



GESEL

Grupo de Estudos do Setor Elétrico

UFRJ

Avaliação de benefícios das usinas reversíveis no Brasil e modelagem do SIN no modelo Plexos

Gabriel Castro

Rio de Janeiro, 21/08/2019

Motivação

- Usinas hidrelétricas reversíveis são usadas em vários países, sendo praticamente a única tecnologia de armazenamento utilizada em larga escala no mundo.
- No Brasil, essa tecnologia não é difundida, pois, historicamente, os próprios reservatórios das hidrelétricas convencionais atuavam como armazenamento de energia plurianual.
- Essa situação está se alterando por diversas razões.

Motivação

- Além das vantagens energéticas, podem trazer outros benefícios, como postergação de investimentos em geração e/ou transmissão, reserva girante, serviços ancilares.
- Como quantificar esses benefícios esperados na operação do SIN?

Motivação

- Como quantificar esses benefícios esperados na operação do SIN?
 - Através da simulação do sistema com e sem a usina e comparação os custos.
 - Modelo escolhido: Plexos.

O que é o Plexos?

- Modelo de otimização para sistemas de energia elétrica, gás natural e água.
- Utiliza programação linear ou inteira mista, estocástica ou determinística.
- Módulos de simulação de longo, médio e curto prazos.

Por que o Plexos?

- Usado em diversos países com mais de 15 anos de desenvolvimento.
- Exemplos de instituições que usam:
 - NREL (National Renewable Energy Laboratory) – EUA;
 - AEMO (*Australian Energy Market Operator*);
 - *Coordinador Eléctrico Nacional* – Chile;
 - ESKOM – África do Sul.

Por que o Plexos?

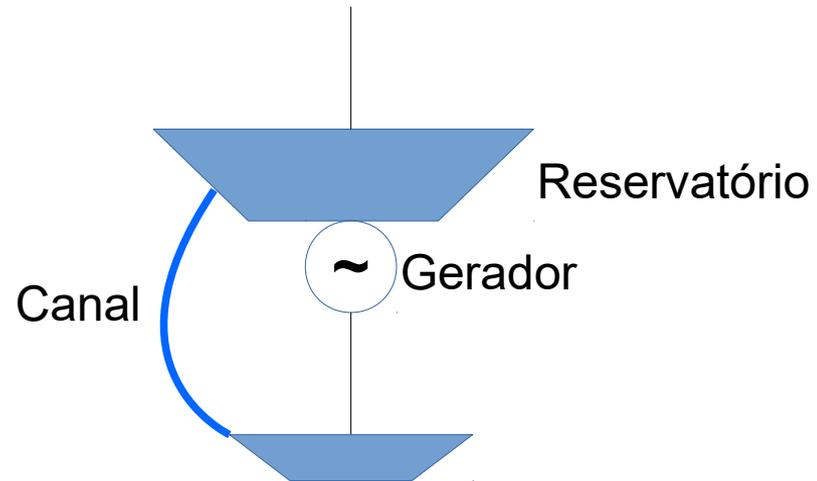
- Para quantificar os benefícios das usinas hidrelétricas reversíveis no SIN, é necessário simular a operação de forma mais precisa possível.
- Dependendo do potencial de armazenamento da usina reversível, o benefício pode ser no curto prazo (horas), no longo prazo (meses) ou em ambos.
 - Boa precisão temporal é uma característica desejável. → Plexos suporta até menos de 1 minuto de precisão.

Plexos

- Representação de hidrelétricas de forma individualizada → Característica importante para avaliar armazenamento.
- Pode-se inserir restrições no modelo de forma bastante flexível.
- Flexibilidade para representar diferentes topologias de hidrelétricas.
- Três tipos de objetos:
 - Reservatório;
 - Gerador;
 - Canal → representa vertimento e outros desvios.

Plexos

Representação de uma UHE padrão



E no Brasil?

- Já usado no Brasil em trabalhos acadêmicos. Exemplos:
 - Saporta, 2017.
 - Diuana, 2017.
 - Miranda *et al.*, 2017.
 - Castro, 2015. 
 - Cavados, 2015.
 - De Azevedo, 2012.
- Arquivos usados por Castro estão disponíveis. Assim, não será necessário montar a base de dados a partir do zero.

Plexos

- Diferentemente de outros modelos usados no Brasil, o modelo Plexos não se baseia na PDDE
- Até a versão 7.5: Algoritmo de agregação para redução da árvore de cenários.
 - Funciona bem para simulações considerando períodos relativamente curtos (1 ou 2 anos).
 - Simplificações, tais como volume armazenado final = inicial.
- A partir da versão 8: Nova metodologia “Rolling horizons”.

Metodologia

- Representar o SIN no horizonte do PDE.
- Definição de usinas reversíveis candidatas.
- Simulação do sistema sem e com uma usina candidata → módulos de médio prazo e curto prazo (MT e ST)

Módulos do Plexos

- *Long Term* – LT: Longo prazo, com minimização dos custos de expansão + operação.
- *Projected Assesment of System Adequacy* – PASA: Otimiza eventos de manutenção programada. Calcula índices de confiabilidade como LOLP.
- *Medium Term* – MT: Com horizonte de médio prazo, com objetivo de definir os níveis de armazenamento ótimos.
- *Short Term* – ST: Com horizonte de curto prazo, recebe os dados de valor da água e metas de armazenamento da simulação MT e realiza a simulação cronológica, com restrições adicionais.

Metodologia

- Cálculo dos custos evitados pela UHR (benefícios).
- Se custos evitados > custos da UHR, empreendimento é viável.
- Custos evitados: redução no custo de operação, postergação de investimento em capacidade, postergação de investimento em transmissão, etc.

Metodologia

- Para estimar o benefício energético, verifica-se a diferença no custo de operação entre as simulações com e sem a usina avaliada. No caso da usina ser pequena em relação ao sistema, pode-se avaliar sua contribuição marginal:

$$V_E = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times G_i}{\sum_{i=1}^n G_i}$$

Onde:

V_E : Valor da energia, em R\$/MWh;

P_i : Preço da energia (CMO), em R\$/MWh;

G_i : Energia gerada pela usina no período i , em MWh

Metodologia

- Para estimar o valor proveniente de capacidade firme, primeiro é necessário estimar o crédito de capacidade.
- O crédito de capacidade é a contribuição da usina para o atendimento à demanda com confiabilidade.
- A metodologia mais robusta para essa estimativa é a ELCC (*Effective Load Carrying Capability*), que consiste em igualar o o valor esperado de energia não suprida (LOLE) do sistema com adição de uma termelétrica convencional ao LOLE com a adição da usina avaliada.

$$LOLE_{UC} = LOLE_{GC}$$

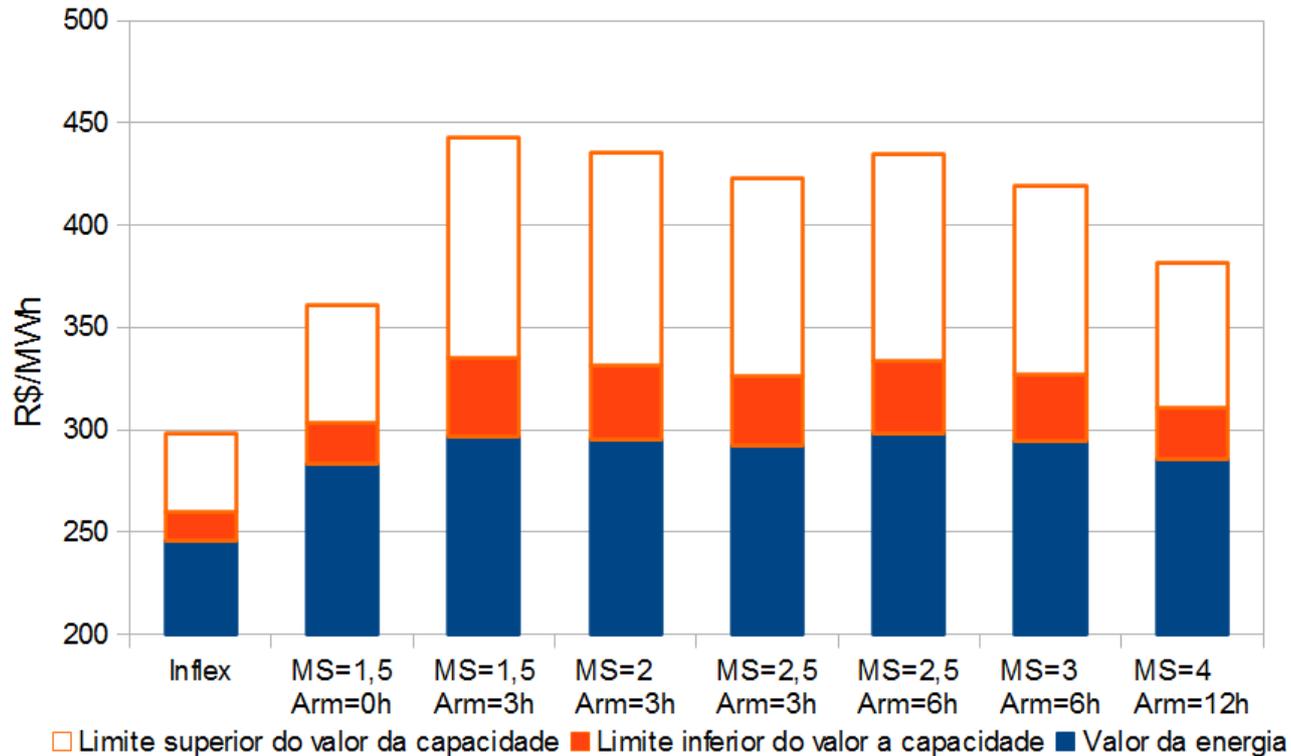
Metodologia

- Há formas mais simples de estimar o crédito de capacidade.
- Obter o FC esperado nas horas mais críticas para o sistema (exemplos: 10 horas, 1% ou 10% das horas do ano).
- Segundo Madaeni *et al.* (2011), considerar as 10 horas de maior demanda líquida (demanda bruta - eólicas) do ano é a forma que mais se aproxima dos resultados do ELCC.
- Como não há um mercado de capacidade no Brasil, foram usados os valores de Denholm *et al.* (2013a):
 - 55 a 212 US\$/kW/ano ou 119 a 458 R\$/kW/ano (em 2015).

Avaliação dos benefícios de CSP

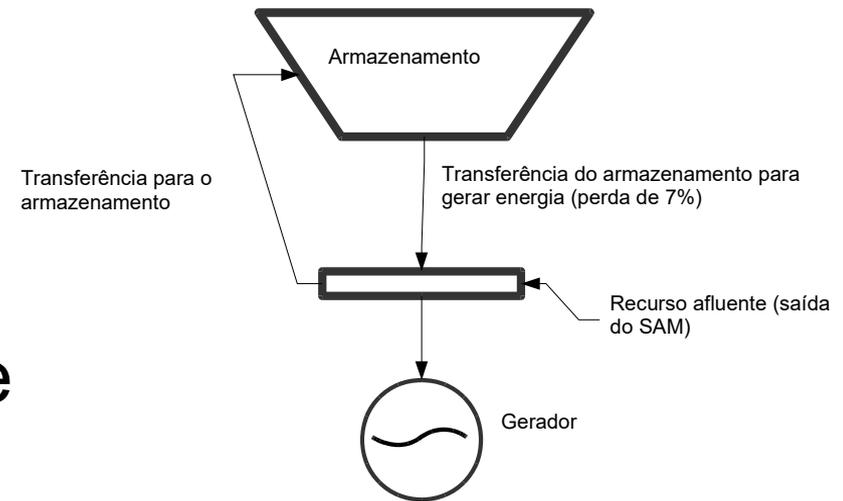
- Objetivo do trabalho era quantificar os benefícios econômicos do armazenamento das usinas heliotérmicas no SIN.
- Foram avaliados tanto os benefícios energéticos (geração evitada), quanto de potência (crédito de capacidade).
- Pode-se verificar quais configurações eram mais vantajosas para o SIN, em termos de capacidade de armazenamento e múltiplo solar (proporção de espelhos em relação à potência).

Avaliação dos benefícios de CSP



Plexos

- Possui flexibilidade na representação do sistema.
 - Por exemplo, para representar usinas heliotérmicas (CSP) pode-se usar dois reservatórios conectados. (Castro 2015; Denholm e Hummon 2012)



Desafios

- Grande quantidade de dados necessária para a montagem do problema.
 - Carga, vento, radiação solar, hidrologia, características técnicas das usinas, restrições operativas, etc.
- Tempo computacional

Desafios

Algumas características representadas:

- Vazão máxima permitida por usina.
- Taxa máxima de variação de defluência.
- Tempo de viagem entre reservatórios.
- Máxima variação de potência e outras restrições operativas por UTE.
- Curva de carga.
- Perfil de geração de usinas eólicas e fotovoltaicas, por região.
- Custo variável das usinas termelétricas
- Volume dos reservatórios
- Restrições de vazão mínima
- Usinas hidrelétricas individualizadas e ordenadas
- Capacidade de transmissão entre regiões

Desafios

- Encontrar os valores ideais dos parâmetros de simulação (médio e curto prazo).
 - Quantidade de cenários
 - Quantidade de patamares
- Escolha entre desempenho e precisão nos resultados.

Referências (1/2)

- Azevedo, Miguel Brilhante Dias Gomes de. 2012. “Modelling the North-Northeastern Region of the Brazilian Electricity System-Emphasizing the Ancillary Structures”. Universidade Técnica de Lisboa. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395145132249/Tese.pdf>
- Castro, Gabriel Malta. 2015. “Avaliação do valor da energia proveniente de usinas heliotérmicas com armazenamento no âmbito do sistema interligado nacional”. Universidade Federal do Rio de Janeiro. http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/castro_malta.pdf.
- Cavados, Gabriel de Azevedo. 2015. Análise do impacto da introdução das fontes intermitentes no setor elétrico brasileiro: estudo de caso da região Nordeste. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.
- Denholm, Paul, e Marissa Hummon. 2012. “Simulating the Value of Concentrating Solar Power with Thermal Energy Storage in a Production Cost Model”. Technical Report NREL/TP-6A20-56731. Golden, Colorado, EUA: NREL. <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56731.pdf>.

Referências (2/2)

- Diuana, Fabio Amendola. 2017. Estudo do Impacto da Penetração Eólica no Subsistema Sul do Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.
- Miranda, Raul; Soria , Rafael; Schaeffer, Roberto; Szklo Alexandre; Saporta, Luis. Contributions to the analysis of “Integrating large scale wind power into the electricity grid in the Northeast of Brazil” [Energy 100 (2016) 401–415], Energy, Volume 118, 2017, Pages 1198-1209, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.138>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216315845>)
- Saporta, Luis Alberto da Cunha. 2017. “O papel dos reservatórios de hidroelétricas na integração da geração eólica no SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL”. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. <http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/luisaporta.pdf>.