



## **Usinas Hidrelétricas Reversíveis Sazonal do Barreiro: Aumentando o Armazenamento Hídrico e Energético do Rio Paraíba do Sul**

### **Objetivo do Trabalho**

O Brasil gera a maior parte de sua eletricidade com a fonte hídrica, o que tem benefícios, como o menor custo, porém sofre com a imprevisibilidade de geração, vulnerabilidade às mudanças climáticas e com os múltiplos usos da água. Em anos com baixa disponibilidade hídrica, a água armazenada nos reservatórios de acumulo é utilizada para garantir a geração elétrica. Como a geração elétrica do país depende muito da geração hidrelétrica, há momentos em que a água armazenada é utilizada para garantir a geração elétrica e o abastecimento hídrico para atividades humanas e para o meio ambiente é comprometido. Por exemplo, em 2013 e 2014 grande parte da água armazenada no Reservatório de Paraibuna, na cabeceira da Bacia do Rio Paraíba do Sul, foi utilizada para gerar eletricidade devido à crise energética. Em janeiro de 2015 o reservatório ultrapassou o nível morto, restringindo a água para o abastecimento hídrico, e comprometendo a qualidade da água no Rio Paraíba do Sul (ANA, 2015a). Um cenário parecido está acontecendo na bacia do Rio São Francisco. Caso a UHE de Sobradinho continue turbinando uma média de 950 m<sup>3</sup>/s para a geração elétrica, o abastecimento hídrico na bacia do Rio São Francisco pode ser comprometido nos próximos anos (ANA, 2015b). Desta forma, medidas para diminuir a vulnerabilidade do setor elétrico tem um impacto direto na disponibilidade de recursos hídricos do país.

O objetivo desse artigo é mostrar que Usinas Hidrelétricas Reversíveis Sazonais, além de aumentar a capacidade de armazenamento de água que uma bacia, tem o potencial de aumentar a capacidade de armazenamento energético do Brasil, reduzindo a vulnerabilidade do setor elétrico; descentralizar o potencial de armazenamento energético, aumentando a segurança do setor elétrico; remover a intermitência de fontes renováveis; diminuir custos com linhas de transmissão; permitir a utilização dos reservatórios convencionais como hidrovias e viabilizar a construção de novas usinas hidrelétricas na Amazônia.

### **Metodologia Utilizada**

A combinação de reservatórios de armazenamento e a fio d'água nas bacias hidrográficas brasileiras foi projetada para gerar uma quantidade constante de eletricidade ao longo do ano. De acordo com este esquema, durante o período chuvoso (dezembro a abril), a

eletricidade é gerada e a água é direcionada para encher os reservatórios de armazenamento. Durante o período de seca (maio a novembro), a água armazenada é usada para gerar eletricidade e o nível das barragens é reduzido. Este esquema permite que as hidrelétricas em cascata em uma bacia hidrográfica gerem uma quantidade relativamente constante de energia durante o ano, aumentando a utilização da capacidade instalada de geração, reduzindo o custo da eletricidade na bacia hidrográfica.

Esta abordagem de geração hidrelétrica constante nas bacias hidrográficas brasileiras está atingindo seu limite viável. Reservatórios a fio d'água, que não têm capacidade de armazenamento e geram energia em proporção ao fluxo do rio, estão sendo construídos na região amazônica devido à sua formação geológica plana. Está previsto um aumento na capacidade hidrelétrica brasileira de 30% até 2024, principalmente na região Amazônica. Porém, o aumento da capacidade de armazenamento será somente de 0,9%. Sem um aumento proporcional da capacidade de armazenamento, os reservatórios de acúmulo não terão capacidade suficiente para armazenar energia até ao final do período seco (EPE e MME, 2015).

Usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) são amplamente utilizadas para armazenar energia (Canales *et al.* 2015). À noite, quando a demanda de eletricidade é baixa, o excesso de geração é armazenado com o bombeamento de água de um reservatório inferior para um reservatório superior. Durante o dia, quando a demanda aumenta, a energia armazenada é transformada em eletricidade (Nacif *et al.* 2015). Porém, há uma perda de 15% a 30% durante o processo de armazenamento e a geração elétrica em sistemas de UHR (Ricetta *et al.* 2015).

A combinação de uma UHR de larga escala (Usina Hidrelétrica Reversível Sazonal - UHRS), e uma série de usinas em cascata (Hunt *et al.* 2014a), potencializa a operação da UHRS e das usinas em cascata. Uma UHRS construída perto de um reservatório próximo da cabeceira de um rio, pode alterar a sazonalidade da geração hidrelétrica da usina e minimizar o vertimento nas usinas a jusante. UHRS armazenam energia potencial durante o período úmido ou durante anos com alta disponibilidade hídrica e geram eletricidade durante o período seco ou em anos com baixa disponibilidade hídrica. Além de armazenar o excesso da energia gerada na Amazônia por barragens a fio d'água durante o período chuvoso em outras regiões, UHRS podem ser usados para armazenar o excedente de geração proveniente de fontes renováveis intermitentes, como a eólica e solar mantendo a mesma eficiência de armazenamento.

UHRSs consistem na criação de um novo reservatório artificial, com 200 metros (ou mais) a mais que o reservatório inferior, localizado perto do topo de uma série de hidroelétricas em cascata. Além disso, a distância entre os dois reservatórios deve ser menor do que 20 km e o reservatório superior deve ter uma formação geológica impermeável e estável. Quanto maior a diferença de altura entre os dois reservatórios, mais finos os tubos serão para gerar a mesma

quantidade de energia e menor será a área inundada para o armazenamento energético. Quanto maior a variação da altura no reservatório superior, menor será a área inundada e evaporação. Essa variação pode chegar a 250 metros, diminuindo consideravelmente a área alagada por água e energia armazenada (Hunt *et al.* 2014b).

A Figura 1 apresenta um diagrama mostrando a combinação de UHRS com hidrelétricas em cascata na Bacia do Rio Paraíba do Sul. A UHRS do Barreiro tem como o reservatório de Funil como o reservatório inferior da UHRS e o Reservatório do Barreiro como reservatório superior da UHRS. A próxima seção dará mais detalhes sobre a UHRS do Barreiro.

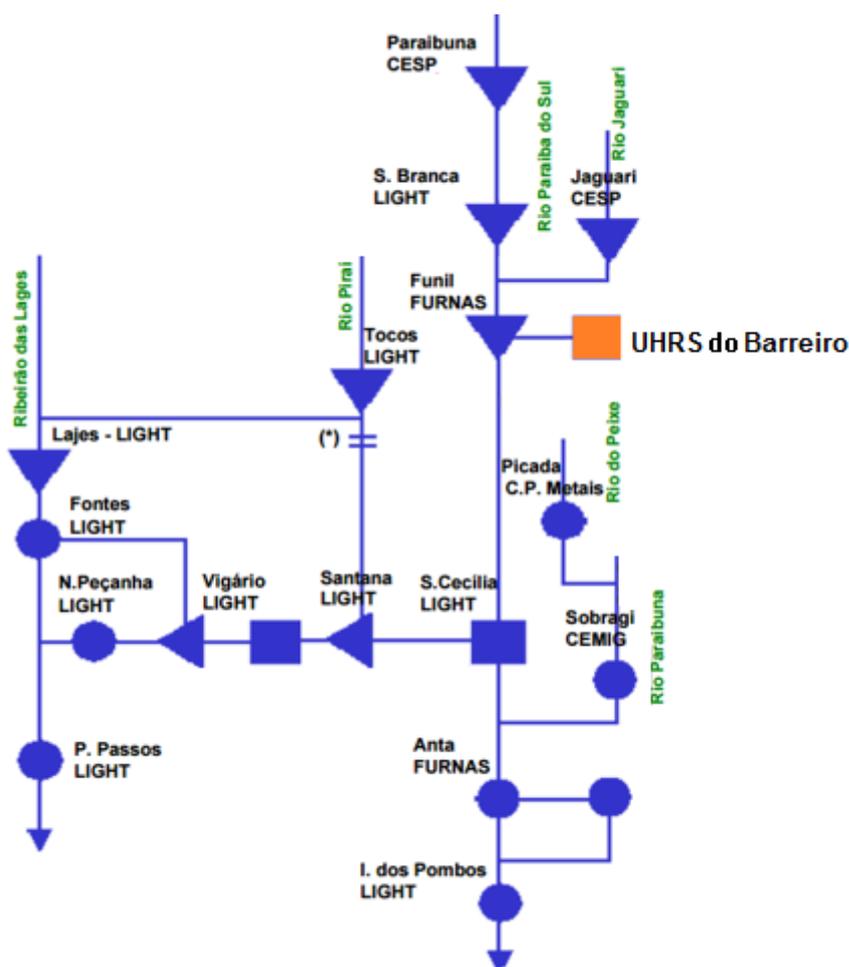


Figura 1: Diagrama das usinas hidrelétricas na Bacia do Rio Paraíba do Sul (ONS, 2016) e a UHRS do Barreiro proposta.

### Resultados Obtidos ou Esperados

A UHRS do Barreiro (Figura 2) proposta tem o benefício de estar entre os centros de maior consumo de energia do Brasil, as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Além de armazenar energia próximo da demanda e diminuir gargalos de transmissão no Sistema

Interligado Nacional (SIN), essa UHRS pode ser utilizada para suprir as necessidades de ponta do Rio e de São Paulo. Outro benefício importante é a capacidade de armazenar água para o abastecimento da cidade do Rio de Janeiro, em caso de uma forte estiagem.

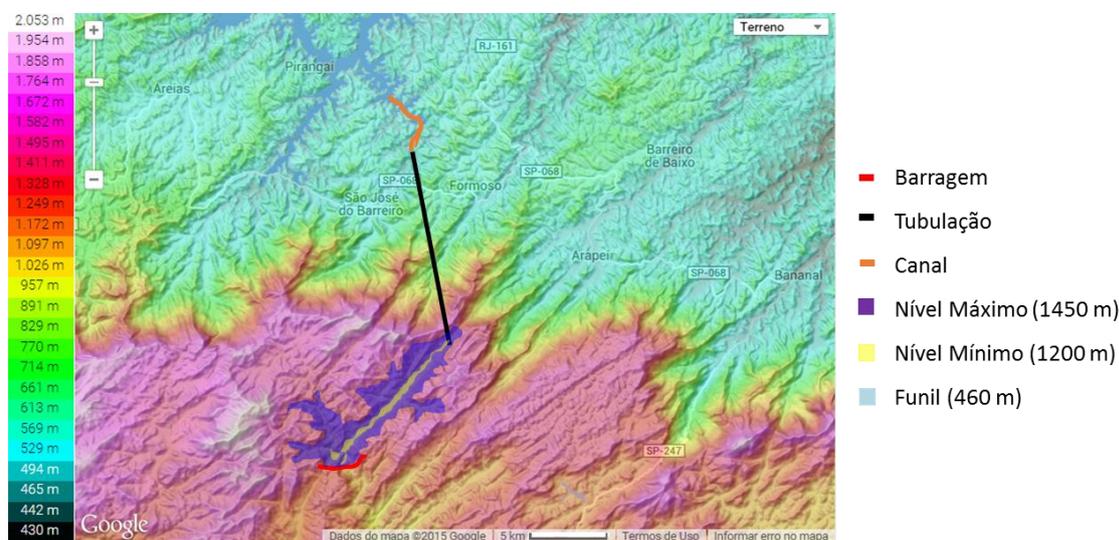


Figura 2: Representação gráfica da UHRS do Barreiro em um mapa topográfico.

A UHRS do Barreiro consiste de um canal de 6 km, uma tubulação com 12 km, uma barragem com 3,5 km de comprimento e altura máxima de 270 m. A Tabela 1 mostra que a UHRS do Barreiro armazena 13 vezes mais água e 32 mais energia do que a UHE de Paraibuna e tem uma área de captação maior e área alagada menor.

Tabela 1: Comparação entre UHRS do Barreiro e UHE Paraibuna.

Usina	Volume Útil (hm <sup>3</sup> )	Área Alagada (km <sup>2</sup> )	Armazenamento (GWmed / % do SIN)	Área de Captação (km <sup>2</sup> )
UHRS Barreiro	4,000	20	15,9 / 5,5	19,200
UHE Paraibuna	2,636	177	4,45 / 1,5	5,800

### Conclusões/Recomendações

UHRS tem o potencial de diminuir a vulnerabilidade do setor elétrico e assim diminuir o risco de ocorrer futuras crises energéticas e, conseqüentemente, crises hídricas. A UHRS do Barreiro em particular tem os benefícios de: 1) aumentar a capacidade de armazenamento hídrico do Paraíba do Sul em 4,000 hm<sup>3</sup>; 2) aumentar a capacidade de armazenamento energético do Brasil em 5,5%; 3) armazenar energia próximo da demanda (São Paulo e Rio de Janeiro) diminuindo assim gargalos de transmissão no país; 4) gerar eletricidade durante a ponta para São Paulo e Rio de Janeiro. Os maiores desafios para a implementação de UHRS no Brasil é a integração do planejamento dos setores hídricos e elétrico, a criação de regulações para

possibilitar o financiamento de serviços de armazenamento energético e desenvolver mecanismos para reduzir impactos socioambiental para a implementação de UHRS.

### **Referencias Bibliográficas**

ANA, “Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul”, Brasília, vol. 10, n. 10, Outubro de 2015a.

ANA, “Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do Rio São Francisco”, Brasília, vol. 10, n. 8, Agosto de 2015b.

Canales, F., Beluco, A., Mendes, C., “Usinas hidrelétricas reversíveis no Brasil e no mundo: aplicação e perspectivas”, Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 19 (2), pg. 1230-1249, 2015.

Ricetta, M., Ohnuma, A., Fortes, J., “Usinas Hidrelétricas Reversíveis e o nexa água e energia”, XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. , de 22 a 27 de Novembro, Brasília, 2015.

EPE, MME, “Plano Decenal de Expansão de Energia – 2024”, Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2015.

Hunt, J., Freitas, M., Pereira Júnior, A., “Enhanced-Pumped-Storage: Combining pumped-storage in a yearly storage cycle with dams in cascade in Brazil”, Energy, vol. 78, pg. 513-523, 2014a.

Hunt, J., Freitas, M., Pereira Júnior, A., “Aumentando a Capacidade de Armazenamento Energético do Brasil”, IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Florianópolis, Agosto, 2014b.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico, <http://www.ons.org.br>, 2016.

Nacif, L., Locatelli, F., Camargo, R., “Análise da Repotenciação de Usinas Hidrelétricas do SIN Utilizando Unidades Geradoras Reversíveis” no XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, Outubro de 2015.