

Aplicações do Plexos em simulações do SIN

Roberto Brandão (Gesel)

11/11/2025

Sumário

1. Introdução
2. Aplicações do Plexos no SIN
3. Novas horizontes para simulações
4. O *Dataset* do SIN

1. Introdução

O uso do Plexos em simulações do SIN foi desenvolvido pelo GESEL em diversos projetos de P&D:

- Plexos permitiu formular e testar hipóteses que não podem ser enfrentadas pela atual cadeia oficial de modelos de planejamento energético;
- A apresentação vai percorrer algumas das pesquisas, mostrar os avanços obtidos e as possibilidades de aplicação.

2. Aplicações do Plexos no SIN

Projeto: A Viabilidade das Usinas Reversíveis no SIN (CPFL 2019-21)

- Reprodução do PDE 2029 no Plexos;
- Simulação da expansão do SIN ao mínimo custo no horizonte de 2040.
- Mostrou que o armazenamento hídrico é economicamente vantajoso do ponto de vista sistêmico: potência firme e redução de curtailment em um sistema com penetração crescente de renováveis.



2. Aplicações do Plexos no SIN

Highlights Técnicos

A Viabilidade das Usinas Reversíveis no SIN (CPFL 2019-21):

- UHEs e UTEs simuladas individualmente;
- Carga horária por subsistema baseada no histórico do ONS;
- Séries geração eólica potencial horária baseadas em dados históricos (ERA 5) calibrados contra a operação do SIN (ONS);
- Séries históricas de vazões naturais afluentes diárias (por usina);
- Ootimização da expansão e da operação do sistema;
- Constatado que simulações cronológicas e horárias percebem menor produtividade do SIN em relação a simulações não cronológicas e por patamares de carga.

2. Aplicações do Plexos no SIN

Projeto: Baterias de Água (EDP 2023)

- Uso do Plexos para confrontar os benefícios sistêmicos do armazenamento hídrico com o benefício financeiro para o empreendedor no modelo comercial vigente.
- Proposta de remuneração para UHR através de receitas fixas com repasse do benefício da arbitragem para o sistema. Foi o modelo adotado pelo MME para o Leilão de Capacidade para Armazenamento.

Remuneração de projetos de
armazenamento de grande porte

Roberto Brandão
Fabio Diuana
Murilo Miranda
Victor Gomes

TDSE
Texto de Discussão do Setor Elétrico
Nº 124

julho de 2023
Rio de Janeiro

2. Aplicações do Plexos no SIN

Highlights Técnicos

Baterias de Água (EDP 2023):

- Simulação do Mercado de Curto Prazo;
- Resultado financeiro estimado pelo PLD;
- Configuração do Sistema atualizada para o último PDE.

2. Aplicações do Plexos no SIN

Projeto: Manual de UHR (State Grid 2024)

- Simulações no Plexos permitem medir o benefício para o SIN de um projeto de armazenamento e o tempo de descarga.
- Metodologia do Custo de Referência do Armazenamento.
- Seleção de sítios e configuração de projetos;
- Altura ótima da barragem;
- Capacidade instalada ótima.

Manual

de Inventário de Usinas
Hidrelétricas Reversíveis

Projeto P&D:

Desenvolvimento e Aplicação de um
Manual de Referência para Projetos de
Usinas Hidrelétricas Reversíveis

Coordenação:

Roberto Brandão, Paulo Barbosa, Sergio Bajay
Afonso, H. M. Santos e João Carlos Mello



Programa de Pesquisa,
Desenvolvimento e Inovação



2. Aplicações do Plexos no SIN

Highlights Técnicos

Projeto: Manual de UHR (State Grid 2024)

- Atualizações sucessivas do SIN: PDE 2030, 2031, 2032 (cadernos);
- Plano de Expansão do SIN utilizando cronologia por amostragem;
- Simulação da expansão: uma semana representativa operativa por mês (importante para avaliar o valor do armazenamento semanal);
- Patamares de carga sequenciais tornam o modelo computacionalmente viável.

2. Aplicações do Plexos no SIN

Projeto: Manual de UHR (State Grid 2024)

- Configuração e seleção de projetos econômica aplicada a aproveitamentos de UHR utilizando UHE como reservatório inferior.
- Identificação de 5.500 sítios;
- Configuração ótima para cada um deles;
- Lista ordenada do melhor para o pior.



Research Papers

Mapping the potential for pumped storage using existing lower reservoirs



Julian David Hunt^{a,b,*}, Benoit Lagore^c, Roberto Brandão^d, Fabio A. Diuana^d, Emanuele Quaranta^e, Murilo de Miranda^d, Ana Lacorte^c, Paulo Sergio Barbosa^f, Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas^d, Behnam Zakeri^b, Nivalde José Castro^d, Yoshihide Wada^a

^a Climate and Livability Initiative, Center for Desert Agriculture, Biological and Environmental Science and Engineering Division, King Abdullah University of Science and Technology, Thuwal, Saudi Arabia

^b International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria

^c Electric Sector Study Group (GESEL), Brazil

^d Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

^e European Commission Joint Research Centre, Italy

^f Federal University of Alfenaz, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:

Pumped hydropower storage
Seasonal storage
Economic analysis
Brazilian energy sector
Renewable energies

ABSTRACT

The increasing utilization of wind and solar power sources to lower CO₂ emissions in the electric sector is causing a growing disparity between electricity supply and demand. Consequently, there is a heightened interest in affordable energy storage solutions to address this issue. Pumped Hydropower Storage (PHS) emerges as a promising option, capable of providing both short and long-term energy storage at a reasonable cost, while also offering the advantage of freshwater storage. To identify potential PHS locations in Brazil existing hydroelectric reservoirs as the lower reservoirs, we employed an innovative methodology that combines (i) plant-siting model that leverages high-resolution topographical and hydrological data to identify the most promising sites for further studies. (ii) An economic methodology was applied to configure PSH projects identified by the plant-siting model in terms of their installed capacity and discharge time, and to select the most attractive projects. (iii) A comprehensive analysis of the socio-environmental impacts of the projects was carried out, which enables the elimination of projects with severe impacts. Results created a ranking of 5600 mutually exclusive projects by net present value (NPV). The highest NPV is 2145 USD which refers to a PHS plant in the Doce Basin and Salto Grande dam as the lower reservoir. The upper reservoir stores 0.36 km³ of water and a 75 m high dam, the PHS has a 2 km tunnel, a 1 GW power capacity and discharge rate of 220 h. The paper shows a vast potential for weekly, monthly, and seasonal PHS with existing lower reservoirs in Brazil.

1. Introduction

The need to reduce CO₂ emissions and alleviate the effects of climate change has led to an increased demand for short and long-term energy storage services. Among the available energy storage technologies for grid management, pumped hydropower storage (PHS) systems stand out as the most mature and extensively employed method for large-scale electricity storage [1–8]. The total installed PHS energy producing capacity is roughly 165 GW, and it accounts for the great bulk of global electricity storage, with 25 GW defined as mixed plants that are also conventional reservoir-based hydropower plants [9]. PHS is sometimes regarded as a technology capable of storing energy for daily or weekly

cycles, as well as up to months [10–15]; nevertheless, the technology can also work over annual and pluri-annual cycles [16,17]. Given the ongoing cost reductions in competing technologies that enable daily energy storage (especially batteries), PHS is expected to gain traction as a seasonal energy and water storage alternative. Other seasonal energy storage alternatives are described in [18–22].

PHS plants in the Europe, Japan and USA have seen an abrupt reduction in construction after the collapse of the Soviet Union in 1991 (Fig. 1). This is because of the cheap availability of natural gas in global markets. PHS then lost its position as the cheapest alternative to supply flexible electricity to natural gas [23]. In the current geopolitical landscape marked by the war in Ukraine, a substantial surge in natural gas

* Corresponding author.

E-mail address: julian.hunt@kaust.edu.sa (J.D. Hunt).

<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109047>

Received 24 June 2023; Received in revised form 10 September 2023; Accepted 16 September 2023

Available online 23 September 2023

2352-152X/© 2023 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

2. Aplicações do Plexos no SIN

Projeto: Baterias na transmissão (State Grid 2025)

- Simulação no Plexos da operação de BESS com as regras do LRCAP em 2030.
- Mensuração de benefícios (redução de CMO; redução de curtailment e vertimentos).
- Validação das regras do edital. Proposição de melhorias.

Operação de Baterias no
Sistema Interligado Nacional com
o Forte Crescimento da Geração Solar
(versão preliminar)

Roberto Brandão
Henrique Reis
Fernando França

TDSE
Texto de Discussão do Setor Elétrico
Nº 132

Janeiro de 2025
Rio de Janeiro

2. Aplicações do Plexos no SIN

Highlights Técnicos

Projeto: Baterias na transmissão (State Grid 2025)

- Reprodução do PEN 2023-27 (ONS);
- Dataset passa a ser *multi plano*: várias versões do PEN e do PDE no mesmo *dataset*.

2. Aplicações do Plexos no SIN

Projeto: Ciência de Dados e Desenhos de Mercado (Auren, em curso)

- Simulações no Plexos sobre impacto da flexibilidade hídrica em custos do SIN e na confiabilidade.
- Alteração da regulação do MRE (fator de modulação) pode engajar geradores a aumentarem a flexibilidade das UHEs.
- Simulações do impacto financeiro para cada UHE.

**Aumentando a Flexibilidade da Geração
Hidrelétrica do Sistema Interligado Nacional**

Roberto Brandão
Fernando França
Nivalde de Castro
Donato da Silva Filho
Ewerton Guarnier
Marcos Basile S. de Paula

TDSE
Texto de Discussão do Setor Elétrico
Nº 147

Setembro de 2025
Rio de Janeiro

3. Novos horizontes para simulações

No momento, estão sendo desenvolvidas simulações afeitas à operação do sistema.

- Representação da operação diária;
- Acoplamento de resultados de simulações oficiais da operação do SIN (Newave ou Decomp) com simulações usando o Plexos;
- Simulações de curto prazo, multi séries, de períodos longos (meses, um ano).

4. O Dataset do SIN

A parceria Energy Exemplar – GESEL visa viabilizar a introdução do Plexos no Brasil

- Um dos pontos críticos para viabilizar a difusão do Plexos é dispor de uma simulação de qualidade do Sistema;
- O dataset desenvolvido pelo GESEL será disponibilizado para possíveis usuários associado ao Plexos;
- Atualização de configurações do sistema sem alteração de dados e modelos criados pelo usuário.

OBRIGADO!

Roberto Brandão