

COMPORTAMENTO DE TURBINAS HIDRÁULICAS HOMÓLOGAS OPERANDO EM AMPLA FAIXA DO CAMPO DE FUNCIONAMENTO

Thiago Soares Corrêa, Zulcy de Souza e Luiz Antonio Alcântara Pereira

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

tscorrea@unifei.edu.br, zulcy@unifei.edu.br, luizantp@unifei.edu.br

INTRODUÇÃO

Nas centrais hidrelétricas, as turbinas hidráulicas de reação, em sua grande maioria, operam com rotação constante; esta condição é limitada, principalmente, em função da frequência e do número de pares de pólos do gerado elétrico acoplado à Turbina Hidráulica (TH). Por outro lado, a evolução de novas tecnologias, que controlam a frequência dos geradores elétricos, tem tornado possível aumentar o campo de funcionamento das turbinas hidráulicas, o que tem exigido o desenvolvimento de novas metodologias para o estudo do comportamento de turbinas hidráulicas em uma ampla faixa do campo de funcionamento [7-8].

Do ponto de vista da utilização e da operação das turbinas hidráulicas, interessa relatar as características de cada máquina de fluxo de modo a estabelecer o seu comportamento sob as mais diversas condições de operação incluindo-se os períodos de escassez de chuvas com redução do nível dos reservatórios [15]. As características reais (dependência entre as diversas grandezas de funcionamento) de uma TH (em todo o campo de funcionamento) são obtidas de modo mais preciso através de ensaios em laboratórios.

O conhecimento mais amplo do campo de funcionamento da TH visa maior ganho energético para atender as situações de variação do nível de reservatório e de variação da vazão volumétrica, que são duas características de centrais hidrelétricas. [6]

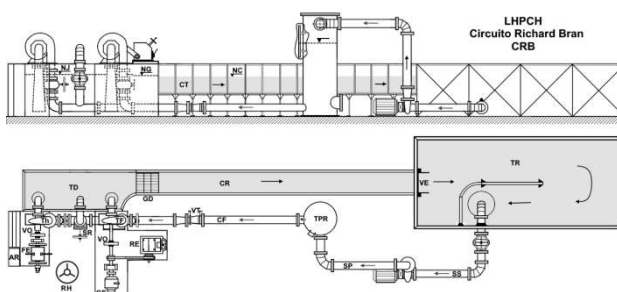
A hipótese a ser comprovada é que *em linhas de correntes médias do escoamento, passantes pelo ponto de rendimento máximo dentro dos limites do campo operacional das turbinas hidráulicas, os rendimentos nos demais pontos de operação deverão estar em torno do rendimento máximo, desde que a combinação das características Vazão, Queda líquida e rotação, resultem em uma rotação específica igual a rotação específica para o rendimento máximo.*[1]

O objetivo deste paper é a apresentação de uma metodologia, com suporte de análise experimental realizada no Laboratório

Hidromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas (LHPCH) na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), para investigação do comportamento de uma turbina hidráulica de reação do tipo Francis operando com rotação variável, mas mantendo-se aproximadamente constantes os valores de rotação específica, n_{QA} , e rendimento total no ponto de maior rendimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de investigação experimental utilizou Circuito Richard Bran (CRB) ou Laboratório Hidromecânico Didático Científico (LHDC), como esquematizado na Figura 1.



O CRB possibilita a variação da altura de queda líquida e da vazão volumétrica da turbina, além de permitir ensaiar a Micro Turbina Hidráulica do tipo Francis (MTH) conectada à rede da concessionária do estado de Minas Gerais, com rotação constante, ou em sistema isolado, com banco de resistências e, consequentemente, com rotações variáveis.

Além de permitir ensaiar a Micro Turbina Hidráulica do tipo Francis (MTH) conectada à rede da concessionária do estado de Minas Gerais, com rotação constante, ou em sistema isolado, com banco de resistências e, consequentemente, com rotações variáveis.

A primeira etapa do trabalho consistiu no ensaio da MTH, primeiramente operando com rotação constante, interligada à rede elétrica e, em seguida, com rotação variável, mas buscando-se manter constantes a rotação específica referente à vazão (n_{QA}) e a abertura do distribuidor (α_2), para o ponto de maior rendimento total encontrado.

A segunda etapa foi realizada para o levantamento do diagrama de Colina da mesma MTH operando com rotação constante, usando o método de fixar a abertura do distribuidor, α_2 (%) variando 7

vezes as demais características, tendo como referência as vazões, Q (m^3/s) sendo as demais, lidas e calculadas.

RESULTADOS

Na Figura 2 é apresentada a curva de rendimento em função da potência gerada. A curva contínua apresenta o comportamento da MTH com rotação constante e n_{qA} variável. Já a curva tracejada apresenta o comportamento da mesma MTH com rotação variável, mas mantendo a rotação específica constante.

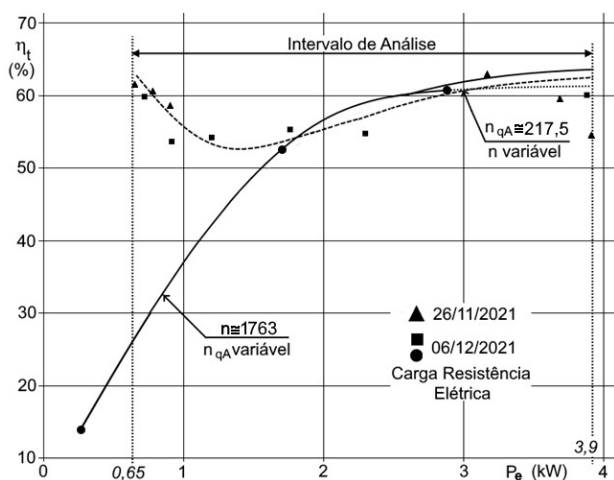


Figura 3 - Gráficos das funções médias, $\eta_t = f(P_e)$ resultantes dos ensaios

A Figura 3 mostra o diagrama de colina da MTH operando com rotação constante.

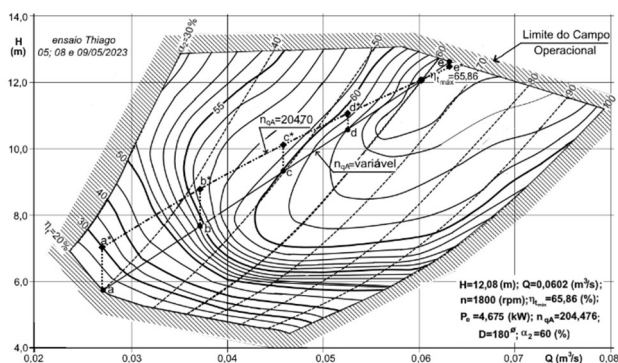


Figura 2 - Diagrama de colina com limites operacionais, curva de referência com n_{qA} =variável e curva transpota com n_{qA} =const.

CONCLUSÕES

O que é experimentalmente comprovado nesse trabalho é o comportamento de Turbinas Hidráulicas Homólogas, que são máquinas de fluxo que possuem os limites do caminho hidráulico do escoamento, no seu todo, geometricamente proporcional (mesma escala geométrica) e igual

valor da rotação específica em seu ponto de máximo rendimento. Assim os dados do ensaio poderão ser utilizados em outras TH homólogas para a previsão do comportamento delas em diferentes condições de operação.

Para baixas cargas, o rendimento total da Micro Turbina Hidráulica do tipo Francis (MTH) é substancialmente maior quando a operação é realizada com rotação, n , variável e específica, n_{qA} , constante e, cargas maiores, praticamente da mesma ordem, o que, em tese, praticamente, confirma a hipótese proposta no início deste trabalho (discutir um pouco).

Comprovou-se, através de ensaios no CRB, que pontos do campo operação da MTH, $H=f(Q)$ obtidos com rotação constante e várias aberturas do distribuidor, possuem menor ou igual rendimento interno, quando, em tais pontos, os respectivos rendimentos, sejam obtidos com sua rotação específica constante.

Deve ser observado que, o principal objetivo da operação, sempre que possível, em pontos com rotações específicas próximas da rotação específica para rendimento máximo, está na maior vida útil do rotor da TH, oriunda da minimização das perdas por turbulência e descolamento do escoamento na região de influência do rotor.

REFERÊNCIAS

1. SOUZA, Z. Comportamento Operacional de TH com Rotação Varável e Constante – documento em elaboração – zulcy@unifei.edu.br – 02/2024.
2. NBR 6412 - Turbinas Hidráulicas - Recepção de Modelos.
3. NBR 11374 - Turbinas Hidráulicas - Ensaio de Campo.
4. NBR 9581 - Turbinas Hidráulicas, Bombas de Acumulação e Turbinas - Bombas - Verificação da Erosão por Cavitação.
5. Pfleiderer, Carl/ Petermann, H. – Máquinas de Fluxo – Livros Técnicos e Científicos S.A – ISBN 85-216-0028-3 – RJ – BR – 1979.
6. Souza, Zulcy – Projeto de Máquinas de Fluxo – Tomo I – ISBN 978-85-7193-258-6; Tomo III – ISBN 978-85-7193-250-7; Tomo IV – ISBN 978-85-7193-282-1 – Editoras Interciência e Acta – Rio/Itajubá – BR – 2011
7. E. C. Bortoni, Z. Souza, A. N. C. Viana, H. F. Villa-Nova, 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.

8. Bortoni, E./ Souza, Z./ outros – Avaliação da introdução da Geração com Rotação Variável no Sistema de Furnas – relatório – Cigré – Brasil; UNIFEI; Furnas – 05/2018.
9. CEI/IEC 41 - Troisième édition - 1991-11 - NI - Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines, en vue de la détermination de leurs performances hydrauliques.
10. CEI/IEC 60193 - Deuxième édition - 1999- Turbines Hydrauliques D'Accumulation et Pompes-Turbines - Essais de Réception sur Modèle.
11. Bran, R./ Souza, Z. Máquinas de Fluxo – Turbinas – Bombas – Ventiladores – Ao Livro Técnico S.A – RJ – GB – 1969.
12. Gülich, J. F. – Disk friction losses of closed turbomachine impellers – Ecole Polytechnique, LCMH Lausanne – Switzerland - Received 15 March 2003.
13. Henry, Pierre – Turbomachines Hydrauliques – Presses Polytechniques ET Universitaires Romandes – ISBN 2-88074-209-9 – Lausanne – Suisse – 1992.
14. Souza, Zulcy – Dimensionamento de Máquinas de Fluxo – Turbinas – Bombas – Ventiladores – Editora Edgard Blücher Ltda. – SP – BR – 1991.
15. Souza, Z./ Tiago Filho, G. L./ outros – Renewable and Sustainable Energy Reviews – Elsevier Ltd. – 10/2016.

