Itaipu. Foto: Alexandre Marchetti / Acervo Itaipu Binacional

Colaboram

Comitês Nacionais
 Argentino, Chileno,
 Colombiano, Espanhol,
 Mexicano, Peruano,
 Paraguuaio e Português.

Promoção



Apoio Organizacional



ANTECEDENTES

O Encontro Regional Ibero-americano do CIGRE, abreviadamente denominado “ERLAC”, é o Seminário internacional do CIGRE mais importante da “Região Ibero-americana do CIGRE” (RIAC).

Desde o ano de 1987 é realizado a cada dois anos na tríplice fronteira, onde nasceu no ano de 1986, como “Encontro Regional Latino-americano do CIGRE” (ERLAC).

Este lugar, que é especialmente atrativo por suas belezas naturais, facilita a participação de profissionais dos três países fronteiriços da área – Brasil, Argentina e Paraguai –, que alternadamente sediam, nessa ordem, a organização do evento.

Cabe nesta oportunidade ao Comitê Nacional Brasileiro do CIGRE organizar a décima nona edição, o XIX ERIAC.

No ano 2000, durante a Bienal do CIGRE em Paris, realizou-se a primeira reunião programada de representantes dos Comitês Nacionais Ibero-americanos do CIGRE, cuja ação conjunta concluiu, durante o X ERLAC, na Argentina, em 19 de maio de 2003, com a proposta ao CIGRE da criação da Região Ibero-americana do CIGRE (RIAC), que foi aprovada em 28/8/2004. De modo que, desde o XI Encontro, realizado em maio de 2005 no Paraguai, o evento deixou de ser latino-americano para converter-se em ibero-americano: ERIAC em vez de ERLAC. Até o presente, transcorreram dez ERLAC e oito ERIAC.

Quem já teve a oportunidade de presenciar alguma das famosas e tradicionais Sessões Bienais do CIGRE em Paris observará que o ERIAC é a Bienal da RIAC, que se realiza em um lugar paradisíaco, com a apresentação e discussão de trabalhos técnicos, mais uma exposição técnica comercial. A qualidade técnica das atividades do CIGRE, somada ao espírito de camaradagem e amizade sempre presente nas reuniões, se acentuam no ERIAC, graças ao calor humano próprio dos ibero-americanos e da empatia de seus laços culturais.

DATAS-CHAVE

30/09/2022	Data limite para apresentação de resumos de trabalhos técnicos
15/11/2022	Comunicação aos autores dos resumos aprovados e não aprovados
15/01/2023	Data limite para entrega dos trabalhos técnicos em formato digital
31/01/2023	Publicação do Boletim nº 2
15/02/2023	Início das inscrições
15/03/2023	Comunicação aos autores dos trabalhos técnicos aprovados e não aprovados
20/03/2023	Publicação do programa de apresentação dos trabalhos técnicos
31/03/2023	Publicação do Boletim nº 3
21 a 25/05/2023	Realização do XIX ERIAC

O XIX ERIAC

Com o XIX ERIAC, a Região Ibero-americana do CIGRE (RIAC) tem por objetivo continuar consolidando as inovações que vem implantando com êxito desde o XVI ERIAC, que fazem com que o evento tenha cada vez mais qualidade. Para isso, participam ativamente da organização do ERIAC, além da Argentina, Brasil e Paraguai, os seis outros Comitês Nacionais Ibero-americanos do CIGRE: Chileno, Colombiano, Espanhol, Mexicano, Peruano e Português.

Assim, o ERIAC é um evento Ibero-americano do CIGRE, concebido e desenvolvido atendendo pautas da RIAC, sob a responsabilidade do país organizador.

Entre outras disposições que fazem a organização e desenvolvimento de um ERIAC, podem ser citadas as seguintes:

- **Comitê Assessor da RIAC para o ERIAC (CARE):** Órgão composto por representantes da Comissão Organizadora e dos outros oito Comitês, para que o evento, tanto em seus aspectos técnicos quanto organizacionais, seja realizado de acordo e com a utilização das melhores experiências e valores da RIAC;
- **Comitê Técnico Acadêmico para o ERIAC com referências internacionais da RIAC:** integrado, entre outros profissionais de destaque, por Membros Regulares Ibero-americanos dos 16 Comitês Internacionais de Estudo do CIGRE, que serão especificamente responsáveis pela avaliação de resumos e trabalhos técnicos (sistema de revisão por pares ou arbitragem);
- **Programação das sessões técnicas:** as sessões técnicas de cada Comitê de Estudo (CE) são realizadas em até dois dos três dias do evento, para benefício dos participantes que podem ter limitações de tempo, ou para facilitar a participação em sessões de outros CEs. São realizados blocos temáticos de 90 minutos de apresentação, com quatro trabalhos (15 minutos cada), além de um espaço comum, no final, de 30 minutos para perguntas e discussões conjuntas (o que maximiza o número de apresentações no mesmo horário e reduz o impacto da ausência imprevista de autores). Esforços são feitos para evitar a sobreposição entre CEs relacionados;
- **Particularidades da programação geral:** Conferência Técnica de interesse geral durante a Cerimônia de Abertura; ExpoERiac durante os dias do evento; anúncio de trabalhos premiados e entrega de premiação durante a Cerimônia de Encerramento; visita técnica no dia seguinte ao encerramento das Sessões Técnicas. Cerimônia de Encerramento e Fórum das Nações durante o último dia das Sessões Técnicas.

AUTORIDADES DO XIX ERIAC

Presidente do XIX ERIAC

Saulo José Nascimento Cisneiros

Presidente Honorário do XIX ERIAC e Presidente da RIAC

Pablo Rodríguez Herreras

Presidente do Comitê de Organização do XIX ERIAC

José Henrique Machado Fernandes

Comitê Assessor da RIAC para o ERIAC (CARE)

Presidente Pablo Rodríguez Herreras (ES)

Membros Jorge Nizovoy (AR), Félix Gallego (AR), Saulo José Nascimento Cisneiros (BR), Antonio Simões Pires (BR), Iony Patriota de Siqueira (BR), José Henrique Machado Fernandes (BR), Antonio Carlos Barbosa Martins (BR), María Nohemí Arboleda Arango (CO), Liliana M. Pineda Hernandez (CO), Carlos Vanegas (CO), Jaime Alejandro Zapata (CO), Guillermo Rodríguez Gaya (ES), Enrique Ramon Chaparro Viveros (PY), Carolina Montserrat Villasanti Lopez (PY), Jaime Guerra Montes De Oca (PE), Pedro Cabral (PT).

Comitê Técnico do XIX ERIAC (CTE)

Coordenador Antonio Carlos Barbosa Martins (CN Brasileiro)

Vice Coordenadora María Nohemí Arboleda Arango (CN Colombiano)

Secretário Flavio Rodrigo de Miranda Alves (CN Brasileiro)

Membros ARGENTINA:

Alejandro Cannatella; Ezequiel González; Daniel Alejandro Nieto; Fernando Werner Seybold; Leonardo Ariel Medaglia; Germán Gustavo Lorenzón; Fabián Corasaniti; Enrique Dufour; Pablo Roberto Perez; Juan Pablo Mirable; Maria Beatriz Barbieri; Fernando Issouribehere; Marcos Sebastian Benetti; Mauricio Eduardo Samper; Leonardo Catalano; Ariel Campos.

BRASIL:

Fernando Souza Brasil; Roberto Asano Júnior; Helvio Azevedo Martins; Nadia Helena Ribeiro de Louredo; Marcos Cesar Araujo; Marta Lacorte; Antonio Ricardo Mattos Tenório; Marco Antonio Macciola Rodrigues; Valdsen Simões Jesus; Antonio Carlos Barbosa Martins; André Luiz Mustafá; Angelica da Costa Oliveira Rocha; João Carlos Oliveira Mello; Alexandre Rasi Aoki; Adriana de Castro Passos Martins; Rodrigo Leal de Siqueira.

COLÔMBIA:

Enrique Ciro Quispe Oqueña; Diego García; Alejandro Ramirez Manuel; José Daniel Soto; Elkin Ceballos; Jorge Wilson Gonzalez; Fabio Hernandez; Carlos Arturo Vanegas Vesga; Natalia Mejía Luz; Ernesto Perez Gonzalez; Martha Maria Gil Zapata; Eduardo Gómez; Diego Andrés Zuluaga Urrea.

ESPANHA:

Alfredo Gómez; Carlos Vila; Aitor Hernández; Alexandra Burgos; Antonio Useros; Jesús Besteiro; Silvia Sanz; David Peña; Belén Díaz-Guerra; Jorge Hidalgo; Rodrigo San Millán; Sergio Santos; Juan Bogas; Iker Urrutia; Pedro Llovera; Bruno Peralta.

MÉXICO:

Reyes-Martinez Oscar; Espinosa Reza Alfredo.

**PARAGUAI:**

Rodrigo Eduardo Chaparro Moraes; Maria Alicia Arevalos Burró; Maria Jose Martinez Piñanez; Manuel Sosa Rios; Enrique Ramon Chaparro Viveros; Carolina Montserrat Villasanti Lopez.

PERU:

Roberto Ramirez Arcelles, Alberto Muñante, Luis Valdivia, Francisco Torres, Jaime Guerra Montes de Oca, Mario Venero, Eduardo Antunez, Daniel Vaillant.

PORTUGAL:

José Ramos; Luís Almeno Fernandes; Ana Pereira; Pedro Nunes; Vítor Fernandes; Antonio Canhoto; Carlos Moreira; Rogério Paulo; Pedro Carola; José Miguel Bernardo; Francisco Moreira; Andreia Leiria; Rui Pestana; Clara Gouveia; Mónica Fialho; João Pedro.

COMISSÃO DE APOIO ORGANIZACIONAL DO XIX ERIAC

<i>Coordenação-Geral</i>	José Benedito Mota Júnior
<i>Coordenação Executiva</i>	Rodrigo Gonçalves Pimenta
<i>Secretaria Executiva</i>	Renato Boiarski Vieira
<i>Coordenação Administrativa e de Contratos</i>	Priscilla da Costa Guimarães
<i>Coordenação Financeira</i>	Bruno Amadio Troiano
<i>Coordenação Técnica</i>	Robson Almir de Oliveira
	Alexandre Cezario Pereira
<i>Coordenação de Tecnologia da Informação</i>	Teresinha Arnauts Hachisuca
<i>Coordenação de Comunicação Social</i>	Rebecca Bonomo Montanheiro

email: xixeriac@itaipu.gov.br

SESSÕES TÉCNICAS

Dezesseis Sessões Técnicas Plenárias serão realizadas, uma para cada Comitê de Estudos do CIGRE, com o objetivo de apresentar trabalhos técnicos ("papers") produzidos por especialistas dessas áreas de estudo. Nenhuma Sessão Pôster será realizada.

Cada trabalho técnico deverá ser apresentado por pelo menos um dos seus autores em uma sala separada designada para o Comitê de Estudos da sessão, para o que disporá de projetor e computador com o Microsoft Office PowerPoint instalado, o que facilitará a Comissão Organizadora. O Comitê Técnico irá agendar a apresentação em blocos temáticos de 90 minutos, com quatro trabalhos (15 minutos cada), além de um espaço comum, no final, de 30 minutos para perguntas e discussões conjuntas por parte dos presentes, que estarão dispostos em um arranjo de tipo teatro. As sessões serão moderadas pelas Autoridades de Mesa dos Comitês de Estudo, que serão designadas para o evento por especialistas da RIAC.

Os autores devem enviar seus resumos de propostas e documentos técnicos para aprovação por meio de arquivos do Microsoft Office Word, respeitando as instruções de formatação da organização.

ACEITAÇÃO DE RESUMOS E TRABALHOS TÉCNICOS

O Comitê Técnico do XIX ERIAC analisará e avaliará (sistema de revisão por pares) os Resumos de propostas de trabalhos técnicos apresentados e os respectivos Trabalhos Técnicos Finais, recomendando ao Comitê Assessor da RIAC para o XIX ERIAC (CARE) aqueles Resumos e Trabalhos Técnicos que, ao seu critério, devem ser aceitos.

Os trabalhos técnicos aprovados serão disponibilizados com N° de ISBN (International Standard Book Number).

Para garantir que o nível do ERIAC seja superado continuamente, a Comissão Técnica é composta por personalidades acadêmicas relevantes e por profissionais estreitamente ligados ao setor elétrico, designados pelos Comitês Nacionais do CIGRE da Região Ibero-americana do CIGRE perante requisitos específicos de avaliadores da qualidade estabelecida pelo Comitê Técnico, de comum acordo com o CARE.

É digno de nota que entre os membros do Comitê Técnico, existem membros regulares e observadores dos Comitês Internacionais de Estudo do CIGRE, a uma razão de um para cada Comitê de Estudos, que é uma referência da qualidade internacional que está sendo promovida a partir da mesma conformação do Comitê Avaliador.

PRÊMIOS AOS MELHORES TRABALHOS TÉCNICOS

Para os Comitês de Estudo que receberem mais de 10 Trabalhos Técnicos, o Comitê Técnico premiará os três melhores trabalhos apresentados durante o XIX ERIAC em cada um desses Comitês de Estudo.

Um primeiro prêmio consistirá na entrega aos autores de um “Diploma de Honra” e o Troféu “XIX ERIAC”, enquanto os autores dos dois trabalhos premiados restantes também receberão um “Diploma de Honra”.

IDIOMAS OFICIAIS

As línguas oficiais do XIX ERIAC são: espanhol, português e inglês.

De preferência, os resumos, Trabalhos Técnicos e apresentações devem ser feitos nos dois idiomas da RIAC (espanhol ou português), mas também podem ser apresentados em inglês quando o autor não puder fazê-lo nos idiomas da RIAC.

APRESENTAÇÃO DOS RESUMOS

Os especialistas interessados em apresentar Trabalhos Técnicos nas Sessões do XIX ERIAC deverão carregar o **resumo** e o próprio **trabalho técnico** (posteriormente, caso o Resumo seja aprovado) no portal SIGE – Sistema de Gestão de Eventos, acessível via os seguintes links:

<https://sige.itaipu.gov.br> e
<https://sige.itaipu.gov.py>.

Modelos do resumo e do trabalho técnico, no Microsoft Word, podem ser baixados no mesmo portal, bem como a partir da página oficial do evento, com acesso pelo link:

www.xixeriac.com.br

O arquivo contendo o **resumo** ou o **trabalho técnico** deverá seguir os seguintes critérios para que possam ser submetidos no SIGE:

- Estar no formato **doc** ou **docx** (Microsoft Word);
- Conter um tamanho máximo de 5Mb para **resumo** e 20Mb para **trabalho técnico**;
- Apresentar no máximo 100 caracteres no nome do arquivo (nome + extensão).

Autor Representante

No caso de Trabalhos Técnicos envolvendo mais de um autor, o “Autor Representante” será aquele designado pelos autores do Trabalho Técnico para comunicar-se com os organizadores do XIX ERIAC, a fim de que as comunicações sobre o Trabalho Técnico sejam feitas com um único autor.

Conteúdo do Resumo

O resumo deve consistir em uma descrição sintética e exata do conteúdo do Trabalho Técnico (TT). Embora seja abreviado, ele deve ser detalhado o suficiente para que o objeto e sua contribuição concreta possam ser avaliados.

O resumo deve refletir aspectos do Trabalho Técnico que serão avaliados, como os seguintes:

- Sobre o que realmente irá tratar, terá análises puramente teóricas, incluirá o uso de resultados de medições, será uma descrição dos estudos realizados?
- Como os dados e / ou resultados foram obtidos, foram medidos, derivam de deduções, como foram analisados ou elaborados?
- Resultados obtidos, conclusões e como sua validade será demonstrada.

Além disso, os autores devem levar em conta que:

- As propostas devem corresponder a um dos temas preferenciais (TP) estabelecidos para um determinado CE, e os números CE e TP devem ser indicados explicitamente nos campos fornecidos quando do carregamento do resumo diretamente na página do XIX ERIAC;
- O título deve resumir fielmente o que será o TT;
- O público potencial que poderia ser de interesse para o TT proposto será levado em consideração;
- Se for baseado essencialmente em um TT que se apresenta em outro evento, que nova contribuição haverá para este ERIAC?

O Resumo não deve exceder a folha A4, com fonte **Arial 10** ou **Times New Roman 12**. Margens 2,5; 2,5; 2,5; 2,5. Uma única coluna.

Não é necessário que o resumo inclua equações, figuras ou tabelas.

Palavras-Chaves

Juntamente com o **Resumo**, uma lista de até 10 palavras que caracterizam os tópicos mais relevantes do Trabalho Técnico deve ser incluída, para que possam ser usadas para facilitar as pesquisas bibliográficas.

*Data limite para
apresentação de resumos*

30 de setembro de 2022

FORMATO DOS TRABALHOS TÉCNICOS

As instruções sobre o formato a ser utilizado para a elaboração dos Trabalhos Técnicos e um modelo útil para isso no MS Word podem ser obtidos na Home Page do evento na Internet.

TEMAS PREFERENCIAIS

Os Trabalhos Técnicos deverão tratar de temas que tenham sido estabelecidos como preferenciais para o XIX ERIAC. Os autores deverão indicar o Comitê e o número dos temas preferenciais ao carregar o resumo na página de submissão de resumos do XIX ERIAC.

Comitê A1 – Máquinas elétricas rotativas

1. Novos materiais aplicados na fabricação de máquinas elétricas;
2. Modernização e repotenciação de grandes máquinas elétricas;
3. Desenvolvimento de materiais isolantes para máquinas elétricas;
4. Manutenção de grandes geradores;
5. Ensaio elétrico em grandes máquinas;
6. Grandes motores e motores de alto rendimento;
7. Aumento de eficiência de grandes máquinas;
8. Utilização de compensadores síncronos;
9. Experiência com sistemas de monitoramento com aplicação de algoritmos de diagnóstico e prognóstico;
10. Pequenas centrais hidrelétricas, máquinas para geração distribuída e energia renovável;
11. Usinas hidrelétricas reversíveis.

Comitê A2 – Transformadores e reatores

1. Transformação digital, indústria 4.0 e BIM (*Building Information Modeling*) para transformadores e reatores;
2. Modelagem e novas tecnologias para aplicações especiais de transformadores e reatores;
3. Melhores práticas para diagnóstico de condição e gestão de ativos. Estratégias de manutenção de transformadores, reatores e seus componentes;
4. Especificação, integração, manutenção e gestão de sistemas de monitoramento para garantir o uso eficaz das informações;
5. Comutação sob carga, novos requisitos associados à geração intermitente e soluções;
6. Confiabilidade e análise post mortem de transformadores, reatores e componentes. Identificação de novos modos de falha e causa raiz.

Comitê A3 – Equipamentos de transmissão e distribuição

1. Novos avanços e desenvolvimentos na área de monitoramento online de disjuntores;
2. Novas técnicas de testes não invasivos para equipamentos de medição e manobra;
3. Avaliação e experiência na utilização de seccionadoras em subestações;
4. Análise de gases e umidade em transformadores de instrumentos e avaliação de estado;
5. Novas tecnologias em desenvolvimento para substituir o SF6;
6. Manobra de Reatores: critérios para estudos de dimensionamento de reatores e disjuntores;
7. Confiabilidade de equipamentos de manobra e de medição;
8. *Low Power Instrument Transformers* – Integração dos LPTI nas subestações digitais;
9. Gestão de ativos no contexto das subestações compartilhadas e das novas tecnologias de modelagem e armazenamento de dados dos equipamentos.

Comitê B1 – Cabos isolados

1. Projeto, fabricação, técnicas de instalação, “as built” e manutenção em sistemas de cabos CA;
2. Operação em condições de transitórios de ampacidade;
3. Coordenação de isolamento, requisitos e recomendações para sistemas de cabos de potência;
4. Descomissionamento de Linhas Subterrâneas terrestres instaladas em cabos a óleo de baixa pressão;
5. Técnicas e procedimentos para obras civis em Métodos Construtivos não destrutivos;
6. Monitoramento Térmico como ferramenta para critérios de capacidade de transmissão (ampacidade);
7. Questões quanto a termos de permissão de rotas de linhas de transmissão subterrâneas: providências e implementação;
8. Ensaio e testes de comissionamento para sistemas de cabos com classes de tensão 230 kV e 345 kV - CA.

Comitê B2 – Linhas aéreas

1. Projeto, construção e manutenção de linhas de transmissão com soluções não convencionais;
2. Recapitação e repotenciação de linhas de transmissão;
3. Desenvolvimento e aplicação de novos materiais em linhas de transmissão;
4. Aplicação de novas tecnologias (por exemplo, Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Internet das Coisas) no projeto, operação e manutenção de linhas de transmissão;
5. Técnicas não convencionais de manutenção em linhas energizadas;
6. Monitoramento em tempo real de linhas de transmissão;
7. Estudos e experiências práticas para atendimento aos critérios de campos elétrico e magnético em linhas de transmissão;
8. Aspectos técnicos, legais e de segurança no uso e ocupação das faixas de passagem de linhas de transmissão;
9. Aspectos de projeto, construção e manutenção de linhas de transmissão em áreas urbanas ou densamente ocupadas;
10. Monitoramento e avaliação de dados relacionados às ocorrências de eventos climatológicos de grande intensidade em linhas de transmissão;
11. Experiência no restabelecimento de linhas de transmissão após eventos climatológicos de grande intensidade;
12. Estudos sobre o envelhecimento e monitoramento de ativos de linhas de transmissão;
13. Fundações não convencionais de linhas de transmissão;
14. Estudos sobre poluição de componentes de linhas de transmissão;
15. Minimização dos impactos ambientais e sociais na implantação das linhas de transmissão;
16. Experiência com condutores não convencionais;
17. Influências do meio ambiente e das condições climáticas no projeto, construção e manutenção de linhas de transmissão;
18. Uso de drones em procedimentos de avaliação, construção e manutenção de linhas de transmissão.



Comitê B3 – Subestações e
instalações elétricas

1. Novos requisitos de manutenção e projeto para subestações e lições aprendidas com os períodos de pandemia do COVID 19;
2. Experiências com plataformas de projeto acima do 3D (7D BIM – *Building Information Modeling*), integradas com dados de O&M e Realidade Virtual;
3. Desafios e expectativas das subestações “digitais”. Experiências de Operação;
4. Soluções de subestações para atender aos novos requisitos da rede, incluindo o crescimento de recursos de energia renovável, geração distribuída, veículos elétricos e armazenamento de energia;
5. Mitigação ambiental. Saúde e segurança. Impactos de segurança. Gerenciamento de incêndio dentro de subestações;
6. Dimensionamento do barramento da subestação: requisitos elétricos, mecânicos e civis;
7. Avaliação dos ativos de subestações (determinação da condição atual e vida residual incluindo equipamentos e sistemas da subestação como sistemas de controle, comunicação e proteção, sistemas de aterramento, sistemas de controle de incêndio, entre outros);
8. Novas configurações de conexão para aumentar a confiabilidade e reduzir custos. Desenho de soluções para a continuidade do serviço durante a manutenção, renovação e substituição de equipamentos em subestações;
9. Novas possibilidades de repotencialização e modernização em subestações.

Comitê B4 – Elos de corrente
contínua e eletrônica de
potência

1. Novos projetos e planejamento de links HVDC e FACTS, incluindo aspectos ambientais, regulatórios e testes de equipamentos para verificação e desempenho;
2. Desenvolvimento tecnológico de links HVDC e FACTS, incluindo suas respectivas estações conversoras;
3. Modelagem, simulação e teste de equipamentos HVDC e links FACTS. Experiências operacionais, desempenho e confiabilidade dos equipamentos existentes;
4. Novas aplicações de links HVDC e FACTS, como redes HVDC, sistemas multiterminais HVDC, integração de fontes renováveis de energia usando eletrônica de potência, conversores VSC e melhorias no fornecimento de energia elétrica com uso de eletrônica de potência;
5. Operação coordenada de sistemas FACTS eletricamente próximos e estudo de dois fenômenos Hunting entre equipamentos FACTS. Aplicação de dispositivos FACTS em locais com baixa potência de curto-circuito. Sistemas de alimentação múltipla HVDC. Coordenação de equipamentos HVDC e FACTS de diversos fabricantes. Modernização dos equipamentos HVDC e FACTS existentes;
6. Aplicações e modelagem de FACTS e HVDC em projetos de energia renovável (eólica, solar e outras) e tecnologia de conversores AC/DC utilizados nestas aplicações. Modelagem e aplicações de VSC como conversores de formação de rede (*Grid Forming Converters*);
7. Experiências operacionais e lições aprendidas com os sistemas HVDC e FACTS atualmente em operação;
8. Inovações na indústria HVDC e FACTS, incluindo novas arquiteturas de conversores, especialmente aqueles ligados à tecnologia VSC e sistemas híbridos LCC/VSC;
9. Uso de sistemas de controle complementares ou especiais para garantir a operação estável dos sistemas HVDC.



*Comitê B5 – Proteção e
automação*

1. Experiência prática no estudo e análise de algoritmos de relés de proteção. Modelagem, simulação e teste de funções e aplicativos avançados;
2. Filosofia de ajustes e coordenação de sistemas de proteção e aplicação de ferramentas informáticas;
3. Medição, Proteção e Controle de Área Alargada (WAMPACS). Esquemas de Proteção da Integridade do Sistema (SIPS) - Sistemas de Proteção Especial (SEP). Impacto do FACTS e HVDC na proteção de sistemas AC;
4. Impacto da integração de fontes de energia distribuída (eólica, solar, veicular e dispositivos de armazenamento) nos sistemas de Proteção e Controle;
5. Aplicações de Proteção, Controle e Automação de Redes Inteligentes ao nível da Distribuição;
6. Análise de distúrbios: apresentação de casos reais, lições aprendidas e ferramentas de análise;
7. Aplicação prática e resultados em sincrofasores;
8. Experiência em Automação e Digitalização de Subestações e Redes Elétricas;
9. Casos de aplicação da norma IEC 61850. Experiências na implantação e manutenção dos sistemas;
10. Estado da arte e avanços tecnológicos em sistemas comerciais de medição de energia elétrica;
11. Gestão do ciclo de vida dos ativos de Proteção, Controle e Automação (instalação, manutenção, ampliação e retrofit);
12. Gestão de desempenho dos sistemas de Proteção, Controle e Automação;
13. Cibersegurança em sistemas de Proteção, Controle e Automação;
14. Treinamento e qualificação de especialistas em sistemas de Controle, Proteção e Automação.

*Comitê C1 – Desenvolvimento
de sistemas elétricos e
economia*

1. Utilização de métodos e ferramentas de análise estática e dinâmica do sistema elétrico no planejamento de sistemas e na análise econômica;
2. Avanços e novas abordagens na aplicação de critérios de planejamento de sistemas elétricos e avaliação de confiabilidade (segurança, suficiência, resiliência);
3. Incremento da capacidade de transporte por meio de avaliação de segurança baseada em risco e tecnologia avançada de informação, comunicação e eletrônica de potência para melhoria da estabilidade do sistema e do desempenho dinâmico;
4. Dependência futura, requisitos e economia dos serviços auxiliares para controle de frequência, tensão e outras necessidades do sistema (procedimentos de rede);
5. Problemas de planejamento do sistema em países recém-industrializados e em desenvolvimento, incluindo áreas metropolitanas;
6. Estratégias de gestão de ativos aplicadas ao sistema elétrico para definição de políticas ótimas;
7. Impacto no desenvolvimento do sistema de novas soluções e tecnologias em áreas como geração, gestão de demanda, armazenamento de energia e sistemas de distribuição “inteligentes”;
8. O impacto dos métodos de fixação de preços e tarifas para serviços de transmissão no desenvolvimento do sistema;
9. Planejamento de sistemas de transmissão de longa distância e interconexões internacionais;
10. Planejamento conjunto de transmissão e distribuição;
11. Utilização de métodos e ferramentas para análise e planejamento de sistemas de transmissão, considerando o desenvolvimento dos diferentes centros de geração com energia renováveis.



*Comitê C2 – Operação e
controle de sistemas*

1. Aumento da capacidade de transmissão em interligações regionais e internacionais;
2. Aumento da participação de geração conectada à rede através de inversores e suas consequências na operação do sistema;
3. Desafios das relações TSO/DSO em função do aumento da participação de geração distribuída;
4. Utilização efetiva e eficiente de sincrofasores na operação de sistemas de potência;
5. Aplicação de inteligência artificial, aprendizado de máquina e análise de dados no planejamento da operação e na operação em tempo real;
6. Uso de ferramentas de suporte à decisão em salas e centros de controle;
7. Treinamento das equipes de operação em tempo real e aumento da consciência situacional;
8. O sistema de potência do futuro: digitalização, descentralização e descarbonização.

*Comitê C3 – Desempenho
ambiental de sistemas*

1. Comunicação e participação das comunidades nos projetos planejados;
2. Avaliação econômica dos impactos sociais e ambientais;
3. Aspectos ambientais desde o planejamento até a fase de operação e descomissionamento dos sistemas elétricos e de armazenamento, incluindo a análise do ciclo de vida;
4. Incorporação de instalações elétricas de média e alta tensão, subestações, linhas aéreas e cabos. Considerações ambientais;
5. Impactos ambientais e sociais na avaliação do fornecimento de energia elétrica em áreas isoladas;
6. Indicadores de sustentabilidade para geração e transmissão de energia elétrica;
7. Gestão de conflitos institucionais, jurídicos, sociais, técnicos, etc. no projeto, instalação e operação das instalações;
8. Gestão de passivos ambientais em empresas do setor elétrico.

*Comitê C4 – Desempenho de
sistemas elétricos*

1. Técnicas e procedimentos para diagnóstico e mitigação de problemas de qualidade de energia; curvas de sensibilidade e suportabilidade de equipamentos e processos industriais; impactos econômicos associados a falta da qualidade do fornecimento. Técnicas para diagnóstico e compartilhamento de responsabilidade sobre emissões de distúrbios de QEE; regulamentação; indicadores e gestão; estudo de casos;
2. Impacto da integração de instalações não lineares, tais como, fontes renováveis alternativas e geração distribuída, particularmente de complexos eólicos e solares, elos CC e equipamentos FACTS no desempenho do sistema elétrico;
3. Análise das causas e efeitos de sobretensões temporárias e transitórias nos sistemas elétricos de potência, em suas instalações e equipamentos; métodos para controle de sobretensões; impacto das sobretensões transitórias no desempenho dos equipamentos e instalações; métodos para avaliação destes impactos;
4. Melhoria nos modelos, ferramentas computacionais e algoritmos para estudos dinâmicos e transitórios. Ênfase na integração de fontes renováveis alternativas, particularmente de usinas eólicas e solares no sistema de transmissão; Cossimulação (dinâmica e transitória); Experiência no uso de simulação em tempo real; Aplicativos e algoritmos de PMUs; estudos de casos;
5. Aplicação de dispositivos para controle de sobretensões; novas tecnologias na coordenação do isolamento; medição de transitórios eletromagnéticos;

6. Estudos e pesquisas do impacto das descargas atmosféricas no desempenho de sistemas elétricos. Aplicação de para-raios em linhas de transmissão; desenvolvimento de modelos e metodologia para análise do desempenho de linhas e subestações frente a descargas atmosféricas diretas e indiretas; mitigação dos problemas; critérios e medidas;
7. Campos elétrico e magnético provenientes de instalações CA e CC do sistema elétrico; Interferência eletromagnética nas instalações; metodologias para cálculo, medição e mitigação dos efeitos adversos.

*Comitê C5 – Mercados de
eletricidade e regulação*

1. Integração energética dos países da região, interconexões dos sistemas elétricos, interações entre os mercados de eletricidade e gás natural, etc.;
2. Planejamento da expansão da geração sob critérios de sustentabilidade econômico, social e ambiental;
3. Expansão do mercado livre;
4. Aperfeiçoamento do sistema de leilão de preços;
5. Formação dos preços da energia;
6. Financiamento do sistema elétrico;
7. Gestão do lado da demanda;
8. Introdução da tecnologia de armazenamento;
9. Gestão de risco na comercialização de energia;
10. Impacto regulatório nos mercados de redes inteligentes;
11. Concorrência para o envio de energias renováveis flutuantes, prioridades, experiências.

*Comitê C6 – Sistemas ativos
de distribuição e recursos
energéticos distribuídos*

1. Aplicações de armazenamento de energia em redes de distribuição;
2. Avaliação da geração distribuída considerando casos reais de aplicação em redes de distribuição e sistemas isolados (eletrificação rural);
3. Gestão operacional de redes inteligentes, incluindo microrredes;
4. Novos mercados de energia transativa e resposta à demanda incentivada por tarifas;
5. Integração de veículos elétricos na rede de distribuição;
6. Tecnologias emergentes em redes elétricas inteligentes (Smart Grid).

*Comitê D1 – Materiais e
técnicas de ensaios emergentes*

1. Desenvolvimento/atualização de metodologias de ensaio e/ou calibração para ensaios em equipamentos elétricos;
2. Novas técnicas de diagnóstico não invasivo e desempenho de materiais e equipamentos elétricos e energéticos;
3. Monitoramento on-line do diagnóstico das condições do equipamento. Técnicas, calibração e experiências na área;
4. Validação de desempenho laboratorial de novos materiais para o sistema eletroenergético;
5. Introdução, impacto e validação de novos materiais no sistema eletroenergético.

*Comitê D2 – Sistemas de
informação e telecomunicação
para sistemas elétricos*

1. Segurança da Informação (Cibersegurança) aplicada a sistemas elétricos de potência: pessoas, processos e tecnologia;
2. Computação em nuvem para sistemas operacionais e de missão crítica;
3. Virtualização de servidores e serviços de rede;
4. Sistemas de Comunicação de Transmissão de Pacotes (PSN) para Redes de Alta e Extra Alta Tensão;
5. Aplicações *Blockchain* no setor elétrico: Gestão de Ativos, Comercialização de Energia, Sistemas de Medição de Energia Comercial, Medição Inteligente;
6. Aplicações de inteligência artificial para aumentar a eficiência operacional;

7. Impactos nos processos e na rede de Telecomunicações e Tecnologia da Informação durante a pandemia;
8. Aplicações de teleproteção e proteção diferencial de linha via rede IP;
9. Redes de telecomunicações para redes inteligentes;
10. Perspectivas e aplicações da Rede 5G para o setor elétrico;
11. Aplicativos para uso de Realidade Virtual ou Aumentada no setor elétrico;
12. Aplicações de Internet das Coisas (IoT) no setor elétrico;
13. Aplicações de análise de dados, inteligência artificial e aprendizado de máquina para apoiar a operação e manutenção do sistema elétrico de energia;
14. Computação em Nuvem;
15. Utilização de tecnologias capacitadoras para manutenção preditiva no setor elétrico.

CERIMÔNIA DE ABERTURA

Em conjunto com a Cerimônia de Abertura pelas autoridades da Região, uma Conferência Técnica será realizada por um renomado especialista internacional do CIGRE.

FÓRUM DAS NAÇÕES

Especialistas da Ibero-América realizarão palestras sobre temas atuais de interesse geral para a Região.

Cada apresentação terá a duração de 20 minutos e haverá um espaço final de 20 minutos para comentários e / ou perguntas dos participantes.

ExpoERiac

Em paralelo com o ERIAC será realizada uma “Exposição de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica – Tecnologias, Equipamentos e Serviços”, cujo principal objetivo é tornar conhecidos equipamentos e serviços que atualmente ou no curto prazo constituam novidades significativas para essas atividades.

Para possíveis patrocínios e maiores detalhes, as empresas são convidadas a entrar em contato com Comitê Organizador do XIX ERIAC por meio do e-mail abaixo:

e-mail: xixeriac@itaipu.gov.br

WEB SITE DO XIX ERIAC

Será acessado a partir do endereço: www.xixeriac.com.br

Nele serão divulgadas notícias e informações para os interessados no evento.

VISITAS TÉCNICAS

Serão confirmadas no Boletim 2.

PROGRAMA GERAL DO XIX ERIAC

Horário	Sábado (20/05)	Domingo (21/05)	2.ª feira (22/05)	3.ª feira (23/05)	4.ª feira (24/05)	5.ª feira (25/05)
9h - 10h30	Montagem ExpoERiac	Reunião Ordinária RIAC parte 2	Sessões Técnicas (4x15' apresentações + 30' debates)			Visita Técnica (será confirmada no Boletim 2)
10h30 - 11h			Intervalo			
11h - 12h30			Sessões Técnicas (4x15' apresentações + 30' debates)			
12h30 - 13h30			Almoço	Almoço	Almoço	
13h30 - 14h					Sessões Técnicas (4x15' + 30')	
14h - 15h				Sessões Técnicas (4x15' + 30')		Visita Técnica (será confirmada no Boletim 2)
15h - 15h30				Intervalo		
15h30 - 16h				Intervalo	Intervalo	
16h - 16h30	Reunião Ordinária RIAC parte I	Inscrições Acreditações	Sessões Técnicas (4x15' + 30')		Fórum das Nações	
16h30 - 17h						
17h - 17h30						
17h30 - 18h			Reunião do Comitê Técnico		Intervalo	
18h - 18h30					Cerimônia de Encerr./ Entrega Prêmios ERIAC	
18h30 - 19h						
19h - 19h45		Cerimônia de Abertura	Autoridades			
19h45 - 20h15			Conf. Téc.			
20h15 - 20h30		Abertura ExpoERiac				
20h30 - 21h		Coquetel de Boas-vindas				
21h - 21h45					Jantar de Confraternização	
21h45 - 23h						
23h - 23h30						