



**XXIII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GGH/20  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO - I**

**GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**MODELAGEM DINÂMICA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR ENTRE UMA UNIDADE GERADORA DA  
USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU E SEU SISTEMA DE ÁGUA PURA.**

**Danilo Simon  
UNIOESTE**

**Rui Jovita G.C.da Silva  
ITAIPU BINACIONAL**

**Eduardo Moreira  
UNIOESTE**

**RESUMO**

O aquecimento da unidade geradora é um dos principais fatores que limitam a potência instalada das usinas hidrelétricas, fato que indica a necessidade de se investir na melhoria dos sistemas de resfriamento para tais unidades geradoras, buscando atender a crescente demanda por energia e vencer o desafio frente as dificuldades cada vez maiores de novos empreendimentos de geração, impostas por restrições ambientais. O estator das unidades geradoras da Usina Hidrelétrica de Itaipu é resfriado por um sistema de água pura, denominado assim porque é baseado na circulação de água desmineralizada e desionizada pelo interior de suas barras estatóricas, e os demais componentes são resfriados por um sistema de circulação de ar. Face a grande influência do sistema de resfriamento nas condições operativas das unidades geradoras, torna-se conveniente uma análise dinâmica do seu funcionamento, por meio de modelos matemáticos, de forma que se possa conhecer melhor o sistema de água pura e sua influência sobre as limitações e condições do equipamento. Este trabalho apresenta o desenvolvimento do modelo dinâmico das trocas de calor que influenciam no aquecimento do estator e do rotor de uma unidade geradora da Usina de Itaipu, assim como do sistema de água pura. Posteriormente são apresentadas as simulações que validaram o modelo, desenvolvido por meio do software Matlab/Simulink.

**PALAVRAS-CHAVE**

Transferência de calor. Sistema de água pura. Unidade geradora. Sistemas dinâmicos.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Em decorrência da crescente demanda por energia elétrica, tanto mundial como brasileira, aliada as questões ambientais cada vez mais influentes nas matrizes energéticas atuais, investe-se fortemente em fontes de energia renováveis, onde a energia hidrelétrica é uma das principais fontes, devido a sua confiabilidade e flexibilidade de geração. Apesar do crescimento das fontes renováveis, a matriz energética mundial tem como base a geração de energia por meio de combustíveis fósseis e nucleares, situação que se inverte em alguns países como o Brasil, onde 76,9% da energia elétrica gerada é proveniente de usinas hidrelétricas [1] e cerca de 17% é gerada pela Usina Hidrelétrica de Itaipu [2], que também fornece 72% da energia elétrica consumida no Paraguai.

Considerando que a potência gerada nas unidades é proporcional a sua temperatura [3], e que tal temperatura não deve exceder os limites impostos pelo material isolante que a constitui, torna-se necessário o controle da temperatura para que a potência gerada não tenha que ser reduzida de forma a minimizar o aquecimento. A principal forma de controle é utilizar sistemas de resfriamento. Na Usina Hidrelétrica de Itaipu é empregado nos geradores um sistema de resfriamento que consiste na circulação de água desmineralizada pelos condutores do

estator da unidade geradora, cada uma delas com potência nominal de 700MW. Esse sistema é denominado de sistema de água pura, responsável por proporcionar uma redução de 30% nas dimensões da unidade [4].

Dessa forma, o sistema de água pura é de suma importância para o funcionamento e eficiência da unidade geradora de Itaipu, uma vez que a potência da unidade seria de apenas 200 MW no caso de sua indisponibilidade. Além disso, ao controlar a temperatura, exerce também grande influência na vida útil do estator da máquina. Portanto, face a grande influência do sistema de água pura nas condições operativas das unidades geradoras, torna-se conveniente uma análise dinâmica do seu funcionamento, por meio de modelos matemáticos, de forma que se possa conhecer melhor o sistema de água pura e sua influência sobre as limitações e condições do equipamento, variações de carga e mecanismos de transferência de calor.

O presente trabalho relata a experiência adquirida durante um estágio supervisionado e mostra o desenvolvimento de um modelo que relaciona, dinamicamente, a geração de energia em uma unidade de Itaipu, com a transferência de calor do estator para o sistema de água pura. Apresenta também as simulações que validaram o modelo, confrontando os resultados com dados reais da operação. O desenvolvimento permite a avaliação de desempenho do sistema de resfriamento, aumentando o domínio técnico sobre o sistema, assim como o comportamento esperado frente a possíveis defeitos no sistema de resfriamento.

## 2.0 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO DA UNIDADE GERADORA DA USINA DE ITAIPU

### 2.1. Sistema de resfriamento por água pura

O sistema de resfriamento por água pura instalado nas unidades geradoras da Usina de Itaipu é do tipo interno, que consiste no escoamento de água desmineralizada e desionizada, no caso o fluido refrigerante, em ciclo fechado pelo interior das barras que compõem o estator da unidade geradora, percorrendo o circuito mostrado na Figura 1. As bombas de circulação forçam a passagem da água pura pelo interior das barras estatóricas, onde absorve energia térmica pelo fenômeno da convecção, ressalta-se o fato de que o fluido refrigerante está sujeito a uma variação de volume durante seu aquecimento o que torna indispensável à utilização do tanque de expansão.

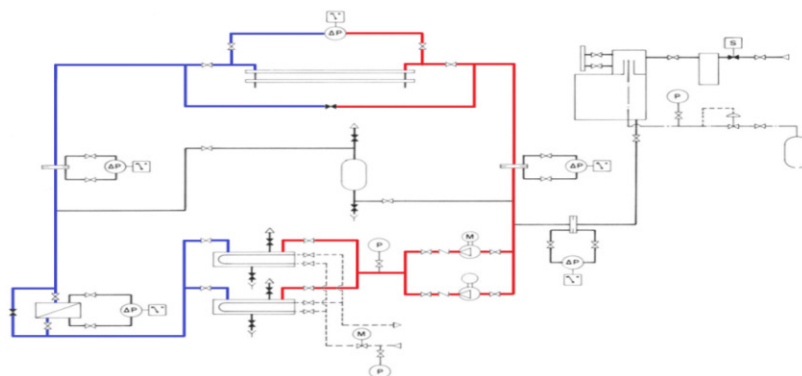


FIGURA 1 – Circuito de circulação da água pura das unidades geradoras da Usina de Itaipu.

Depois de passar pelos circuitos hidráulicos do estator, a água pura é bombeada para os trocadores de calor água pura/água bruta onde o calor armazenado nas barras estatóricas é dissipado para a água bruta. Os trocadores de calor são do tipo casco e tubo com fluido em contra corrente, onde a troca é realizada principalmente por convecção. Após resfriada, a água pura passa pelo processo de filtragem tanto mecânica como magnética e desionização com posterior correção de seu pH e só então retorna para o estator de modo a refrigerá-lo e completar seu ciclo.

### 2.2. Sistema de resfriamento a ar

Além do sistema de resfriamento por água pura, as unidades geradoras possuem também um sistema de resfriamento a ar que tem o objetivo de resfriar a coroa e os pólos do rotor além da carcaça e o núcleo do estator. Este sistema é baseado na circulação de ar promovida pela ação centrífuga no ar do rotor, onde o ar circula radialmente por meio de dutos na coroa magnética do rotor passando por entre os pólos e posteriormente pelo entreferro e dutos do núcleo estatórico.

Ao passar pela carcaça do estator o ar adentra em 16 trocadores de calor ar/água bruta, dispostos simetricamente na circunferência externa, sendo que a troca de calor se dá principalmente por convecção. Depois de resfriado pelos trocadores, o ar é direcionado por defletores para que circule dentro do invólucro em que se encontra o gerador e assim complete o ciclo de resfriamento, como pode se verificar na Figura 2.

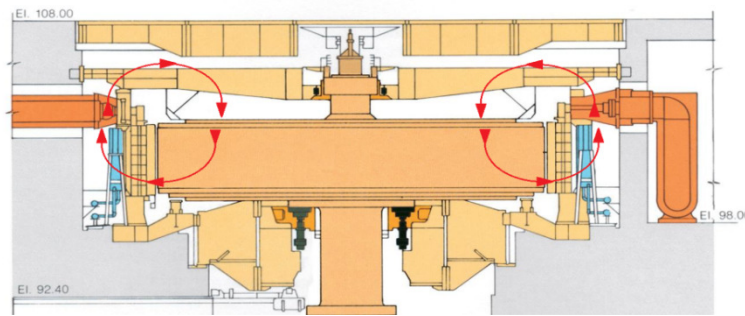


FIGURA 2 – Diagrama do circuito de ar de resfriamento na unidade geradora

### 3.0 - SELEÇÃO DA UNIDADE A SER MODELADA

A Usina de Itaipu possui 20 unidades geradoras, sendo 10 em 50Hz e 10 em 60Hz, além disso, as unidades foram produzidas por dois fabricantes diferentes, de tal forma que há quatro tipos de unidades diferentes sob o aspecto construtivo do circuito de circulação da água pura: em 50Hz do fabricante Siemens, em 50Hz do fabricante ABB, em 60Hz do fabricante Siemens e em 60Hz do fabricante ABB. Por simplicidade, foi selecionada uma unidade para o desenvolvimento da modelagem. A seleção de uma unidade visa principalmente escolher aquela que está sujeita a maiores variações de temperatura, sendo que o desenvolvimento do modelo pode ser aplicado a qualquer outra unidade sem dificuldade adicional.

Para escolha da unidade crítica de cada tipo foram comparadas as temperaturas no sistema de água pura de todas as unidades utilizando dados de um período operativo de três meses. Já a seleção da unidade que seria modelada foi baseada no histórico de medições mensais de temperatura de cada circuito do período entre maio de 2008 e abril de 2014. A partir destes dados define-se a aproximação linear para a unidade selecionada de cada tipo de circuito, pelo método dos mínimos múltiplos quadrados, relacionando, em regime permanente, a temperatura da água na saída do estator com a corrente no estator da unidade.

De posse das equações lineares das unidades selecionadas, representadas na Figura 3, a inclinação da reta representa a taxa de variação de temperatura em relação à corrente no estator. Deve-se observar ainda que tais retas de tendência não podem ser comparadas com a lei que rege os limites de temperatura da água pura, pois os dados que definem a reta são somente para uma faixa que compreende temperaturas entre 40°C a 70°C e correntes de 16kA a 24kA.

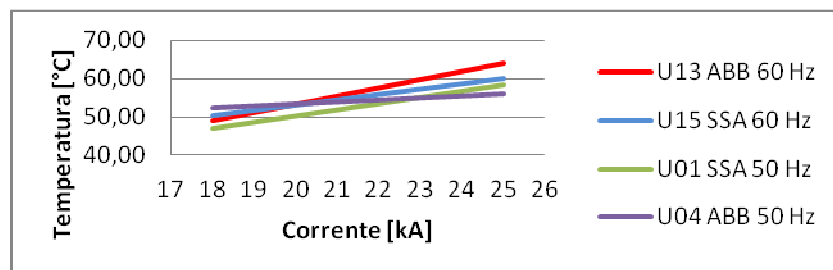


FIGURA 3 – equações de aquecimento da água pura de cada tipo de unidade

De acordo com as equações representadas na Figura 3, observa-se que a unidade 13, representando o tipo de circuito de água pura das unidades geradoras em 60Hz de fabricação ABB é aquela que apresenta maior sensibilidade na temperatura do sistema de água pura em relação as variações na corrente do estator. Desta forma, esta unidade será a selecionada para o desenvolvimento da modelagem dinâmica do sistema de água pura.

### 4.0 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO DINÂMICO

#### 4.1. Equação da continuidade

O primeiro passo para analisar um sistema do ponto de vista de transferência de energia ou de massa é o entendimento de um volume de controle. Um volume de controle é definido por uma superfície chamada superfície de controle a qual limita uma região, sistema ou processo do qual se faz uma análise [5]. O volume de controle pode expandir-se ou comprimir de acordo com o processo analisado, portanto suas propriedades podem variar ao longo do tempo.

A equação da continuidade [5], definida como a taxa de variação de acúmulo massa em um volume de controle, é dada pelo somatório da taxa massa que entra neste volume decrescido do somatório da taxa massa que sai do mesmo:

$$\frac{dm_{v,c}}{dt} = \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s \quad (4.1)$$

Equaciona-se por fim a taxa de mudança de energia no interior do volume de controle por meio de um balanço de energia, em que a energia armazenada no sistema se deve as taxas líquidas de calor transferido, trabalho e a variação e de entalpia como descrito na equação (4.2):

$$\frac{dE_{v,c}}{dt} = \dot{Q}_{v,c} - \dot{W}_{v,c} + \sum \dot{m}_e h_{tot,e} - \sum \dot{m}_s h_{tot,s} \quad (4.2)$$

#### 4.2. Volumes de controle

O modelo matemático desenvolvido assume caráter causal, dinâmico, determinístico, de parâmetros concentrados, linear, invariante no tempo e contínuo. As grandezas de entrada do modelo são a corrente de excitação, a corrente no estator e a vazão de água bruta nos trocadores de calor Ar/Água bruta e Água pura/Água bruta, além da temperatura inicial da água bruta. A principal grandeza de saída do modelo é a temperatura da água pura na saída do estator.

Uma vez definida a unidade geradora objeto de estudo, assim como as características do estudo, pode-se desenvolver o modelo matemático por meio das equações de balanço de energia, aliadas as equações de transferência de calor. Além de não lineares, essas equações necessitam de diversos parâmetros de difícil obtenção. De modo a reduzir a complexidade do modelo e tratando-se de um trabalho a nível de graduação universitária, optou-se por produzir um modelo linear. Assim, além das equações de calor e energia, ainda se faz necessário a linearização em torno de um ponto de operação, a utilização da transformada de Laplace e seu princípio de superposição, para que se possa obter o modelo, o que acarreta a necessidade de se utilizar séries de Taylor e de regressão linear múltipla para que se obtenha as equações linearizadas que descrevem o comportamento dos fenômenos de transporte de energia.

A metodologia empregada no modelo parte do princípio de subdividir o sistema em blocos menores representados pelos seus volumes de controle, para os quais se aplica as equações de balanço de energia. A partir destes preceitos subdivide-se a unidade geradora em sete blocos ou sete volumes de controle, listados e descritos de maneira sucinta no Quadro 1, cujo diagrama de blocos é apresentado em anexo.

#### 4.3. Determinação dos parâmetros

Determinados os modelos matemáticos do enrolamento estatórico, núcleo estatórico, rotor, trocadores de calor água pura/água bruta, ar/água bruta, ar de resfriamento e água pura, pode-se determinar por meio de regressão linear múltipla cada constante de suas equações com o auxílio da função "regress" disponível nas bibliotecas do Matlab.

Desta forma agrupou-se os dados disponíveis das medições feitas pela SMIL.DT no período de 21.09.2004 a 13.03.2014 que representam as variáveis de cada uma das equações que modelam o sistema, devido o contingente de dados ser grande assim como o número de equações do modelo, descreve-se a obtenção dos parâmetros referentes a equação que modela o enrolamento estatórico da unidade geradora como analisado no QUADRO 1.

$$-k_3 I(s) = -k_7 T_{fs}(s) + k_5 T_{rot}(s) - k_4 T_{env}(s) + k_6 T_{ar}(s) + k_8 [T_{exp}(s) - T_{sdp}(s)] \quad (4.3)$$

Elimina-se os termos transientes da equação de modo a facilitar o processo de determinação dos parâmetros em regime permanente, como fora descrito pela equação 4.3, desta forma gera-se um matriz de dados correspondente as variáveis do modelo, onde cada coluna representa um conjunto de temperaturas provenientes de medições no enrolamento, rotor, ar, núcleo e a diferença de temperaturas de entrada e saída de água pura, além de uma coluna de constantes que representa o parâmetro independente da equação. Há a necessidade também de se desenvolver um vetor com dados da variável de resposta da equação, no caso, com dados de corrente gerada no estator.

Desta forma têm-se condições de se definir os parâmetros de cunho linear que regem as equações, que tem como entradas o vetor de corrente e a matriz de temperaturas possuindo como resposta um vetor com os parâmetros que representam a reta que melhor se adapta aos dados inseridos. Os parâmetros obtidos são apresentados na Tabela 1.

QUADRO 1: Descrição e equacionamento dos volumes de controle empregados no modelo dinâmico

Volume de controle	Descrição	Equação
Enrolamento estatórico	Abrange todos os circuitos elétricos/hidráulicos que compõem o enrolamento estatórico bem como seu isolamento, conexões e outros componentes;	$k_1 \frac{d\theta_{envr}(t)}{dt} = -k_2 \frac{d\theta_{fs}(t)}{dt} + k_3 i(t) - k_4 \theta_{envr}(t) + k_5 \theta_{rot}(t) + k_6 \theta_{ar}(t) - k_7 \theta_{fs}(t) + k_8$
Núcleo estatórico	Engloba o núcleo estatórico como um todo assim como a carcaça do estator e os demais componentes de sustentação;	$k_2 \frac{d\theta_{fs}(t)}{dt} = -k_1 \frac{d\theta_{envr}(t)}{dt} + k_3 i(t) - k_4 \theta_{envr}(t) + k_5 \theta_{rot}(t) + k_6 \theta_{ar}(t) - k_7 \theta_{fs}(t) + k_8$
Rotor	Abrange o rotor por completo incluindo, portanto, Pólos, Enrolamento de excitação, Coroa, Cubo e Aranha do rotor;	$k_{10} \frac{d\theta_{rot}(t)}{dt} = k_{11} i_{exc}(t) - k_{12} \theta_{rot}(t) + k_{13} \theta_{fs}(t) + k_{14} \theta_{envr}(t) - \dot{E}_{currot}(t) + k_{16}$
Água Pura	Volume de controle que envolve toda a água pura contida e circulada no sistema em seu circuito fechado;	$k_{30} \frac{d\theta_{ap}(t)}{dt} = k_{31} [\theta_{envr}(t) - \theta_{sap}(t)] + E_{atrr} - q(t)$
Ar de resfriamento	Volume de controle que envolve todo o ar contido e circulado no sistema em seu circuito fechado;	$k_{32} \frac{d\theta_{sar}(t)}{dt} + k_{35} \theta_{sar}(t) = k_{33} \theta_{envr}(t) + k_{34} \theta_{rot}(t) - q_{ar}(t)$
Trocador de calor Ar/Água Bruta	Volume de controle que abrange todos os 16 trocadores de calor Ar/Água bruta;	$k_{16} \frac{d\theta_{sabr}(t)}{dt} \cong q(t) - k_{16} [\theta_{sabr}(t) - \theta_{sabr}(t)] - k_{17} \dot{m}_{sabr}(t) + k_{18}$ $q(t) \cong k_{23} [\theta_{sar}(t) - \theta_{sabr}(t)] + k_{24} [\theta_{sar}(t) - \theta_{sabr}(t)] + k_{25}$ $k_{32} \frac{d\theta_{sar}(t)}{dt} = -q(t) + k_{29} [\theta_{sar}(t) - \theta_{sar}(t)]$
Trocador de calor Água Pura/Água Bruta	Volume de controle que abrange os 2 trocadores de calor Água Pura/Água bruta presentes no sistema.	$k_{36} \frac{d\theta_{sab}(t)}{dt} \cong q(t) - k_{20} [\theta_{sab}(t) - \theta_{sab}(t)] - k_{21} \dot{m}_{sab}(t) - k_{22}$ $q(t) \cong k_{17} [\theta_{sap}(t) - \theta_{sabr}(t)] + k_{18} [\theta_{sap}(t) - \theta_{sabr}(t)] + k_{19}$ $k_8 \frac{d\theta_{sap}(t)}{dt} = -q(t) - k_{30} [\theta_{sap}(t) - \theta_{sap}(t)]$

TABELA 1: Parâmetros adotados com seus respectivos valores encontrados por meio de regressão linear

Parâmetros Valores													
$E_{atrr}$	15000	$k_5$	$0,22 \cdot 10^5$	$k_{10}$	$1,74 \cdot 10^8$	$k_{15}$	$2,35 \cdot 10^5$	$k_{20}$	$0,15 \cdot 10^6$	$k_{25}$	$0,44 \cdot 10^5$	$k_{30}$	$0,86 \cdot 10^6$
$k_1$	$2,15 \cdot 10^7$	$k_6$	$0,84 \cdot 10^5$	$k_{11}$	$1,66 \cdot 10^3$	$k_{16}$	$8,21 \cdot 10^6$	$k_{21}$	$4,18 \cdot 10^4$	$k_{26}$	$0,55 \cdot 10^6$	$k_{31}$	$2616,85$
$k_2$	$2,76 \cdot 10^6$	$k_7$	$1,23 \cdot 10^5$	$k_{12}$	$0,67 \cdot 10^4$	$k_{17}$	$0,21 \cdot 10^5$	$k_{22}$	$2,65 \cdot 10^6$	$k_{27}$	$1,84 \cdot 10^4$	$k_{32}$	$0,12 \cdot 10^6$
$k_3$	368,4	$k_8$	$0,86 \cdot 10^5$	$k_{13}$	$0,36 \cdot 10^4$	$k_{18}$	$0,81 \cdot 10^5$	$k_{23}$	$1,32 \cdot 10^5$	$k_{28}$	$5,46 \cdot 10^6$	$k_{33}$	$0,18 \cdot 10^5$
$k_4$	$2,07 \cdot 10^5$	$k_9$	$9,68 \cdot 10^6$	$k_{14}$	$0,59 \cdot 10^3$	$k_{19}$	$4,28 \cdot 10^6$	$k_{24}$	$1,00 \cdot 10^5$	$k_{29}$	$0,75 \cdot 10^5$	$k_{34}$	$0,31 \cdot 10^4$

## 5.0 - RESULTADOS

Uma vez equacionado, o modelo foi implementado no software Matlab/Simulink. Para a validação do modelo foram realizadas simulações de condições operativas observadas em tempo real.

### 5.1. Aumento e redução da corrente do estator

A aferição do modelo foi efetuada com a observação da variação de temperatura na saída de água pura do estator para as simulações de aumento e de redução na corrente do estator. O modelo também permite a obtenção dos valores da corrente de excitação, temperatura de entrada de água bruta, as vazões de água bruta que refrigeram os trocadores de calor ar/água e a vazão da água bruta que refrigera os trocadores de calor água pura/água bruta. A Figura 4 compara a resposta do modelo para uma rampa de aumento de 4,3kA na corrente do estator. A Figura 5 compara a resposta do modelo para uma rampa de redução de 2,3kV na corrente do estator.

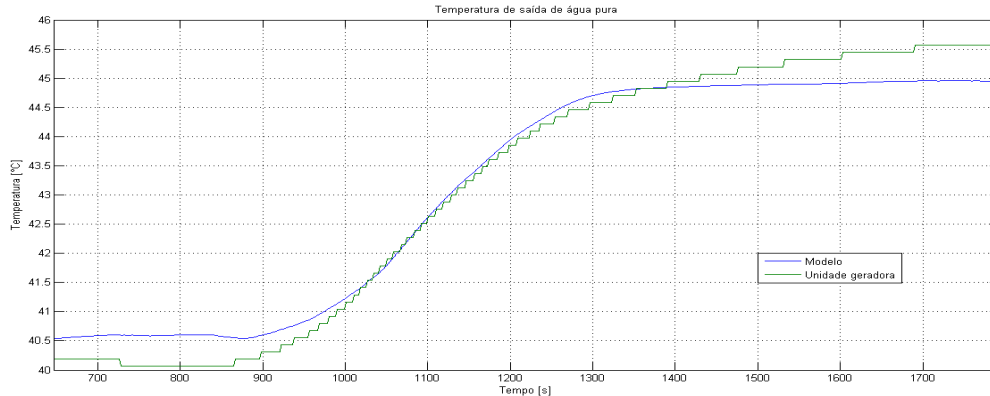


FIGURA 4 – resposta ao aumento de corrente do estator

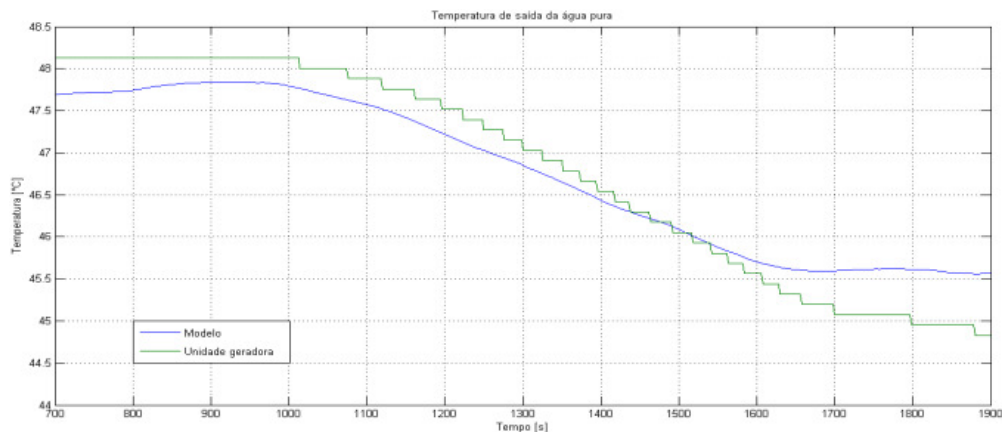


FIGURA 5 – resposta a redução de corrente do estator

A observação das duas figuras mostra que o modelo descreve uma curva muito próxima da real para a variação de temperatura, tanto em termos de valor final quanto em termos da dinâmica, tanto para o aumento quanto para a redução da corrente do estator. Destaca-se, entretanto, que a simulação de redução de corrente apresentou um erro maior que a simulação do aumento da corrente. Credita-se essa diferença aos valores de temperatura se afastarem da faixa utilizada na regressão linear para determinação dos parâmetros.

### 5.2. 24h de operação

São comparados os dados reais de variação de potência da Unidade 13, a cada 2s, bem como a temperatura da água pura na saída do estator nas 24 horas de operação do dia 9.10.2014. A Figura 6 compara a simulação com os dados reais. A análise da Figura 5 mostra que para este período o erro máximo foi de aproximadamente 3°C. Credita-se essa diferença ao fato dos valores de temperatura superarem a zona de linearização utilizada no modelo, apesar disso, o erro máximo representa um erro percentual de aproximadamente 6%. Outro ponto que influencia no desempenho da simulação de 24 horas é que a temperatura inicial utilizada na simulação foi ajustada para o início do dia, causando um acúmulo de erro ao longo do dia. Destaca-se, entretanto, que o desempenho dinâmico do modelo é praticamente igual ao desempenho observado na realidade, verificado pela grande similaridade na forma e nos valores expressos pelas curvas, real e simulada. Portanto, o modelo pode ser validado como representativo da dinâmica de transferência de calor da unidade geradora para o sistema de água pura.



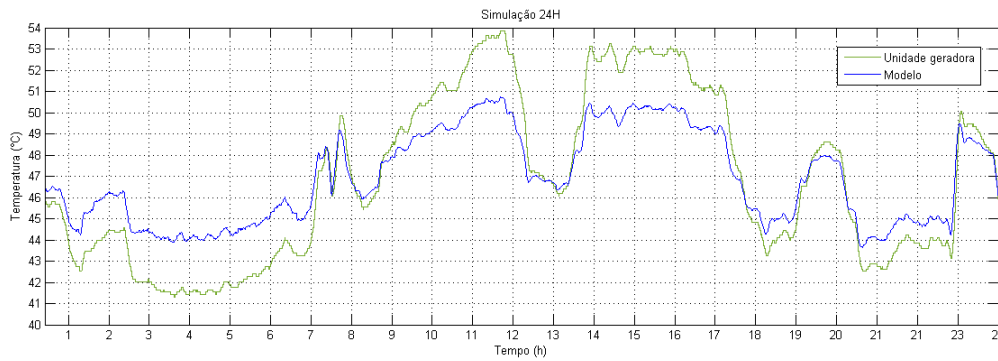


FIGURA 6 - comparação entre as respostas, real e simulada para 24 horas de operação.

## 6.0 - CONCLUSÃO

O trabalho apresentou o desenvolvimento do modelo dinâmico da transferência de calor entre uma unidade geradora da usina hidrelétrica de Itaipu e seu sistema de água pura, isto é, modelar a dinâmica do aquecimento da unidade geradora em função da condição operativa, considerando a influência do sistema de resfriamento por água pura. Foram apresentadas as equações completas e descritas as simplificações realizadas para a obtenção do modelo. A determinação dos parâmetros do modelo também foi apresentada. Foi utilizada metodologia de regressão linear múltipla nessa determinação, utilizando dados operativos e de ensaios disponíveis na Itaipu.

Foi apresentado também o critério adotado para a seleção da unidade geradora a ser utilizada na modelagem, selecionando a unidade e o tipo de circuito com maior criticidade em relação à taxa de variação da temperatura de saída da água pura do estator. A aplicação do critério resultou na seleção da unidade 13, de frequência nominal de 60 Hz e fabricação ABB.

As simulações realizadas para aferir o modelo mostram uma boa fidelidade em relação a resposta real, concluindo-se que a metodologia utilizada é adequada para esse tipo de desenvolvimento. Os erros obtidos na simulação manifestam-se principalmente em relação ao regime permanente, pois a dinâmica das variações de temperatura resultante das simulações, principal objetivo do trabalho, foi praticamente fiel a dinâmica observada na realidade.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



[1] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2022. 2013.

[2] ITAIPU BINACIONAL. Potência gerada. 2014. Disponível no Sistema de Arquivo Técnico da Itaipu Binacional

[3] KOSOW, IRVING L. Máquinas Elétricas e Transformadores. 4. Porto Alegre:Globo, 1982.

[4] BEGNINI, H. B. Proteções mecânicas e ajustes do sistema de água pura das unidades geradoras da usina hidrelétrica de Itaipu, Foz do Iguaçu, 2011.

[5] BORGNACKE, C; SONNTAG, E.; Fundamentos da termodinâmica. 7,ed. São Paulo:Blücher, 2006.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

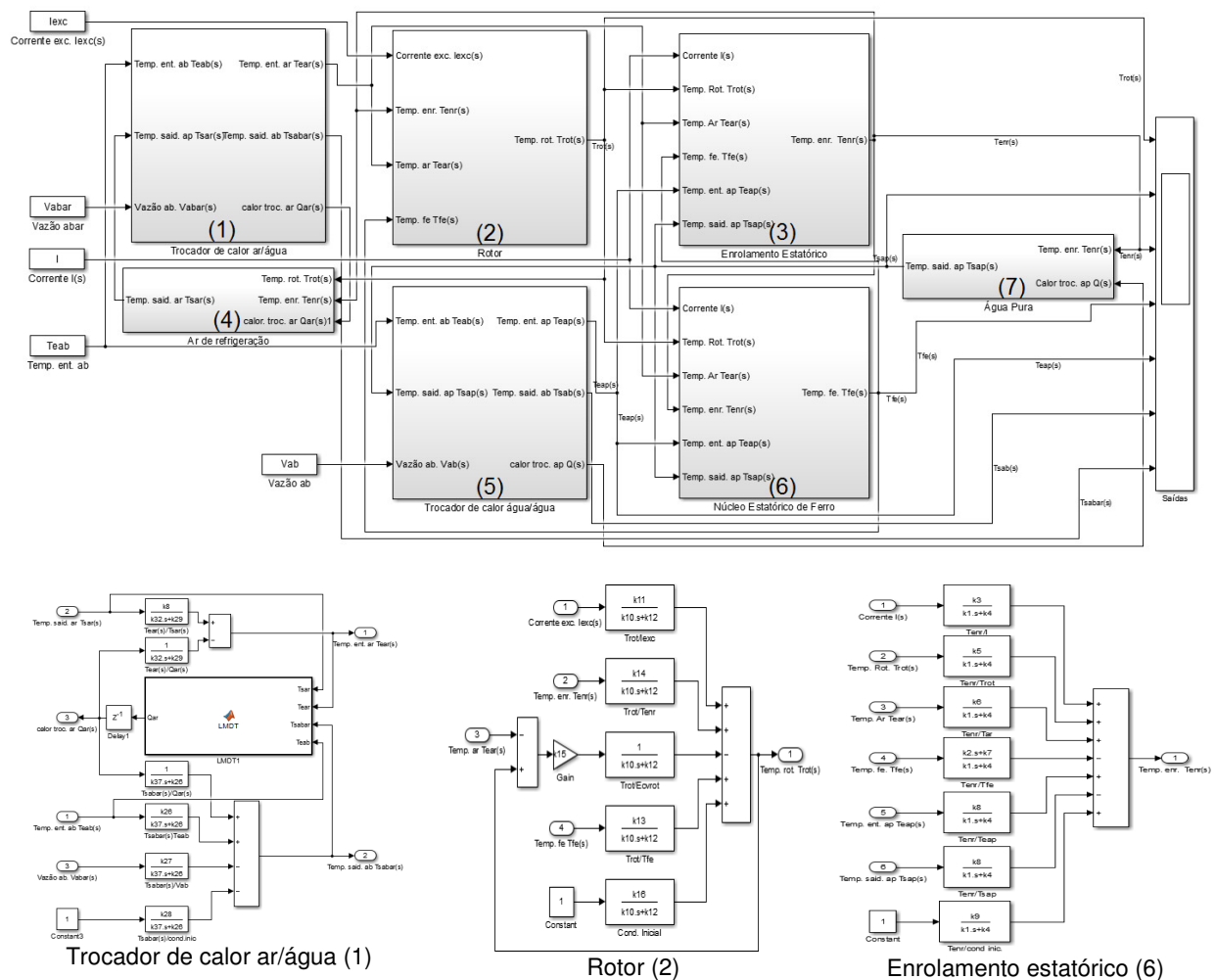
Danilo Simon (simon.danilo@hotmail.com). Nasceu em Guarapuava-PR em 1992, graduou-se em engenharia mecânica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2014).

Rui Jovita Godinho Corrêa da Silva (ruijcs@itaipu.gov.br). Nasceu em Belém-PA em 1962, graduou-se em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Pará (1983), sendo mestre (1990) e doutor (2007) pela Universidade Federal de Itajubá, também em engenharia elétrica. Trabalha na Itaipu Binacional desde 1989 envolvido com a elaboração de procedimentos operativos e com a realização de estudos elétricos voltados para o

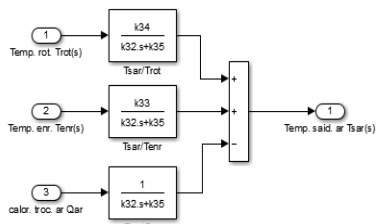
horizonte de operação de médio e curto prazo, incluindo a análise de sistemas elétricos em regime permanente, dinâmico e transitório, sistemas de proteção e controle.

Eduardo Moreira (moreiraarquivo@gmail.com). Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (1977), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (1987) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2002). Atuou como Engenheiro Mecânico nas Centrais Elétricas do Sul do Brasil S/A - ELETROSUL por 11 anos e na Itaipu Binacional por 16 anos. Atualmente é professor adjunto da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia Manutenção, atuando principalmente nos seguintes temas: manutenção e comissionamento de usina hidrelétrica, acompanhamento de desempenho de equipamentos, processo de lubrificação, gerenciamento de processos, planejamento estratégico, gerenciamento de projeto, gestão do conhecimento e logística de suprimento de materiais.

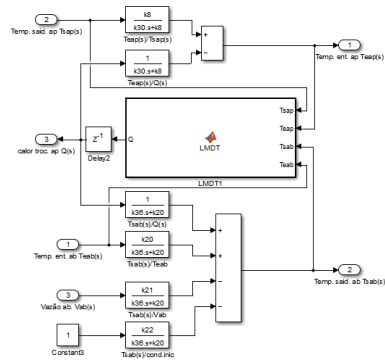
Anexo – Diagrama de blocos do modelo



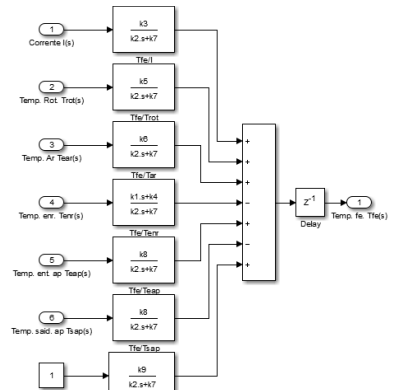




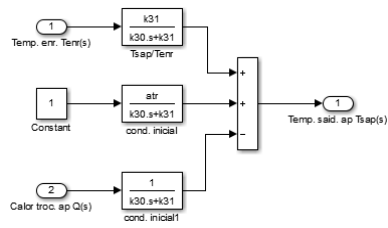
Ar de refrigeração (4)



Trocador de calor água/água (5)



Núcleo estático (6)



a pura (7)

Água