

**Aferição de parâmetros de labirinto hidráulico em turbinas Francis: proposta de uma bancada de teste**

**Measurement of hydraulic maze parameters in Francis turbines: proposal for a test bench**

DOI:10.34117/bjdv6n12-174

Recebimento dos originais: 10/11/2020

Aceitação para publicação: 08/12/2020

**Ana Letícia Pilz de Castro**

Doutora, Professora

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Morro do Cruzeiro – Ouro Preto – MG

anacastro@ufop.edu.br

**Rodrigo Otávio Perrea Serrano**

Doutor, Professor

Universidade Federal do Acre

Rodovia BR 364 - Km 04 - Distrito Industrial - Rio Branco – AC

ropereas@gmail.com

**Mila Correa Sampaio**

Doutora, Professora

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Folha 31- Quadra 07 - Lote Especial, s/n.º - Nova Marabá, Marabá – PA

mila@unifesspa.edu.br

**Stenio Augusto Coelho**

Engenheiro Mecânico

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Pres. Antônio Carlos - 6627 – Pampulha - Belo Horizonte – MG

stenio-augusto@hotmail.com

**Maria Aparecida Pinto**

Doutora, Professora

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Morro do Cruzeiro – Ouro Preto – MG

mariap06@gmail.com

**Edwin Andres Mancilla Rico**

Doutor em Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Pres. Antônio Carlos - 6627 – Pampulha - Belo Horizonte – MG

eng.andresmancilla@gmail.com

**Edna Maria de Faria Viana**

Doutora, Professora

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Pres. Antônio Carlos - 6627 – Pampulha - Belo Horizonte – MG

ednamfv@ufmg.edu.br

**Carlos Barreira Martinez**

Doutor, Professor

Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS – 1303 - Bairro Pinheirinho - Itajubá – MG

cmartinez@uinifei.edu.br

## RESUMO

A geração de energia elétrica no Brasil é fortemente dependente da hidroeletricidade. As turbinas hidráulicas são máquinas responsáveis em transformar a maior parte da energia do escoamento contínuo da água que atravessa a usina hidrelétrica em trabalho mecânico. Os principais componentes das turbinas do tipo Francis são: o rotor, o distribuidor e a caixa espiral, e é no rotor onde estão localizados os anéis de desgaste superior e inferior, e entre os anéis de desgaste os labirintos inferior e superior. Contudo, a fuga de fluido que ocorre nos labirintos das turbinas hidráulicas um dos responsáveis pelas perdas de geração de energia elétrica, vislumbrou-se a necessidade de se desenvolver um aparato que permita simular um labirinto de uma turbina Francis, afim de obter parâmetros que poderão auxiliar na tomada de decisões de projetos nesse segmento.

**Palavras-chave:** usinas hidrelétricas, labirintos hidráulicos, aferição de parâmetros, bancada de testes em laboratório.

## ABSTRACT

The generation of electricity in Brazil is strongly dependent on hydroelectricity. Hydraulic turbines are machines that are responsible for transforming most of the energy from the continuous flow of water through the hydroelectric plant into mechanical work. The main components of the Francis type turbines are: the rotor, the distributor and the spiral box, and it is in the rotor where the upper and lower wear rings are located, and between the wear rings the lower and upper labyrinths. The fluid leakage which occurs in the labyrinths of the hydraulic turbines can be one of the responsible for the losses of electricity generation. Given this fact, it was necessary to develop an apparatus to simulate a labyrinth of a Francis turbine, in order to obtain parameters that could aid in the decision making of projects in this segment.

**Keywords:** hydroelectric plants, hydraulic mazes, gauging parameters, laboratory test bench.

## 1 INTRODUÇÃO

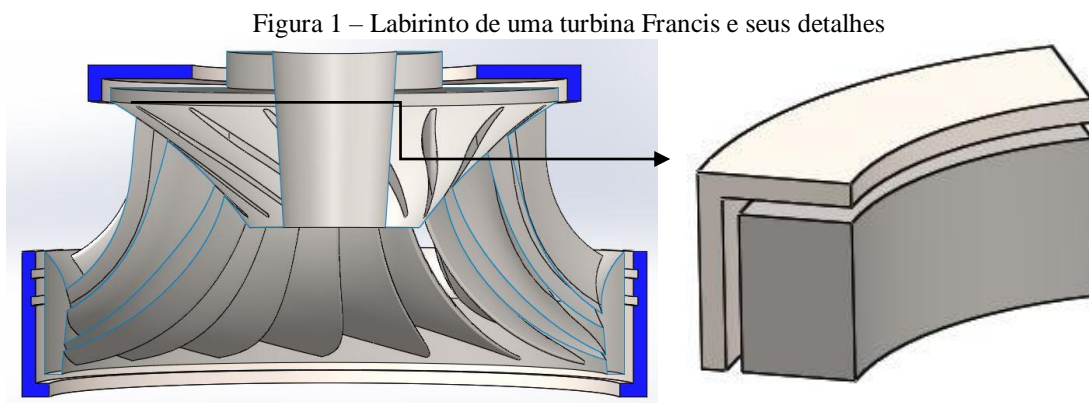
Diversas são as formas de geração de energia elétrica, e, a matriz energética brasileira possui como maior fonte de geração a energia hidráulica, que no ano de 2014 representou 65,2% de toda energia elétrica produzida no Brasil (ANEEL, 2015).

As usinas hidrelétricas são construções que visam aproveitar o potencial hidráulico de um rio, isso significa que a energia cinética ou potencial das águas que se concentra nos aproveitamentos hidrelétricos é transformada em energia mecânica e, finalmente, em energia elétrica (SCHEREIBER, 1977).

Uma usina hidrelétrica é composta, basicamente, por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de maneira integrada (SOUZA et al.,1983).

As turbinas hidráulicas, que pertencem ao conjunto de elementos da casa de força, são máquinas que possuem a finalidade de transformar a energia do escoamento contínuo da água, que flui pelos seus condutos, em trabalho mecânico, exceto pelas perdas associadas ao sistema (SOUZA et al., 1983).

Dentre, os principais componentes das turbinas do tipo Francis tem-se: o rotor, o distribuidor e a caixa espiral. E, sendo o rotor é a parte rotativa da turbina constituído por: cubo, pás, coroa, anéis de desgaste superior e inferior e, entre os anéis de desgaste os labirintos inferior e superior (Figura 1) (PFLEIDER & PETERMAN, 1972; KIMURA, 2005), precisam ser devidamente estudados dado os diversos acoplamentos exatos que devem haver entre as partes rotativas e partes estáticas.



Os labirintos são os interstícios formados pelos pares de anéis de desgaste fixo e móvel que estão posicionados de modo que tenham à função de vedação sem contato, fazendo com que os anéis tenham a menor distância entre a parte rotativa e fixa do rotor da turbina, resultando, assim, em uma pequena vazão (KIMURA, 2005), essa condição resulta em um aumento das forças tangenciais (GUINZBURG et al., 1993) que podem influenciar no modo de vibrar do sistema e até mesmo causar instabilidade (GLATTFELDER, et al., 1981).

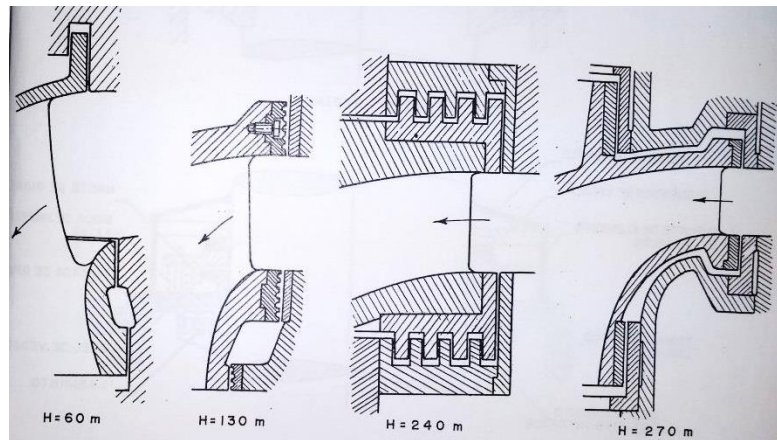
Entre as várias funções dos labirintos, destaca-se a de evitar a fuga do fluido ou de fazer com que ela seja muito pequena o que gera consequentemente o maior aproveitamento da energia disponível (BRAN & SOUZA, 1984; MANCINTYRE, 1983; KIRK E GAO, 2013).

Muitos fatores podem influenciar no coeficiente de rotação do mesmo, como a forma do selo, a localização do dente, o número de dentes alguns fatores geométricos (KIRK & GAO, 2013).

A largura de um labirinto varia de 0,5mm a 2mm, e faz com que o escoamento da água que ali passa tenha valores de velocidade elevados, que podem causar erosões nas paredes em função do material abrasivo que são deslocados juntamente com a água (PFLEIDER & PETERMANN, 1972;

MANCINTYRE, 1983). A complexidade dos labirintos aumenta com o a elevação do valor da queda disponível, conforme pode-se observar na Figura 2 (MANCINTYRE, 1983).

Figura 2 – Labirintos hidráulicos de turbinas Francis para vários valores da queda H Mancintyre, 1983



Assim, a elaboração dos projetos levam a uma série de incertezas acerca da definição dos parâmetros envolvidos como velocidade, vazão, perda de carga e perfil do labirinto. Dessa maneira, se insere o desenvolvimento de um aparato que permita simular diferentes condições de construção de um labirinto, possibilitando a obtenção desses parâmetros em escala de laboratório que posteriormente poderá ser utilizada em projetos de novas turbinas.

## 2 DESENVOLVIMENTO DO APARATO

O aparato desenvolvido é composto por um cilindro de aço carbono ASTM A 36 externo munido de um rotor prismático cilíndrico interno (Figuras 3 e 4), um reservatório, uma bomba centrífuga multiestágios e um inversor de frequência para controle da pressão e da rotação no aparato, afim de proporcionar diferentes pressões e trabalhos específicos no labirinto. O aparato permitirá aferição de parâmetros hidráulicos do labirinto do tipo liso, como vazão, velocidade do escoamento e perda de carga.

Figura 3 - Projeto do aparato para validação da equação, com a estrutura suporte.

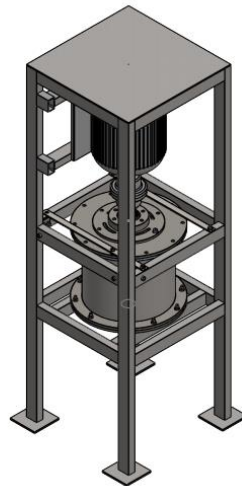
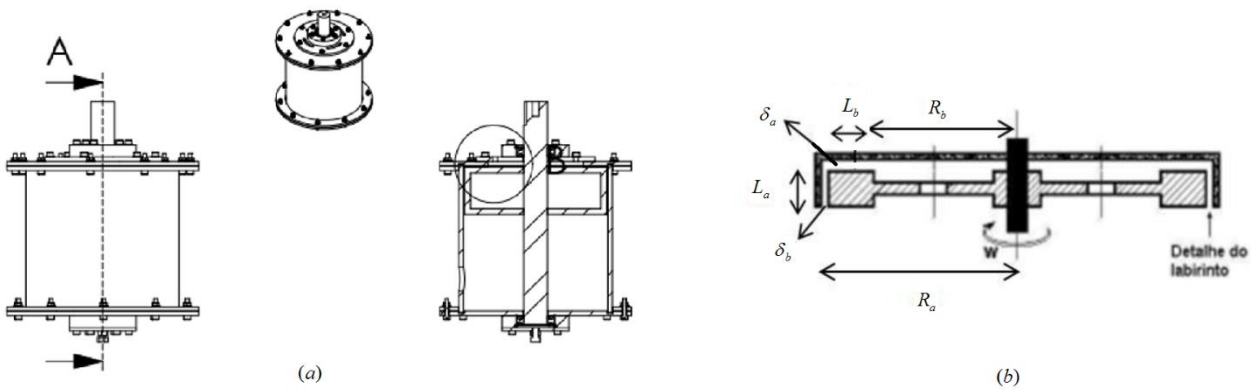


Figura 4 – (a) Detalhes do projeto do aparato, Elaboração própria. (b) Representação de um labirinto liso, Adaptado de Kimura, 2005.



Desmembrando a Figura 4b em duas partes tem-se uma parcela chamada de “A” (Figura 5) e uma parcela chamada de “B” (Figura 6).

Figura 5 – Parâmetros geométricos da Parcela “A”

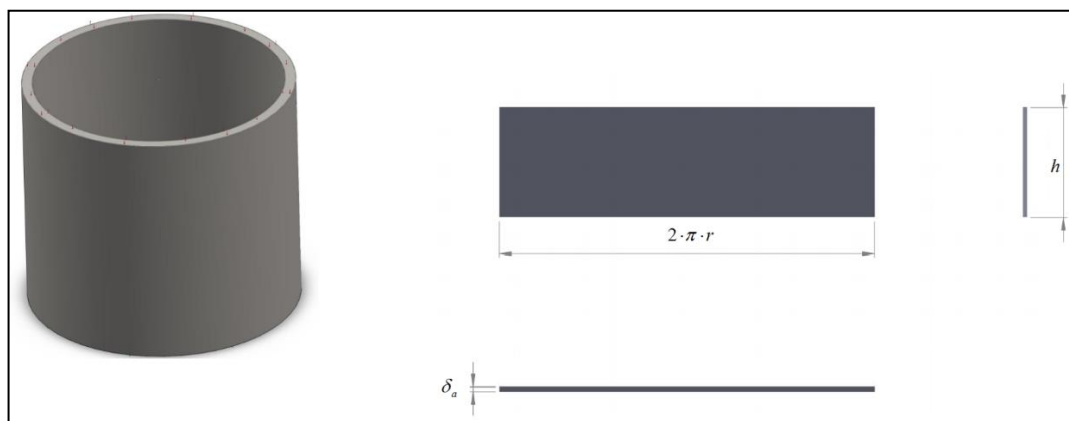
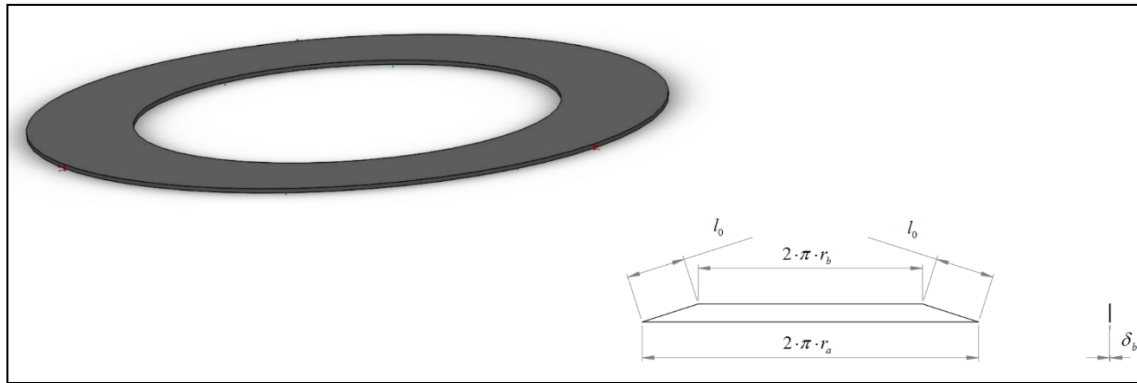


Figura 6 – Parâmetros geométricos da Parcela “B”



A partir das representações das figuras, para a construção do aparato foi necessário estabelecer algumas medidas. Na Tabela 1, pode-se observar os valores adotados.

Tabela 1 – Medidas pré – estabelecidas para o projeto do aparato

Variável	igla	Dimensão (m)
Raio “A”	$r_a$	0,150
Raio “B”	$r_b$	0,100
Espessura “A”	$\delta_a$	0,002
Espessura “B”	$\delta_b$	0,002
Comprimento “A”	$L_a$	0,100
Comprimento “B”	$L_b$	0,050
Rugosidade	$\varepsilon$	0,000045

As velocidades rotacionais para a determinação da perda de carga e das demais variáveis, utilizadas nos testes ficaram estabelecidas entre 0 rpm e 1800 rpm. E, com base nestas premissas, foi possível obter o *layout* e construir o aparato conforme pode ser observado na Figura 4.

Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento. – Detalhes do aparato construído.



### 3 CONCLUSÃO

Com finalização da montagem da bancada de teste apresentada, tem sido possível a obtenção dos parâmetros hidráulicos do modelo. Esses resultados tem sido similares aos encontrados na literatura e servem de base para projetos futuros em labirintos do tipo liso. O aparato poderá ainda ser adaptado para outros modelos de labirintos e dessa forma promovendo o know-how no projeto turbinas com variados labirintos.

### AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à ANEEL, à CEMIG, à ELETROBRAS-FURNAS, a FAPEMIG ao CNPq, CAPES, à Fundação Gorceix, pelo suporte financeiro para a realização desse trabalho.

**REFERÊNCIAS**

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), (2015). Anuário Estatístico de Energia Elétrica / Agência Nacional de Energia Elétrica.– Brasília: Aneel, 232 p.
- Bran,R.;Souza, Z (1984). Máquinas de Fluxo: Turbinas – Bombas – Ventiladores. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 262 p.
- Glatterfelder, A.H.; Grein, H.; Dorgler, P.K, (1981). Intense system vibration in hidro plants. International Water Power and Dam Construction, Sidcup, Kent, UK, v.33, n.3.
- Guinzburg, A.; Brennen, C.E.; Acosta, A.J.; Caughey, T.K., (1993). The Effect of Intel Swirl on the Rotodynamic Shroud Forces em a Centrifugal Pump. Journal of Engineering for Gas Turbines as Power Transactions of the Asme, New York, NY, USA, v.115, n.2, p287-292.
- Kimura, N., (2005). “Modelagem do comportamento térmico dos anéis de desgaste de uma turbina Francis operando em compensador síncrono.” Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Curitiba, PR.
- Kirk, G.; Gao, R., (2013). CFD Study on Stepped and Drum Balance Labyrinth Seal, *Tribology Transactions*, v. 66, p. 663-671.
- Macintyre, A.J., (1983). Máquinas Motrizes Hidráulicas. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 665 p.
- Pfleider, C & Petermann, H., (1972). Máquinas de fluxo, 4ª ed. Rio de Janeiro.
- Schreiber, G.P., (1977). Usinas Hidrelétricas. São Paulo: Edgard Blucher, 238 p.
- Souza, Z.;Fuchs, R.D.; Santos, A.H.M., (1983). Centrais Hidro e Termoelétricas. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo.