



GRUPO - IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

MODELAGEM DE TURBINAS HIDRÁULICAS TIPO KAPLAN E BULBO EM REGIME PERMANENTE E TRANSITÓRIO

Rafael B. de Paiva (*)
REIVAX S/A

Lucas M. da Silva
REIVAX S/A

Henrique A. Menarin
REIVAX S/A

Rodrigo P. Gosmann
REIVAX S/A

Cristiano Bühler
REIVAX S/A

José M. de Toledo
CTG BRASIL

Leonardo L. Leoncini
CTG BRASIL

Ricardo Vechin de Macedo
ENEL

RESUMO

O presente artigo apresenta algumas abordagens para a modelagem de uma turbina do tipo Kaplan/Bulbo. Esses modelos foram implementados nos softwares MATLAB e ANATEM. Os modelos foram desenvolvidos e validados com base em dados de campo. Os dados foram coletados de quatro unidades Kaplan com diferentes capacidades. O modelo desenvolvido permite representar a vazão ao longo da turbina e a eficiência de acordo com as posições do distribuidor e das pás do rotor, dinamicamente e estaticamente. Existem poucos trabalhos disponíveis que apresentem um modelo completo de tais turbinas e realizem a validação com dados de campo, bem como modelos de referência disponíveis para serem utilizados em estudos de simulação. O objetivo deste trabalho é suprir essa necessidade.

PALAVRAS-CHAVE

Turbinas Kaplan e Bulbo, Regulação Primária, Estudo de Estabilidade, Validação de Modelo, Otimização.

1.0 - INTRODUÇÃO

A modelagem do comportamento dinâmico das pás do rotor em programas de transitórios eletromecânicos ainda é objeto de estudo. Tradicionalmente, a turbina Kaplan é representada pelo modelo típico de uma turbina Francis. Essa aproximação desconsidera efeitos dinâmicos das pás do rotor e da conjugação com as pás diretrizes. Essa suposição é válida em estudos de curta duração, onde o foco não é a regulação primária.

Em transitórios, as pás do rotor e as pás diretrizes podem operar com um erro de conjugação. Esse erro de conjugação ocorre, em geral, quando a abertura ou fechamento das pás do rotor é mais lento que as pás diretrizes. Isso faz com que as pás do rotor não acompanhem a referência da curva de conjugação. Esse erro de conjugação reduz a eficiência da turbina, e com isso a potência mecânica. Ao ignorar o erro de conjugação, o resultado dos estudos de estabilidade pode não refletir a realidade. Em [1], por exemplo, se demonstra que o erro de conjugação em eventos que requerem grande movimentação dos atuadores pode tornar o controle de velocidade instável.

Segundo a CCEE, turbinas Kaplan e Bulbo são utilizadas em cerca de 40% das usinas hidrelétricas do SIN, aproximadamente 25% da capacidade hidrelétrica instalada [2]. Isso mostra a importância da correta modelagem destas turbinas para avaliar a estabilidade do sistema. Isso se torna ainda mais importante para representar as grandes usinas em construção para a expansão da capacidade instalada, das quais boa parte opera a fio d'água.

Além dos efeitos descritos acima, a representação adequada da vazão e da eficiência da turbina é necessária para investigar a influência da posição das pás sobre o consumo de água e perdas de potência na unidade.

Na seção 2.0, é apresentada uma revisão de modelos disponíveis na literatura. Na seção 3.0, são apresentadas as duas abordagens de modelagem desenvolvidas. Na seção 4.0, são apresentados os resultados dos modelos.

2.0 - ABORDAGENS ATUALMENTE DISPONÍVEIS

O modelo dinâmico comumente utilizado para representar a turbina e o conduto forçado é apresentado pela IEEE em [3]. São discutidas algumas variações do modelo, para representar escoamento elástico, compartilhamento do conduto e chaminés de equilíbrio. No entanto, todos os modelos partem do princípio de que um único atuador determina a abertura G que define a área de seção pela qual vai passar a água, como mostrado na FIGURA 1.

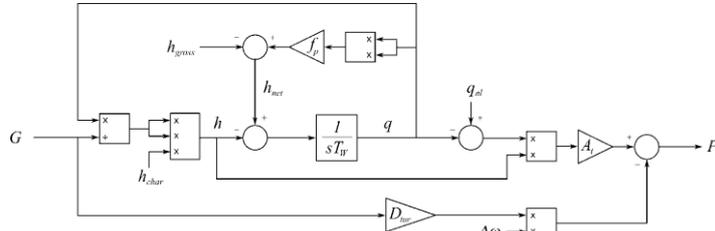


FIGURA 1 – Modelo convencional para turbina e conduto, adaptado de [3]

A seguinte simbologia é adotada no modelo da FIGURA 1: G é a abertura, h_{gross} é a queda bruta, h_{net} é a queda líquida, h_{char} é a queda em que foi determinado o modelo, q é a vazão, q_{nl} é a vazão necessária para velocidade nominal a vazão, $\Delta\omega$ é o desvio da velocidade em relação ao valor nominal, P_m é a potência mecânica fornecida pela turbina, T_W é a constante de tempo da coluna d'água, f_p é o fator de perda de carga no conduto, D_{tur} é o fator de amortecimento do torque devido à velocidade da turbina. Todos os valores estão no sistema por unidade (pu).

No caso de turbinas Kaplan, existem dois atuadores que definem a vazão da água pela turbina. Uma abordagem comum é utilizar o mesmo modelo de [3]. A conjugação das pás do rotor e distribuidor é considerada calculando uma "abertura equivalente" G , que é utilizada como entrada do modelo original. A vantagem dessa abordagem é que os modelos dos softwares de simulação podem ser utilizados, bastando inserir o modelo de abertura equivalente. O modelo de abertura equivalente é identificado para obter a mesma potência observada em campo.

Essa abordagem é utilizada em [4]. O modelo de abertura equivalente é o produto de um polinômio de 5ª ordem (distribuidor) e de uma função linear (pás do rotor). O modelo desenvolvido apresenta resultados confiáveis em comparação com os dados de campo. O artigo não demonstra como foi realizada a identificação destas funções. O conceito de abertura equivalente também é utilizado em [5], com um modelo polinomial. Esse modelo é otimizado por um algoritmo de busca que identifica os coeficientes, para minimizar o erro de ajuste aos dados de campo.

Tal abordagem permite modelar bem a potência mecânica, pois agrega na abertura equivalente a característica da eficiência resultante do erro de conjugação. Para estudos de estabilidade, isso é o suficiente. Para outras variáveis – como vazão da turbina, pressão no conduto ou eficiência –, no entanto, a saída do modelo não é válida.

Em [6], é proposta uma extensão do modelo de [3] que considera a posição do distribuidor Y_{ga} e das pás Y_{ru} . Assim, são incorporados ao modelo dinâmico da IEEE dois modelos estáticos que representam a vazão $Q(Y_{ga}, Y_{ru})$ e a eficiência $\eta_1(Y_{ga}, Y_{ru})$. As funções de vazão e eficiência foram identificadas com o auxílio de dados coletados no *index test*. Trata-se do trabalho mais completo disponível atualmente na literatura para a caracterização de uma turbina Kaplan/Bulbo. São apresentadas algumas simulações de validação do modelo com os dados de campo.

Não foram encontradas outras referências para a representação dessas turbinas na literatura acadêmica e técnica. Este artigo busca suprir essa lacuna, provendo duas abordagens possíveis para a modelagem de tais turbinas.

3.0 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO

3.1 Abordagem 1

Comparando o modelo da Figura 2 com o da Figura 1, observa-se que há uma função quadrática $F(Y_d, \Delta Y_r)$ que busca reproduzir os efeitos da desconjugação entre o distribuidor e o rotor para diferentes pontos de abertura do distribuidor. A Figura 3 ilustra esse comportamento. É apresentada também a relação entre distribuidor e o rotor.

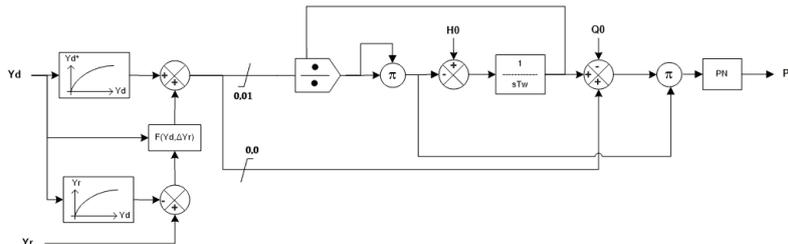


FIGURA 2 – Modelagem da Abordagem 1

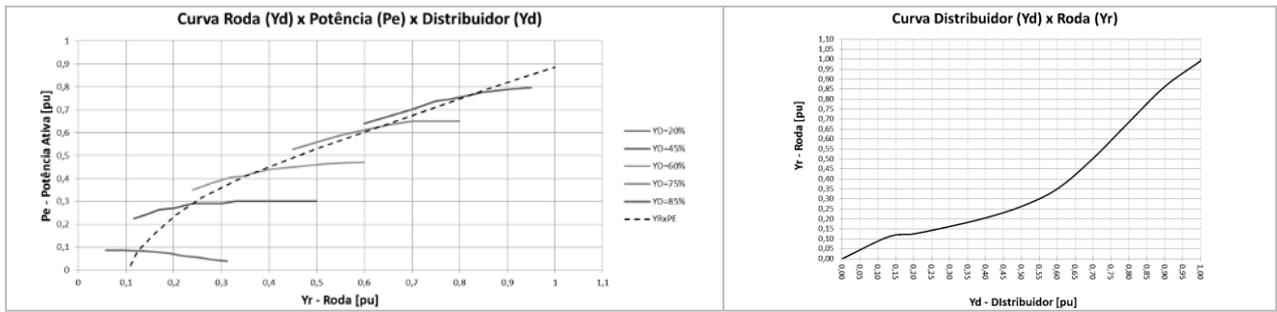


FIGURA 3 – Resultado da desconjugação e curva entre distribuidor e roda

A entrada no bloco de perdas em vazio, junto com Q0, é para representar os efeitos de perdas obtidos quando a desconjugação é muito severa. Nesses casos, por exemplo, rejeições de carga em que a roda abre e o distribuidor fecha, ou falhas de conjugação. Quando isso ocorre, a perda líquida de Q0 somada ao do erro de conjugação pode ser muito grande. Na Figura 4, ilustra-se uma motorização onde ocorreu uma falha mecânica no distribuidor que fechou e abriu, mas manteve as pás abertas próximo dos 90%. A potência de motorização chegou a -65% do nominal. É um caso extremo, mas que justifica a soma no bloco de perdas do modelo do conduto.

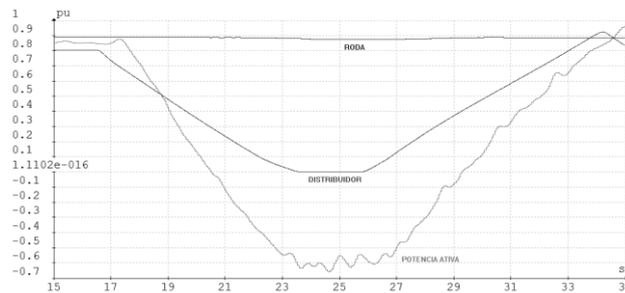


FIGURA 4 – Simulação de Motorização

Para a modelagem dessa estrutura no ANATEM, a fricção foi desconsiderada devido à solução da condição inicial que parte de uma equação transcendental de difícil resolução pelo software de simulação ANATEM.

3.2 Abordagem 2

A segunda abordagem é mostrada na FIGURA 5.

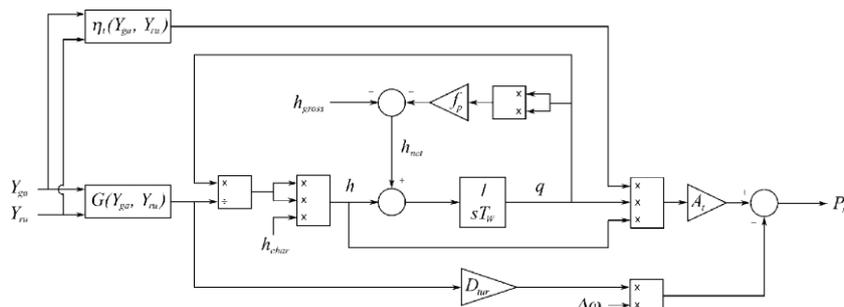


FIGURA 5 – Modelo da abordagem 2

Analisando o modelo, nota-se que, em regime permanente, quando a queda líquida h_{net} é igual a h_{char} , a vazão q é igual à abertura $G(Y_{ga}, Y_{ru})$. Dessa forma, o modelo $G(Y_{ga}, Y_{ru})$ representa a vazão em função da posição do distribuidor e das pás do rotor, para a queda líquida h_{char} . Para que a potência mecânica fornecida pela turbina fique de acordo com a potência da unidade, é inserido o modelo de eficiência $\eta_t(Y_{ga}, Y_{ru})$. Essa é a principal diferença para a abordagem de abertura equivalente: enquanto a abertura equivalente busca representar as variações na potência geradas pelo erro de conjugação, aqui a conjugação de pás e distribuidor afeta tanto a vazão quanto a potência de saída. Com isso, o modelo fornece, adicionalmente, informações sobre vazão e eficiência, o que não é possível com a abordagem de abertura equivalente. Em contrapartida, é necessário ter dados de medição de vazão para identificação desse modelo, num levantamento semelhante a um *index test*.

Essa abordagem parte da mesma ideia apresentada em [6]. As funções $G(Y_{ga}, Y_{ru})$ e $\eta_t(Y_{ga}, Y_{ru})$ são obtidas por regressão a partir de dados de campo. Como a queda varia durante a coleta dos dados e o modelo de vazão é válido para uma queda fixa h_{char} , é preciso primeiro fazer a conversão das medições de vazão q para a queda h_{char} .

$$G = q \cdot \sqrt{h_{char} / h}$$

(eq. 1)

Essa conversão é a mesma recomendada pela IEC 60041 [7] para a realização do *index test*. Com estes dados, foi realizada a regressão polinomial de 5ª ordem para o modelo de vazão, apresentada na Figura 6. Para a função de eficiência da turbina, foi realizada a regressão de um modelo polinomial de 4ª ordem.

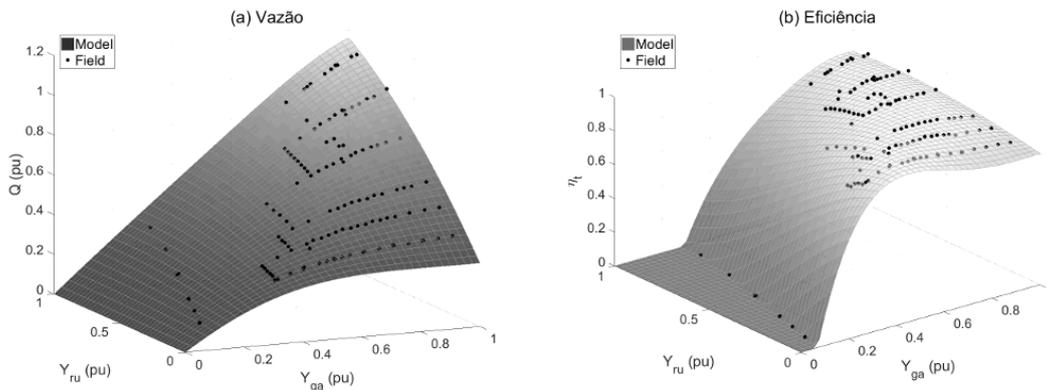


FIGURA 6 – Modelos de vazão (a) e eficiência (b) identificados para a Central Sauzalito no Chile (P = 12 MW)

4.0 - RESULTADOS

4.1 Abordagem 1

4.1.1 UHE Salto Grande

A Usina de Salto Grande é a mais antiga hidrelétrica em operação no Rio Paranapanema. Possui quatro unidades geradoras com turbinas Kaplan com uma potência de 23,3 MVA cada uma. A UG3 foi foco de estudo para atualização dos modelos com validação dos ensaios de campo para o formato em ANATEM no ano de 2015. Os ensaios foram realizados durante a etapa de modernização do sistema de controle pela REIVAX.

São apresentados alguns ensaios de validação em MATLAB para fins de comprovação do modelo proposto na abordagem 1, e que foram posteriormente transcritos em forma integral para o ANATEM.

Ensaio em carga – Movimentação da Roda com Distribuidor fixo: esse ensaio consiste em deixar o distribuidor fixo e movimentar a roda para análise dos efeitos na potência ativa. Observe que para carga baixa, a abertura da roda representa uma perda de potência, enquanto que para uma carga mais alta o efeito é o contrário. Vide Figura 7.

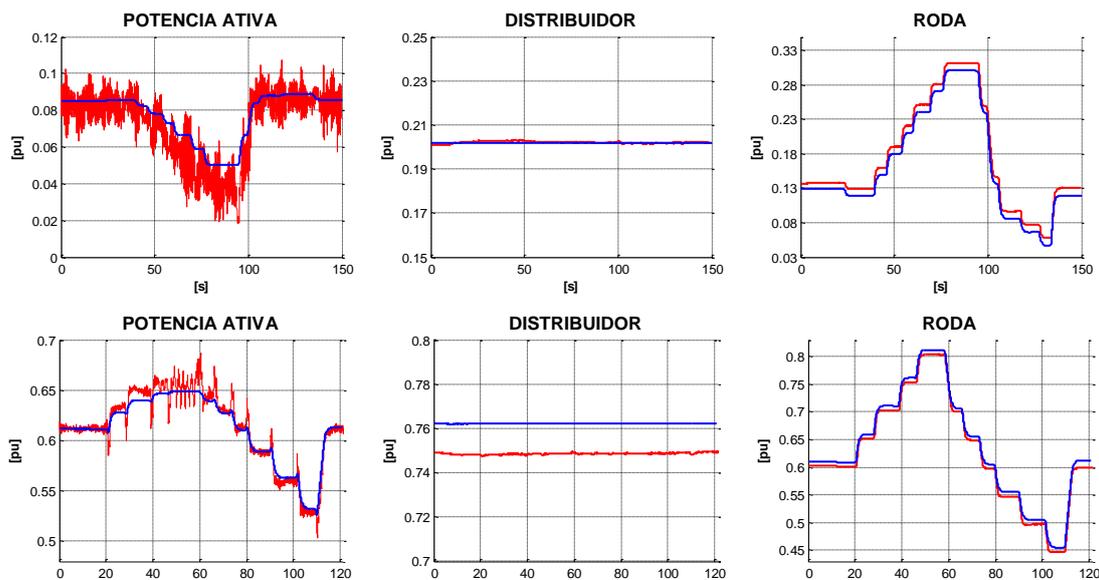


FIGURA 7 – Movimentação da Roda com Distribuidor fixo

Ensaio de Degrau de Carga: esse ensaio é para avaliação da reposta de potência ativa frente a um degrau de potencia. Observa-se na Figura 8 a aderência das curvas em dois patamares distintos de carga.

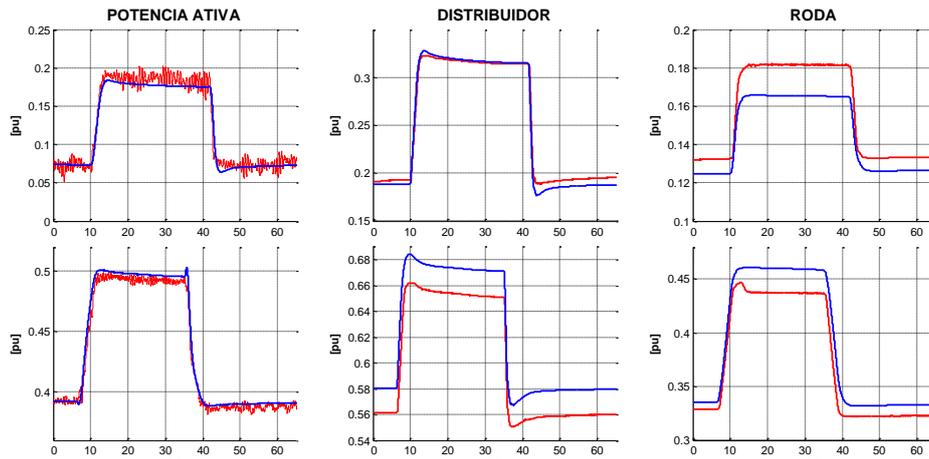


FIGURA 8 – Ensaio de Degrau de Carga

Ensaio de Rede Isolada: esse ensaio é realizado em campo através da metodologia descrita pela IEC e IEEE para avaliação da estabilidade dos ajustes do estatismo transitório do controle de velocidade.



FIGURA 9 – Ensaio de Rede Isolada

4.1.2 UHE Taquaruçu

A UHE de Taquaruçu está situada no Rio Paranapanema entre Sandovalina (SP) e Itaguajé (PR). Possui cinco unidades de 112 MVA cada, com turbinas Kaplan. A UG5 foi foco de estudo para atualização dos modelos com validação dos ensaios de campo para o formato em ANATEM em 2017. Os ensaios foram realizados durante a etapa de modernização do sistema de controle pela REIVAX. São apresentados alguns ensaios de validação em MATLAB para fins de comprovação do modelo proposto na abordagem 1 aplicado em uma outra central.

Rampa de Carga: ensaio para mostrar que as curvas de conjugação do modelo estão coerentes com as curvas de campo. Observa-se na Figura 10 uma boa representação das grandezas.

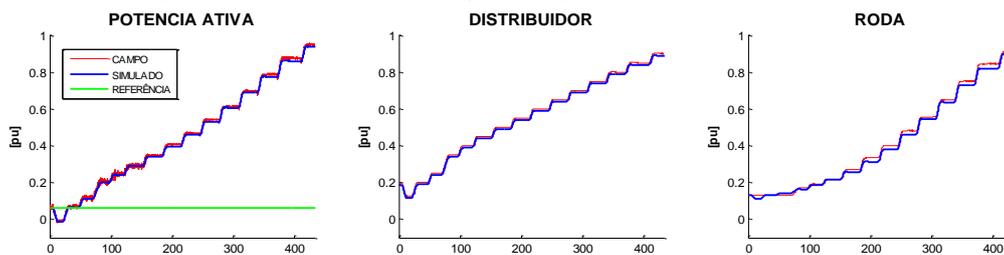


FIGURA 10 – Rampa de Carga

Degrau de Potência: esse ensaio é para avaliação da reposta de potência ativa frente a um degrau na referência.

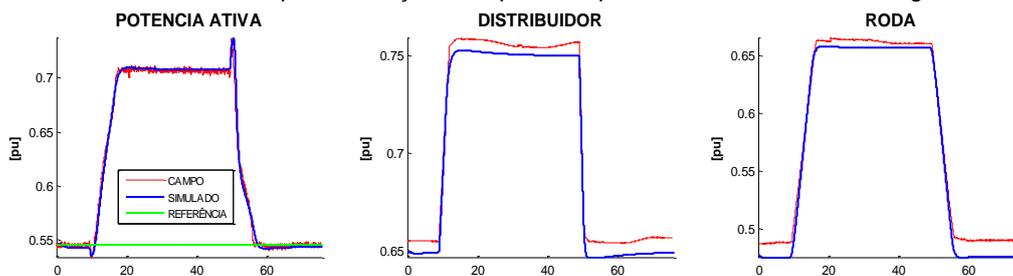


FIGURA 11 – Degrau de Potência

4.2 Abordagem 2

Os dados foram coletados em duas centrais, a Central Sauzalito e na UHE Cachoeira Dourada.

A Central Sauzalito fica localizada no Chile e possui uma única unidade geradora de 12 MW. Os dados foram coletados em setembro de 2016. A unidade é dotada de um sistema de medição de vazão ultrassônico no interior do conduto. Durante ensaios de comissionamento, foi realizado um ensaio semelhante ao *index test*, em que o distribuidor foi aberto manualmente enquanto as pás eram mantidas fixas. Foram feitos testes com as pás em 10, 20, 30, 50, 70 e 90%. O número de amostras foi bem superior ao coletado num *index test* convencional, o que permite obter um modelo acurado da turbina. Isso, aliado à disponibilidade de medição de vazão precisa, possibilitou um bom critério para a construção da estrutura do modelo e escolha do método de regressão.

A UHE Cachoeira Dourada (CDSA) possui unidades geradoras de 4 tamanhos diferentes. Neste trabalho, são apresentados dados da UG05, de 54,6 MW, e da UG09, de 102 MW. Os dados da UG05 foram obtidos durante recomissionamento e *index test* de janeiro de 2017. Os dados da UG09 foram obtidos de um *index test* realizado em 2010. Em ambas as unidades foi utilizada medição de vazão relativa, através do método de Winter-Kennedy.

4.2.1 Característica estática

Para validar a característica estática dos modelos de vazão e eficiência, os indicadores escolhidos são o erro absoluto máximo e médio e o desvio padrão com relação aos dados coletados. Os indicadores para modelo de vazão estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Indicadores de validação da característica estática de vazão

INDICADOR	SAUZALITO	CDSA UG05	CDSA UG09
Erro absoluto máximo (%)	3,24	3,30	0,89
Erro absoluto médio (%)	0,64	0,50	0,22
Desvio padrão (pu)	0,0080	0,0069	0,0048

O modelo obtido para a Central Sauzalito foi apresentado na FIGURA 5. Observa-se que o polinômio obtido aproxima bem o comportamento de vazão para todos os pontos. O erro máximo, de 3,24%, ocorreu para os pontos de operação a vazio. Com exceção desses pontos, o erro máximo é de 1,22%. Os pontos a vazio são coletados para melhorar o conjunto de dados de regressão, não sendo relevantes para a otimização da eficiência.

Para a UG05 da UHE Cachoeira Dourada, o erro máximo de 3,30% ocorre na operação em carga. No entanto, o fato de a média do erro absoluto ser ainda menor que na Central Sauzalito indica que este é um ponto de exceção, e a estrutura escolhida para o modelo representa bem as características da máquina. Já para a UG09, os resultados foram excelentes, com erros bem reduzidos.

TABELA 2 – Indicadores de validação da característica estática de eficiência

INDICADOR	SAUZALITO	CDSA UG05	CDSA UG09
Erro absoluto máximo (%)	3,63	4,77	3,68
Erro absoluto médio (%)	0,77	0,74	0,59
Desvio padrão (pu)	0,0101	0,0115	0,0091

Como se pode observar na Tabela 2, o modelo obtido para a Central Sauzalito representa bem o comportamento da eficiência na unidade geradora. O erro máximo é de 3,63%, o que pode ocorrer em alguns pontos, por exemplo, devido a flutuações na medição. Ainda assim, o valor médio do erro absoluto, de 0,77%, permite uma representação bastante fiel da eficiência da máquina. Mais importante de se observar é que o formato do modelo escolhido permite representar bem a característica observada em campo. Resultados similares podem ser observados para a UG05 e a UG09 da UHE Cachoeira Dourada.

4.2.2 Característica dinâmica

Na Figura 12, é mostrada a resposta ao degrau na referência de potência, que foi aplicado durante comissionamento da UG05 da CDSA. Os valores de posição do distribuidor e das pás do rotor obtidos na resposta de campo foram utilizados para simular o modelo dinâmico obtido. Verifica-se excelente aderência do modelo aos dados de campo.

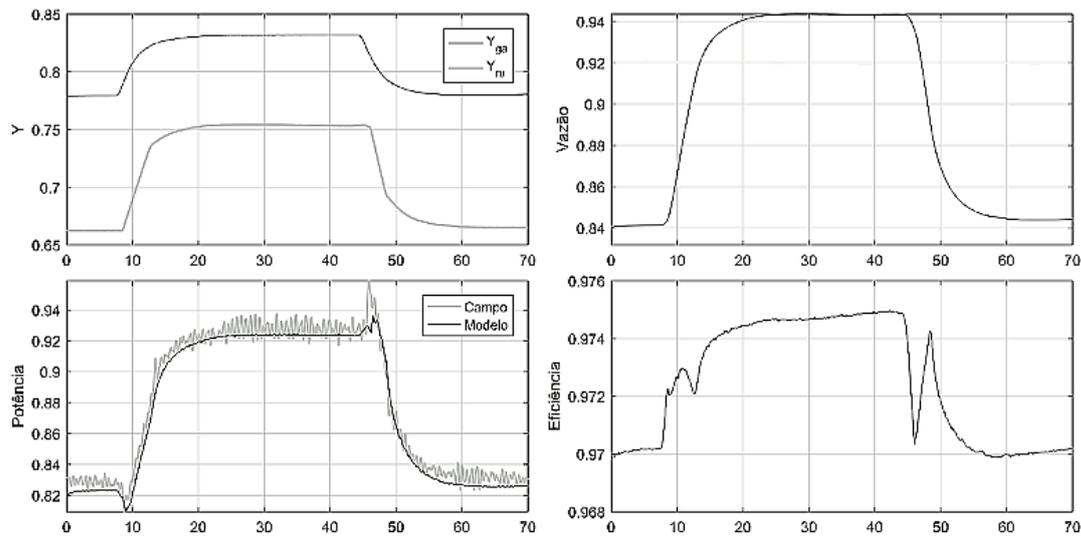


FIGURA 12 – Resposta ao degrau na referência de potência da UG05 da CDSA

Também foi realizada uma simulação de comparação da resposta de isolamento simulada da Central Sauzalito. O teste de isolamento simulada é indicado pela IEEE 1207-2011 e IEC 60308-2005 para a validação da sintonia do regulador de velocidade. Este teste consiste em fechar a malha do regulador de velocidade com uma frequência resultante de uma simulação, como se o regulador estivesse em operação isolada. Simula-se uma perturbação de carga, que causa uma alteração grande da frequência e que exige a movimentação mais enérgica dos atuadores. Com isso, é possível observar a diferença entre modelar o processo com o modelo completo – considerando o efeito do erro de conjugação – e a abordagem simples – considerando apenas a abertura do distribuidor.

Na FIGURA 13, é apresentado o resultado do ensaio de isolamento simulada. A simulação do modelo não inclui o regulador de velocidade, e utiliza os valores de posição do distribuidor e das pás do rotor medidos em campo para alimentar o modelo da turbina. A aplicação do degrau de carga isolada causa o fechamento dos atuadores, e as pás do rotor possuem um tempo de fechamento longo, causando erro de conjugação. Verifica-se que ao deixar de representar essa característica, o modelo simples gera um valor de potência ativa incorreto. Já o modelo completo modela corretamente a potência ativa.

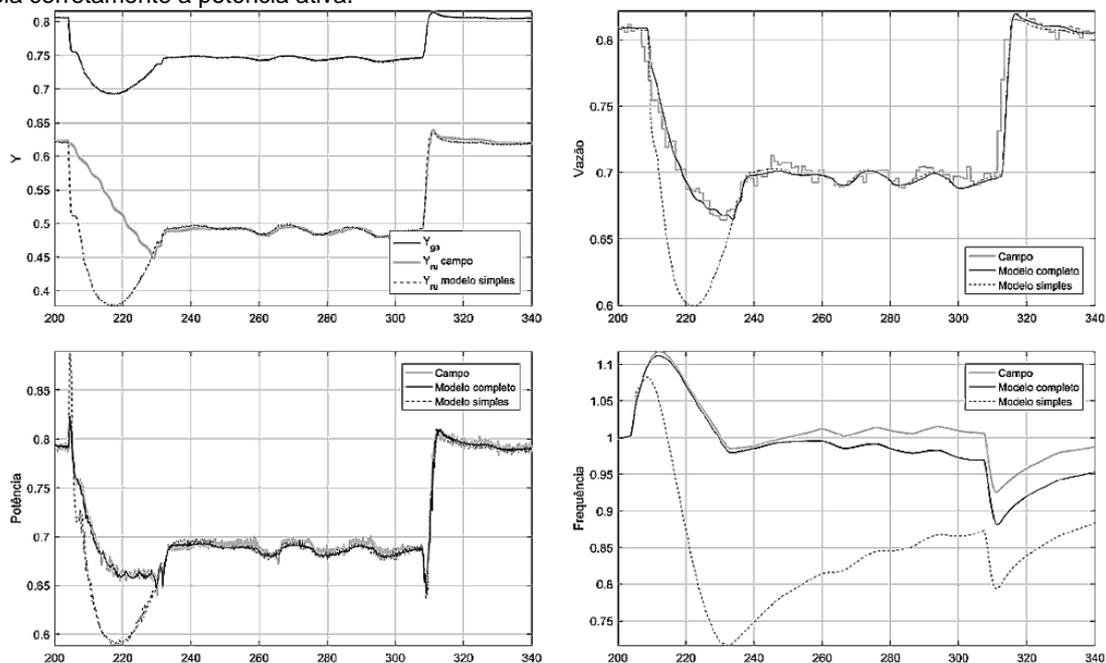


FIGURA 13 – Isolação simulada na Central Sauzalito: simulação em malha aberta

Logo, se for necessário utilizar o modelo para estudos de estabilidade de regulação primária, o efeito do erro de conjugação será bastante expressivo. Este resultado está apresentado na FIGURA 14, em que a simulação inclui o regulador de velocidade. Nota-se que a resposta com o modelo simplificado é bastante diferente da resposta observada em campo e com o modelo completo.

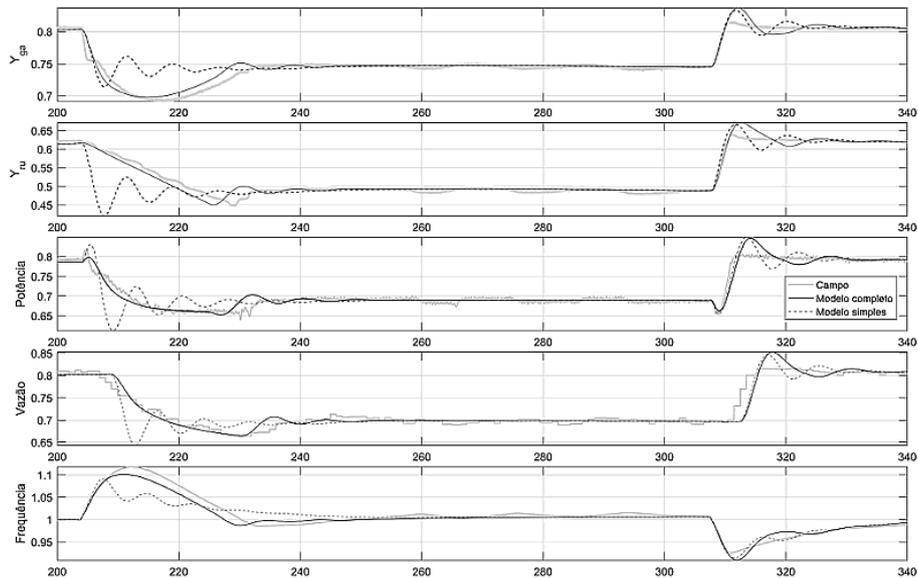


FIGURA 14 – Isolação simulada na Central Sauzalito: simulação em malha fechada

5.0 - CONCLUSÃO

Como apresentado na seção 2.0, existe uma clara necessidade de modelos padronizados para representação dinâmica e estática de turbinas Kaplan/Bulbo. Não tê-los gera dificuldades para a operação do sistema, para o desenvolvimento de sistemas de controle e para a análise de estabilidade. Tendo em vista a importância crescente de tais unidades no cenário elétrico nacional, é desejável que se tenha modelos dinâmicos precisos destas turbinas, objetivando estudar com mais precisão o sistema elétrico nacional, que é o objeto deste artigo. Foram apresentados casos de estudo que demonstram a importância da modelagem da característica dinâmica das pás para estudos da estabilidade de regulação primária.

Verifica-se que há poucos trabalhos técnicos que apresentem abordagens de modelagem de turbinas Kaplan: mesmo nos poucos trabalhos disponíveis na literatura, há poucas simulações de validação. Atualmente, nenhum software de simulação de estudos de estabilidade possui um modelo padrão que represente tal característica. Neste sentido, o presente informe é de grande contribuição técnica e acadêmica.

Ainda que tenha sido discutida apenas a modelagem das turbinas Kaplan, a estrutura do modelo desenvolvido na abordagem 2 pode também melhorar a modelagem de turbinas Francis e Pelton, uma vez que permite representar a variação da eficiência com o ponto de operação, algo não previsto nos modelos convencionais.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GUSTAFSSON, M. Improved Governing of Kaplan Turbine Hydropower Plants Operating Island Grids. Dissertação de Mestrado – KTH Royal Institute of Technology – Estocolmo, Suécia.
- [2] CCEE – Câmara de Comercialização de Energia. “Download dos dados de entrada e saída.” https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/precos/deck_de_precos. Acesso em outubro de 2016.
- [3] IEEE. *Hydraulic turbine and turbine control models for system dynamic studies*. IEEE Transactions on Power Systems, v. 7, n. 1, p. 167-179, fev. 1992.
- [4] ZHAO, J., et al. *Dynamic Model of Kaplan Turbine Regulating System Suitable for Power System Analysis*. Mathematical Problems in Engineering, 2015.
- [5] KRANJICIC, D.; Štumberger, G. *Differential Evolution-Based Identification of the Nonlinear Kaplan Turbine Model*. IEEE Transactions on Energy Conversion 29 (1): 178–87. 2014.
- [6] BREZOVEC, M.; KUZLE, I.; TOMISA, T. *Nonlinear Digital Simulation Model of Hydroelectric Power Unit with Kaplan Turbine*. IEEE Transactions on Energy Conversion 21 (1). 2006
- [7] IEC 60041:1991 - Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

	<p>Autor 1 Nome: Rafael Bertolini de Paiva Local/Ano nascimento: Florianópolis/SC, 1982. Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFSC, 2009), Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (UNIFEI, 2014), Mestrado em Engenharia Elétrica (UNIFEI, em andamento). Tem experiência em comissionamento de sistemas de proteção e regulação, estudos especiais de modelagem de unidades geradoras e controladores, estudos gerais em sistemas de potência e consultorias especializadas.</p>
	<p>Autor 2: Nome: Lucas Manso da Silva Local/Ano nascimento: São Paulo/SP, 1989. Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (UFSC, 2012), Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSC, em andamento) Experiência profissional: Atua desde 2012 na Reivax S/A como engenheiro, tendo atuado como engenheiro de campo (testes e comissionamento), estudos especiais (modelagem de unidades geradoras e controladores), estudos de transitórios eletromecânicos.</p>
	<p>Autor 3: Nome: Henrique A. Menarin Local/Ano nascimento: Castro/PR, 1986 Formação: Concluiu o mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 2013. Graduou-se em Engenharia de Controle e Automação na UFSC em 2010. Experiência profissional: Atua na REIVAX S/A desde 2008 com Pesquisa e Desenvolvimento de sistemas de controle para geração de energia elétrica.</p>
	<p>Autor 4: Nome: Rodrigo P. Gosmann Local/Ano nascimento: Belém/PA, 1986 Formação: Engenharia de Controle e Automação (UFSC, 2008). Experiência profissional: Atua desde outubro de 2008 na equipe de pesquisa e desenvolvimento da REIVAX, tendo trabalhado em diversos projetos de controladores de velocidade e tensão.</p>
	<p>Autor 5: Nome: Cristiano Bühler Local/Ano nascimento: Passo Fundo/RS, 1983 Formação: Engenharia Elétrica (UFSC, 2006), Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSC, em andamento). Experiência profissional: Atua desde 2007 na Reivax S/A como engenheiro, tendo como engenheiro de campo (testes e comissionamento), estudos especiais (modelagem de unidades geradoras e controladores), supervisão da equipe de testes e comissionamento, engenheiro de projetos, coordenador de capacitação técnica.</p>
	<p>Autor 6: Nome: José M. Toledo Local/Ano nascimento: Ipaussu, SP, 1969. Formação: Graduação em Engenharia Elétrica (INTESP, 2006), Pós-Graduação em Gestão, Inovação e Competitividade Empresarial (IMBRAPE, 2009); Pós Graduação em Engenharia de Segurança (INTESP, em andamento). Experiência profissional: Atua desde 1988 no setor elétrico, hoje na CTG Brasil, atuando na manutenção eletroeletrônica nas usinas da empresa e comissionamento de sistemas de regulação de tensão e velocidade.</p>
	<p>Autor 7: Nome: Leonardo Leoncini Local/Ano nascimento: Guaraçai/SP, 1968 Formação: Engenharia Elétrica (INTESP, 2006), MBA em Gerenciamento de Projetos (FGV, 2011) Experiência profissional: Desde 1988 na área de geração de energia elétrica, Eng^o Eletricista Consultor na CTG Brasil, experiência em gestão de projetos, manutenção centrada em confiabilidade, planejamento, elaboração e controle de cronogramas; atividades de engenharia de manutenção, planejamento e controle de manutenções preditivas e preventivas, comissionamento de novos equipamentos, reguladores de velocidade, proteções elétricas, reguladores de tensão e demais sistemas de controle de processos digitais ou analógicos aplicados a usinas hidrelétricas</p>
	<p>Autor 8: Nome: Ricardo Vechin de Macedo Local/Ano nascimento: Araras/SP, 1977. Formação: Graduado em Engenharia Mecânica pela UNESP em 2004. Especialização MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Uberaba em 2011. Mestrado em Engenharia Mecânica pela UNESP em 2014. Experiência profissional: Professor da Escola Técnica Estadual de Ilha Solteira entre 2003 e 2007. Manutenção, reforma e montagem de empreendimentos hidrelétricos na Servtec Serviços Técnicos de 2005 a 2007. Desde 2008 é Engenheiro Mecânico no setor de manutenção mecânica da UHE Cachoeira Dourada.</p>