

OPERAÇÃO DE TURBINAS COM ROTAÇÃO VARIÁVEL EM CENTRAIS COM TRANSMISSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA

Edson C. Bortoni, Diogo R. M. R. Luz, Oswaldo H. Souza Jr., Roberto T. Siniscalchi

Universidade Federal de Itajubá, Brasil, Itaipu Binacional, Brasil, Eletrobrás, Brasil

bortoni@unifei.edu.br, drluz@itaipu.gov.br, osvaldo@unifei.edu.br, rsinisca@eletrobras.com

INTRODUÇÃO

Centrais hidrelétricas desempenham um papel fundamental em qualquer matriz energética, posto que é uma fonte renovável e flexível. As usinas com reservatórios oferecem capacidade de armazenamento, possuem tecnologia madura, e são bem integradas aos sistemas de energia.

Nos estágios iniciais do desenvolvimento desta tecnologia, dava-se preferência aos locais de alta queda, os potenciais de média e baixa queda foram usados com passar do tempo. Atualmente, o número de novos locais viáveis está diminuindo, e a otimização das usinas existentes é fundamental.

Um modo de otimizar as centrais existentes é a operação de turbinas com rotação variável, principalmente, principalmente quando há variação significativa na queda de operação. Esta solução também é interessante em usinas reversíveis [1-4].

Ao variar-se a rotação, varia-se também a frequência de geração. Porém, quando a central é conectada a sistemas de transmissão em corrente contínua, certamente não importa qual a frequência de geração, uma vez que esta será convertida.

Neste sentido, este trabalho se utiliza das leis de semelhança para estimar os ganhos energéticos oriundos da operação de turbinas com rotação variável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Turbinas hidráulicas são similares quando suas dimensões são proporcionais. Desprezando a viscosidade e rugosidade da pás, tem-se:

$$\eta_2 = \eta_1 \quad (1)$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Onde η (%), Q , (m^3/s), n (r/min), D (m) e H (m), são rendimento, vazão, rotação, diâmetro e altura, para as condições 1 e 2.

Estas equações transformam dados de um modelo para dados de um protótipo. No entanto, nada impede que estas leis sejam usadas em uma mesma máquina, tomando como referência as condições nominais. Assim, pode-se obter:

$$n_2 = n_N (H_2/H_N)^{1/2} \quad (4)$$

$$Q_2 = Q (H_2/H_N)^{1/2} \quad (5)$$

A vazão e rotação são calculadas de acordo com a nova queda (H_2). A nova potência gerada será:

$$P_2 = P (H_2/H_N)^{3/2} \quad (6)$$

Em uma nova queda (H_2), menor que a queda nominal (H_N), é compreensível que a potência gerada (P_2) também seja reduzida. Entretanto, o rendimento da turbina permanece o mesmo, já que ela trabalha em uma rotação menor (n_2).

A metodologia desenvolvida será aplicada às máquinas da UHE Itaipu que geram em 50 Hz, e são em um sistema em 60 Hz, posto que são conectadas através de um link DC. Os dados das turbinas da central são mostrados na Tabela 1 e a variação de queda é mostrada na Figura 1.

Tabela 1. Dados das turbinas hidráulicas

Característica	50 Hz	60 Hz
Tipo	Francis	Francis
Potência nominal (MW)	715.0	715.0
Rotação nominal (r/min)	91.6	91.6
Rotação de trabalho (r/min)	90.9	92.3
Queda líquida nominal (m)	112.9	112.9
Queda líquida de trabalho (m)	118.4	118.4
Vazão nominal (m^3/s)	690	690

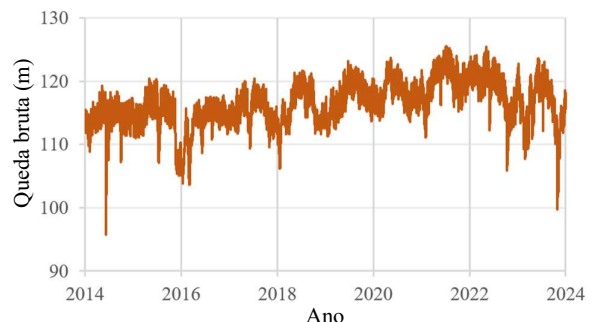


Figura 1- Variação de queda bruta em 10 anos.

RESULTADOS

As Figuras 2 e 3 mostram o comportamento do rendimento da turbina em função da vazão para diversas quedas, e para uma queda média e diferentes rotações, respectivamente.

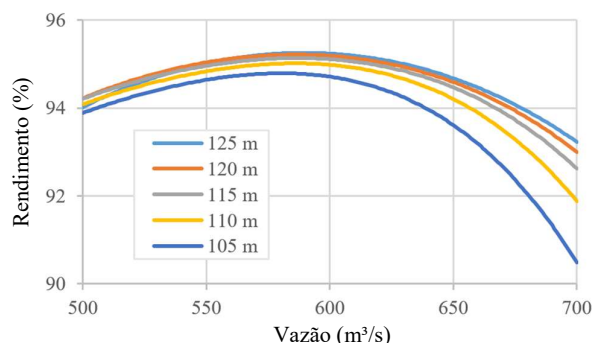


Figura 2 – Rendimento para diversas quedas.

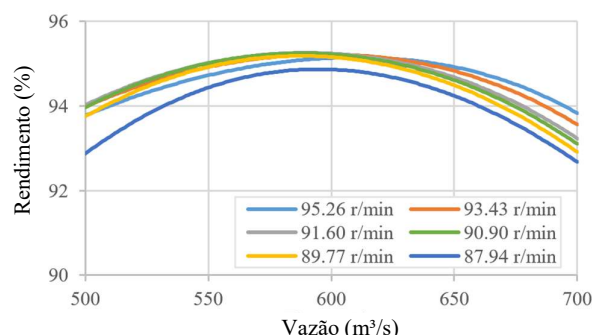
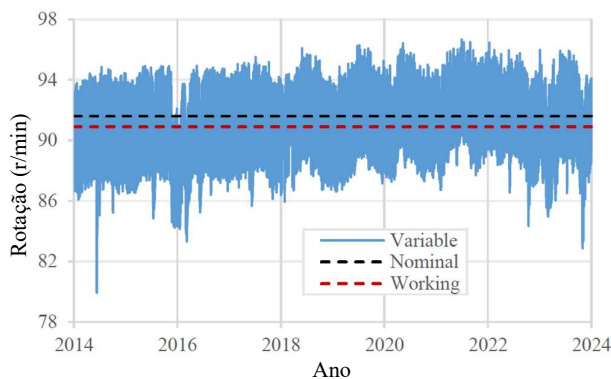


Figura 3 – Rendimento para diversas rotações.

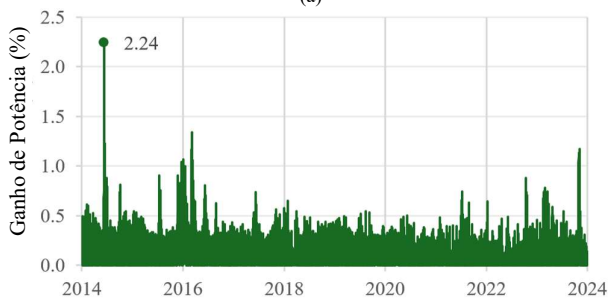
Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia apresentada visando a maximização da potência gerada é mostrado na Figura 4, para variação de rotação ao longo do tempo (a), ganho percentual de geração (b), e geração com rotação constante (linha tracejada) e com rotação variável (linha contínua), com detalhe para o máximo ganho.

CONCLUSÕES

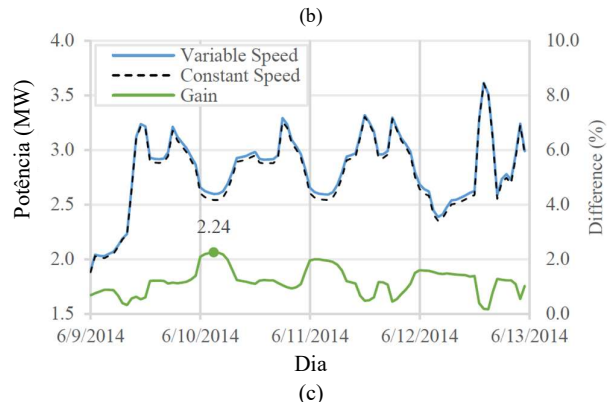
O objetivo do trabalho é mostrar os benefícios da rotação variável sobre o rendimento das turbinas hidráulicas, refletindo, em última análise, em aumento na geração total da central hidrelétrica. Observe, neste caso, que o ganho máximo de 2,24% e médio da ordem de 0,25%, o que pode parecer um pequeno número, mas significativo quando aplicado à geração anual da central. Em outros casos, no entanto, este ganho é maior.



(a)



(b)



(c)

Figura 4 – Resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- A. J. Macintyre (1983), “Máquinas motrizes hidráulicas”. Rio de Janeiro, Brazil, Ed. Dois
- E. C. Bortoni, Z. Souza, A. N. C. Viana, H. F. Villanova, A. J. J. Rezek, L. L. Pinto, R. T. Siniscalchi, R. A. Bragança, J. V. Bernardes Jr. (2019), “The benefits of variable speed operation in hydropower plants driven by Francis turbines,” *Energies*, vol. 12, n. 3719.
- Z. Souza, A. H. M. Santos, E. C. Bortoni, “Hydropower Plants: Erection and Comissioning.” 3rd Ed., 2019, Ed Interciência. Rio de Janeiro.