



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

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -GGH

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE GRÁFICA PARA AUXÍLIO EM TESTES DE IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMA E PROJETO DE CONTROLADOR DIGITAL DE UMA UNIDADE GERADORA DE GRANDE PORTE

Marcus C. M. Gomes(*) UFPA	Carlos T. da Costa Jr. UFPA	Walter Barra Jr. UFPA	
José A. L. Barreiros UFPA	Fabício G. Nogueira UFPA	Anderson R. Moraes UFPA	
Paulo S. Nascimento Filho UFPA	Jânio J. de Lana ELETRONORTE	Ricardo A. Campos ELETRONORTE	Jefferson F. Barbosa ELETRONORTE

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e teste de campo de uma interface gráfica Homem-Máquina (IHM) para uso em um Estabilizador de sistemas de potência (ESP) digital. O estabilizador digital é um protótipo desenvolvido para amortecimento de oscilações eletromecânicas na Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí. A interface desenvolvida permite automatizar diversas tarefas durante os ensaios em campo, tais como: testes de identificação paramétrica, filtragem digital e estimação espectral dos dados coletados. Os testes apresentados neste trabalho foram realizados em uma unidade geradora de 350 MVA da UHE de Tucuruí, utilizando-se técnicas de estimação paramétrica e cálculo dos coeficientes do estabilizador.

PALAVRAS-CHAVE

IHM, Identificação de Sistemas, ESP digital, UHE Tucuruí.

1.0 - INTRODUÇÃO

A crescente complexidade dos atuais sistemas de potência, bem como a necessidade de maior confiabilidade e segurança na operação do sistema interligado nacional (SIN) deu origem a diversos trabalhos de pesquisa realizados em parceria entre universidades e empresas geradores. O objetivo tem sido melhorar a estabilidade transitória e a pequenos sinais, amortecer oscilações eletromecânicas que se manifestam no sistema elétrico. A exemplo de tal afirmação apresentou-se em [Lana,2009] o desenvolvimento do protótipo de um estabilizador de sistema de potência (ESP) digital para amortecer oscilações eletromecânicas na usina hidrelétrica de Tucuruí, projeto realizado pelas Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE) em parceria com a Universidade Federal do Pará (UFPA). Os resultados apresentados neste artigo foram obtidos no âmbito do referido projeto de pesquisa. Apresentam-se tanto o desenvolvimento quanto os testes de campo de uma interface gráfica homem-máquina (IHM) para utilização em testes de campo visando avaliar o desempenho de um estabilizador de sistemas de potência digital na usina hidrelétrica (UHE) de Tucuruí. Dentre as funcionalidades inovadoras embutidas na IHM estão a identificação de sistemas e o cálculo dos parâmetros de controlador digital. Tais conceitos ainda são novos para o pessoal envolvido na operação de usinas elétricas e nas empresas de geração de energia em geral, o que destaca o caráter inovador desta IHM desenvolvida. A mesma permite automatizar diversas tarefas realizadas quando da sintonia de um controlador, em campo, pelos operadores. Isso aumenta a produtividade da equipe

durante a realização dos respectivos ensaios, a partir da incorporação de rotinas para realização de testes de identificação paramétrica, filtragem digital e estimação espectral dos dados coletados em campo.

A apresentação deste trabalho está estruturado da seguinte forma. Na seção 2 são apresentados os conceitos referentes à teoria de identificação de sistemas e projeto de controlador digital baseado na abordagem de alocação de polos as quais foram embutidas na IHM desenvolvida. Na seção 3 é feito uma apresentação do problema das oscilações eletromecânicas, assim como também é apresentado o ambiente de realização dos ensaios em campo em uma unidade hidro-geradora (UHG) da UHE de Tucuruí onde a IHM foi utilizada juntamente com o ESP digital. Na seção 4 é realizado uma apresentação da IHM desenvolvida ao passo que se destaca as melhorias e vantagens do seu desenvolvimento. Na seção 5 faz-se uma avaliação do desempenho da IHM desenvolvida em um dos testes em campo com o protótipo do ESP digital em uma UHG na UHE de Tucuruí para verificação da eficiência da interface quando capaz de automatizar a sintonia do controlador diante o amortecimento de oscilações eletromecânicas. Por fim, na seção 6, o trabalho é concluído e algumas considerações são feitas diante da melhoria apresentada.

2.0 - NOÇÕES BÁSICAS DE ESTIMAÇÃO PARAMÉTRICA E DE PROJETO DE CONTROLADORES DIGITAIS

2.1 Estimação Paramétrica e Identificação de Sistemas

Identificação de sistemas consiste em determinação de modelos matemáticos que representem os aspectos essenciais do sistema, através do processamento de sinais disponíveis de estímulo e resposta de um determinado sistema, e que estão relacionadas com a obtenção de uma representação seja na forma de função de transferência quanto na forma de espaço de estados. Destaca-se a metodologia composta pelas seguintes etapas principais:

- Escolha dos sinais de excitação e coleta de dados;
- Seleção da estrutura e representação matemática a ser usada pelo modelo;
- Estimação dos parâmetros do modelo, e por fim;
- Validação do modelo identificado.

2.1.1..Escolha Sinais de Excitação e Aquisição de Dados

Na realização da coleta de dados de entrada e saída de sistemas, para fins de identificação, é essencial a seleção de um sinal de excitação com um rico espectro de frequência de modo a cobrir a largura de banda referente aos fenômenos de interesse da planta a ser identificada. Uma solução padrão na prática é obtida com o uso de sinais do tipo “sequência binária pseudo aleatória” [Aguirre, 2007]. Uma sequência binária pseudo aleatória (SBPA) é uma sequência de pulsos retangulares, modulados em largura, com o espectro semelhante ao de um ruído branco em uma faixa de frequências de interesse. A sequência SBPA é gerada através do uso de registradores de deslocamento com realimentação. O valor do número de células do registrador, N , e tempo de atualização de bits, T_{bit} , são escolhidos de acordo com uma faixa efetiva de frequências desejada que se deseja excitar, segundo mostrado na equação 2.1 [Horowitz e Hill].

$$f_{\min} = \frac{1}{(2^N - 1)T_{bit}} \leq f_{desejada} \leq \frac{1}{3T_{bit}} = f_{\max} \quad (2.1)$$

2.1.2..Escolha da Representação Matemática e Seleção da Estrutura do Modelo

Quando o objetivo é obter um modelo linear em torno de um ponto de operação, através de dados amostrados, pode-se utilizar um modelo paramétrico linear discreto, como o modelo auto-regressivo com entradas externas (ARX). Um modelo ARX é representado no domínio do tempo discreto pela seguinte equação em 2.2. Onde q^{-1} representa o operador atraso, $y(k)$ e $u(k)$ são respectivamente os sinais de entrada e saída do sistema, e d o atraso de transporte considerado ao sistema. E $A(q^{-1})=1+a_1q^{-1}+...$ e $B(q^{-1})=b_1q^{-1}+...$ são polinômios em q^{-1} , tendo como coeficientes do modelo a serem encontrados, na forma das equações 2.3 e 2.4, onde n_a e n_b definem a ordem do modelo.

$$(1 + a_1q^{-1} + a_2q^{-2} + ... + a_{n_a}q^{-n_a})y(k) = q^{-d}(b_1q^{-1} + b_2q^{-2} + ... + b_{n_b}q^{-n_b})u(k) \quad (2.2)$$

A seleção da estrutura revela-se como um problema de determinação do número de parâmetros, ou seja, n_a e n_b das equações 3.6 e 3.7. Existem na literatura diversos procedimentos para auxiliar na escolha da estrutura que resulte em um bom modelo que melhor se aproxime do sistema real.

2.1.3..Estimação Paramétrica; Mínimos Quadrados Não-Recursivo

O método de mínimos quadrados não-recursivo consiste basicamente em determinar parâmetro(s) desconhecido(s) de uma equação, minimizando a soma dos quadrados do erro entre valores medidos e estimados, também chamado de resíduo (ξ). Considerando o modelo do sistema representado na matricial da equação 2.3. O vetor de parâmetros a serem estimados θ é calculado como em 2.4

$$y = \Phi\theta + \xi \quad (2.3)$$

$$\theta = (\Phi^T\Phi)^{-1}\Phi^Ty \quad (2.4)$$

2.1.4..Validação do Modelo Paramétrico

O procedimento de validação verifica se os modelos obtidos incorporam as características de interesse do sistema original. Os principais são comparação entre a saída medidas em campo e a saída do modelo estimado, e a análise das funções de correlação dos resíduos.

2.2 Técnica de Controle Digital

O procedimento para deslocamento dos pólos de forma radial se baseia no conhecimento de que no domínio z, quanto mais próximos da origem do círculo unitário estiverem os pólos em malha fechada, mais longe ele estará da fronteira de instabilidade, portanto mais estável o sistema será. Para uma frequência natural ω_n constante, o movimento do par de pólos dominantes é radial no círculo unitário para variações no amortecimento desejado para o par de pólos dominantes. O deslocamento radial no círculo pode ser observado na figura 2.1.

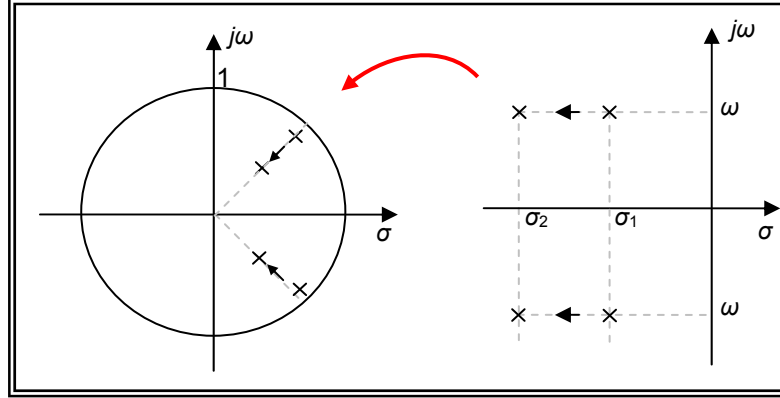


FIGURA 2.1 - Deslocamento radial dos pólos: (a) plano-Z e (b) plano-S.

Para tanto, define-se um fator de contração α que pode ser expresso pela relação entre $\sigma_1 = \zeta\omega_n$ e $\sigma_2 = \zeta_d\omega_n$, que representam as localizações originais e desejadas, respectivamente, dos pólos no plano-s (equação 2.5). Sendo T_s o período de amostragem, este fator é utilizado na determinação do polinômio de malha fechada $P(q^{-1})$. E de posse de um modelo paramétrico discreto ARX, resta o cálculo dos coeficientes de $R(q^{-1})$ e $S(q^{-1})$ do controlador através da solução do seguinte sistema linear de equações 2.6.

$$\alpha = \frac{e^{\sigma_2 T_s}}{e^{\sigma_1 T_s}} = \frac{e^{-\sigma_2 T_s} e^{j\omega_n T_s}}{e^{-\sigma_1 T_s} e^{j\omega_n T_s}} = e^{-(\zeta_d - \zeta)\omega_n T_s} \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & b_1 & 0 & 0 & 0 \\ a_1 & 1 & 0 & b_2 & b_1 & 0 & 0 \\ a_2 & a_1 & 1 & \vdots & b_2 & b_1 & 0 \\ \vdots & a_2 & a_1 & b_{n_B} & \vdots & b_2 & b_1 \\ a_{n_A} & \vdots & a_2 & 0 & b_{n_B} & \vdots & b_2 \\ 0 & a_{n_A} & \vdots & 0 & 0 & b_{n_B} & \vdots \\ 0 & 0 & a_{n_A} & 0 & 0 & 0 & b_{n_B} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_{n_r} \\ r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_{n_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\alpha - 1)a_1 \\ (\alpha^2 - 1)a_2 \\ \vdots \\ (\alpha^{n_A} - 1)a_{n_A} \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

3.0 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E TESTES EM CAMPO

No contexto de amortecer oscilações eletromecânicas apresentam-se alguns conceitos nesta seção. São fenômenos comuns a sistemas de potência interligados. Nos sistemas de potência atuais, a estabilidade é geralmente um problema de amortecimento insuficiente das oscilações, podendo classificar-se de acordo com os seguintes modos:

- Modos locais: está relacionado com as oscilações eletromecânicas de unidades geradoras de uma mesma usina com relação ao resto do sistema elétrico, com a faixa de frequência típica entre 0,7 e 2,0 Hz;
- Modos Inter-área: está associado como a oscilação de um grupo de máquinas contra outro, que são interligados por uma linha fraca, tendo uma faixa de frequência típica entre 0,1 e 0,8 Hz;
- Modos intra-planta: representam os modos de oscilação eletromecânicas entre geradores localizados na mesma usina. A faixa de frequência típica está entre 1,5 e 2,5 Hz.[Kundur, 1994]

Os experimentos do ESP digital em campo na UHE de Tucuruí foram realizados pela equipe do projeto de pesquisa, juntamente com a participação e supervisão da equipe técnica da Eletronorte, o qual para sua execução foi realizado o seguinte roteiro de tarefas, uma ilustração dos equipamentos instalados com o regulador automático de tensão (RAT) da UHG 08 da UHE de Tucuruí, é mostrado na figura 3.1.

- a. Montagem dos equipamentos necessários à alimentação, medição e programação do protótipo do ESP digital próximos ao armário do RAT e sistema de excitação da UHG 8, autorizada pelo Operador Nacional de Sistemas, e onde realizaram-se os experimentos;
- b. Estudo para definição dos pontos de injeção e coleta de sinais de interesse modo de aquisição para acompanhamento da metodologia de testes;
- c. Realização da metodologia dos ensaios:
 - i. injeção de sinais degrau e SBPA seguida coleta de dados, fazendo uso da interface com o usuário no modo de aquisição;
 - ii. estimação de modelo paramétrico linear ARX em torno do ponto de operação em que a máquina síncrona se encontra;
 - iii. validação e projeto do ESP digital baseado no modelo identificado;
- d. Programação dos coeficientes r_i 's e s_i 's do controlador digital através da interface gráfica em modo de controle (seção 5.3.2);
- e. Teste em malha fechada com o ESP digital.

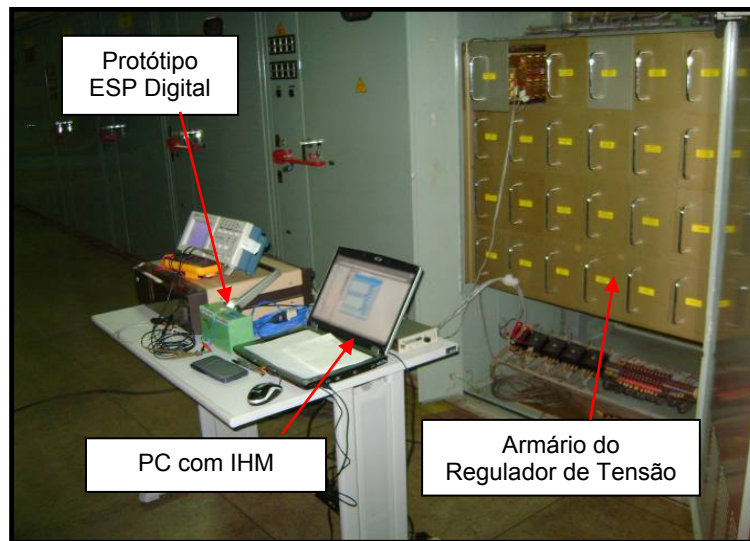


FIGURA 3.1 - Instrumentação montada ao lado do regulador automático de tensão.

4.0 - DESCRIÇÃO DA IHM DESENVOLVIDA

A motivação para o desenvolvimento da IHM foi encontrado nas dificuldades e necessidades de aperfeiçoamentos verificados durante a realização dos ensaios em campo na UHE de Tucuruí com o ESP digital, especificamente a etapa de aplicação da metodologia para identificação de um modelo linear representativo da condição operacional da unidade geradora utilizada e cálculo da lei de controle digital para atuação como amortecedor das oscilações eletromecânicas, sem a necessidade de demandar nenhuma licença de software adicional para tratamento dos dados. A IHM desenvolvida permite automatizar estas tarefas de maneira rápida e intuitiva. Desse modo, é facilitada a sintonia do ESP digital, uma vez que para cada aplicação e registro destes sinais de excitação e seu efeito na resposta do sistema como um arquivo de texto, pode ser identificado com o auxílio da IHM apresentada neste trabalho, um modelo ARX representativo de características importantes da máquina síncrona na condição de operação em questão, tais como: modos de oscilação, frequências naturais e amortecimento, etc.

Na figura 4.1 é apresentado o painel frontal da interface desenvolvida, onde o objeto indicado no número (1) permite que o usuário abra o arquivo de dados armazenados na forma de texto, e em (2) e (3) estes dados de excitação (sinal de entrada) e resposta de potência ativa da UHG 8 (sinal de saída), podem ser visualizados. Em (4) o operador pode selecionar o período de amostragem que os dados foram adquiridos em segundos. Indicado em (5) é realizada a seleção do valor percentual dos dados que será utilizado para a etapa de estimação, automaticamente o restante é usado na etapa de validação de modo que se compare a resposta das medições do sistema e do modelo. Em (6) é permitido ao usuário selecionar a ordem e a complexidade desejada para o modelo ARX, ou seja, o valor para a ordem do polinômio do numerador $B(q^{-1})$, do denominador $A(q^{-1})$ e o atraso d do modelo para sua função de transferência. Com apenas estas configurações pode-se executar a IHM, sendo realizado o algoritmo para identificação juntamente com espectro do sinal de resposta, mapa de pólos e zeros, análise residual e validação das respostas no tempo, adicionalmente o cálculo dos parâmetros do ESP digital é feito. Os resultados da identificação são apresentados na IHM através do objeto (7), onde são observados os valores dos parâmetros do modelo ARX; em (8), são mostrados os valores de frequência natural e amortecimento

relativo para o modelo encontrado na condição operacional de realização do teste, e por fim em (9), é possível selecionar através de abas algumas funcionalidades, que são mostrados na forma gráfica. Dentre as funcionalidades visualizáveis em (10) estão: validação dos modelos; análise de resíduos; estimativa da resposta em frequência; mapa de pólos e zeros; e por fim cálculo da lei de controle, a análise e apresentação de cada forma gráfica serão mostradas na seção a seguir

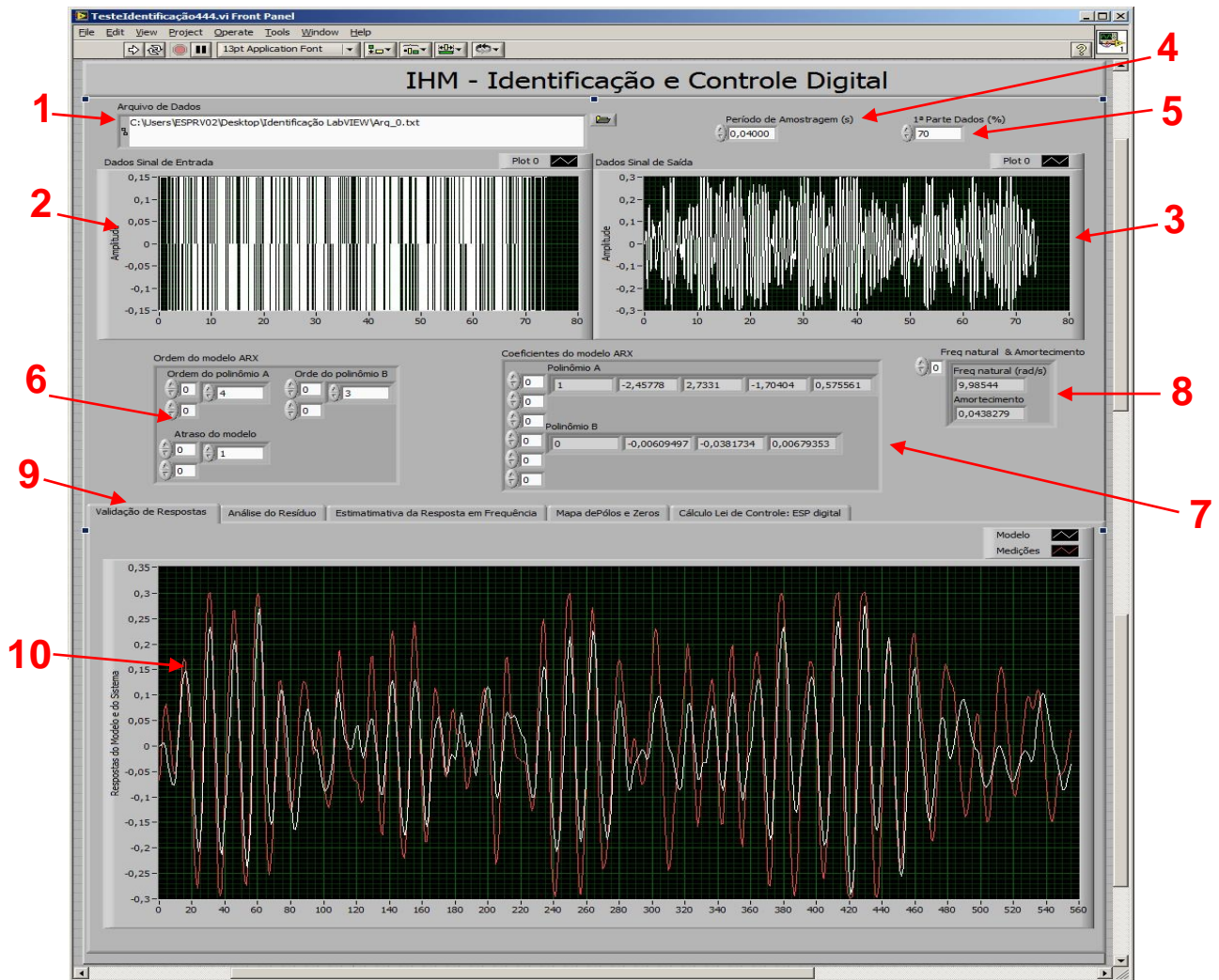


FIGURA 4.1 – IHM de identificação e Sintonia do ESP digital.

5.0 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA IHM DESENVOLVIDA EM TESTES NA UHE DE TUCURUÍ

A avaliação do desempenho da IHM desenvolvida é realizada segundo a apresentação de um dos ensaios em campo com o ESP digital na UHG 08 de 350 MVA na UHE de Tucuruí. Os valores resultantes de cálculos de identificação e controle com a IHM, assim como os gráficos de análise do modelo são apresentados e comparados com cálculos em MATLAB. Por fim, os valores calculados para a lei de controle digital, são embarcados no protótipo do ESP digital e verifica-se o amortecimento de um modo de oscilação eletromecânica na unidades geradora contra o resto do sistema. Para os dados armazenados neste ensaio, a entrada considerada é um sinal do tipo SBPA com amplitude de 300 mV pico-a-pico, configurada com 9 células e tempo de atualização de bits de 120 ms, sendo sobreposto ao sinal de referência do RAT desta UHG 08 pertencente à casa de força 1; e o sinal de saída tomado é o sinal de potência ativa nos terminais da unidade geradora. Durante a realização deste ensaio o ESP analógico da unidade geradora foi desativado.

5.1 Testes para Identificação

Após a aplicação e registro das formas de onda em um arquivo de texto, os sinais podem ser visualizados na IHM segundo foi mostrado na figura 4.1 (indicação 2 e 3). A devidas configurações de período de amostragem e partição dos dados para estimação e validação foram feitas. Para um modelo selecionado com complexidade com $n_a=4$, $n_b=3$ e atraso do modelo $d=1$, os seguintes valores obtidos para a IHM desenvolvida e em software matemático, apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2. São mostrados na figura 5.1 os valores dos coeficientes do modelo ARX obtidos, tal como calculados e apresentados na IHM.

Tabela 5.1 – Resultados para o Teste de Identificação – Polinômio $A(q^{-1})$.

Coeficientes Modelo	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
MATLAB	1	-2.4465	2.7074	-1.6795	0.5669
IHM desenvolvida	1	-2.45778	2.7331	-1.70404	0.575561

Tabela 5.2 – Resultados para o Teste de Identificação - Polinômio $B(q^{-1})$.

Coeficientes Modelo	b_0	b_1	b_2	b_3
MATLAB	0	-0.0082	-0.0343	0.0035
IHM desenvolvida	0	-0.00609497	-0.0381734	0.00679353

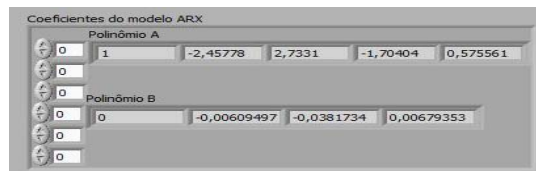


FIGURA 5.1 – Coeficientes do modelo ARX.

O modelo ARX estimado é validado, como na figura 5.2, onde se verifica a proximidade nas respostas dos modelos obtido com a resposta medida. Percebe-se que o modelo consegue reproduzir de maneira satisfatória a dinâmica do sistema, estando os sinais de potência ativa do modelo em fase com o sinal medido. A resposta medida em vermelho e a resposta obtida do modelo em branco.

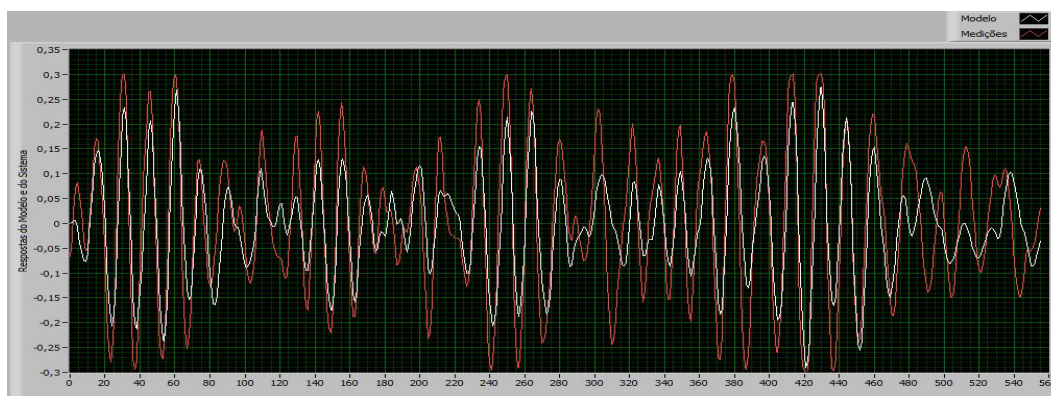


FIGURA 5.2 – Método de validação com IHM desenvolvida.

Através da própria interface a análise das funções de autocorrelação (FAC, acima) e correlação cruzada dos resíduos (FCC, abaixo) do modelo. Como observado na figura 5.3 se através da IHM diretamente no ensaio realizado em campo, a FAC demonstra que o resíduo comporta-se aproximadamente como um ruído branco, pois apresenta um pico no atraso zero das amostras; a FCC comporta-se estatisticamente nula para todos os atrasos de amostras, tal como esperado.

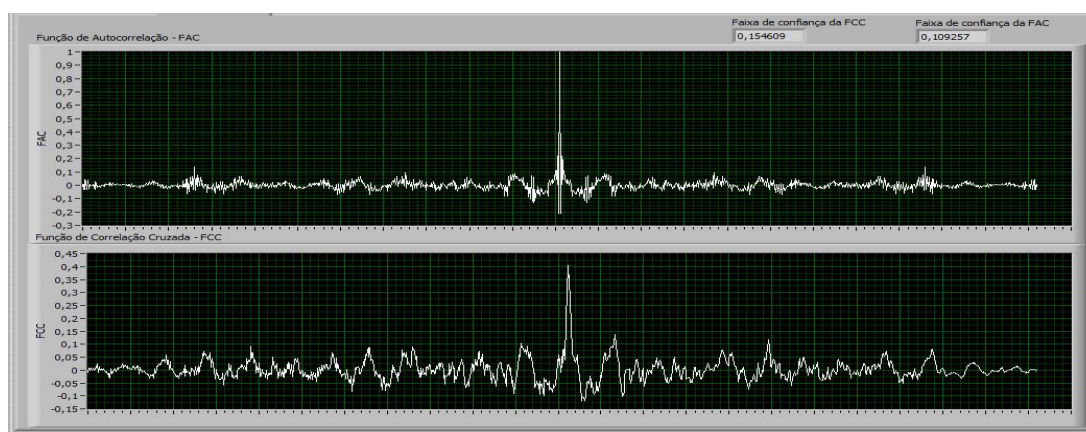


FIGURA 5.3 – Funções de Correlação: FAC e FCC.

Observa-se na figura 5.4 a estimativa de resposta em frequência para uma análise feita diretamente na IHM. Percebe-se que a resposta demonstra a capacidade de apresentação e análise diretamente através da IHM, uma vez que no gráfico de módulo um pico na frequência do modo de oscilação local observado nesta UHG 08 contra o resto do sistema de aproximadamente de 1,7 Hz, se mostra bastante visível.

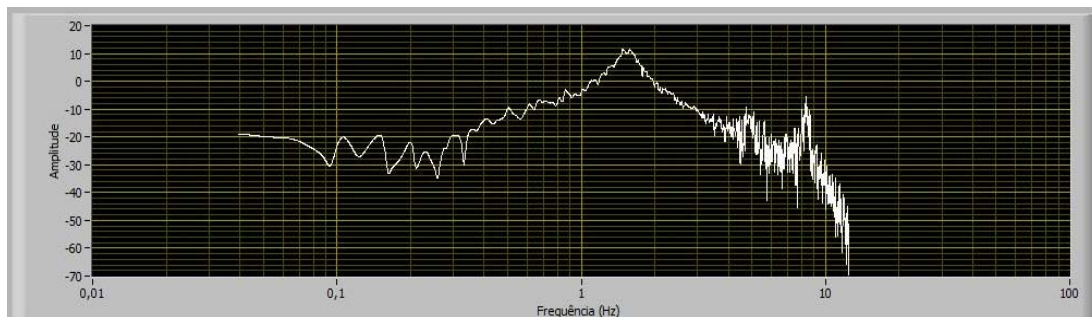


FIGURA 5.4 – Funções de Correlação: FAC e FCC.

Adicionalmente é feita a comparação dos mapas de pólos e zeros obtidos através da IHM e MATLAB, onde se verifica a similaridade de ambos na figura 5.5. Os modos dominantes apresentam o amortecimento e frequência natural segundo apresentado de forma comparativa na tabela 5.3.

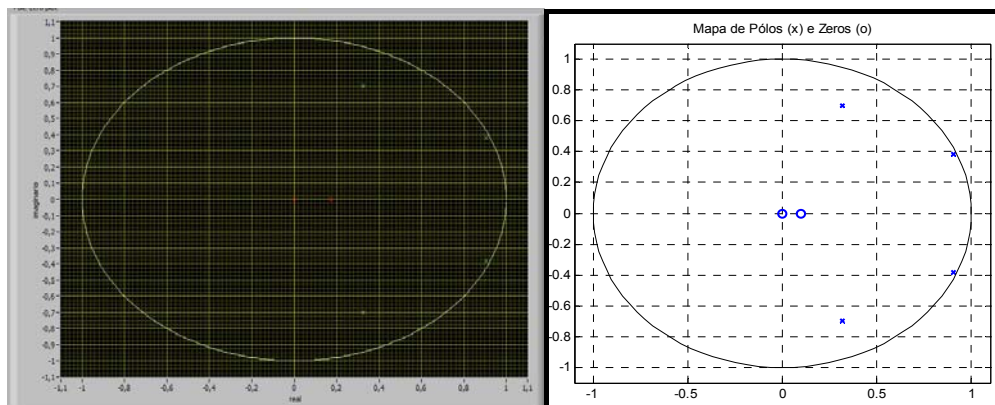


FIGURA 5.5 – Mapa pólos e zeros: IHM desenvolvida (esquerda) e MATLAB (direita).

Tabela 5.3 – Parâmetros do modelo ARX obtido.

	<i>Frequência Natural (rad/s)</i>	<i>Amortecimento Relativo</i>
MATLAB	10,0	0,0465
IHM desenvolvida	9,98544	0,0438279

5.2 Testes para Controle com ESP digital

Com o modelo ARX devidamente identificado para o sistema, calcula-se a lei de controle para o ESP digital diretamente com a IHM, onde pode-se especificar o amortecimento desejado ao ESP digital, nesta etapa selecionou-se $\zeta d = 0.2$. Os valores obtidos para o respectivo modelo são apresentados e comparados com o mesmo calculado realizado em software matemático MATLAB nas tabelas 5.4 e 5.5, onde se verifica bastante proximidade entre os valores calculados. Os valores dos coeficientes do ESP digital para o modelo ARX obtido, tal como calculados e apresentados na IHM, são mostrados na figura 5.6.

Tabela 5.4 – Resultados para o Cálculo da Lei de Controle – Polinômio $R(q^{-1})$.

Coefficientes do controlador	r_0	r_1	r_2	r_3
MATLAB	-0.0664	0.3643	-0.3606	0.9666
IHM desenvolvida	-0.078458	0.516295	-0.463088	0.922572

Tabela 5.5 – Resultados para o Cálculo da Lei de Controle – Polinômio $S(q^{-1})$.

Coefficientes do controlador	s_0	s_1	s_2	s_3
MATLAB	1	0.1463	0.0432	-0.00590
IHM desenvolvida	1	0.145891	0.0431402	-0.010463

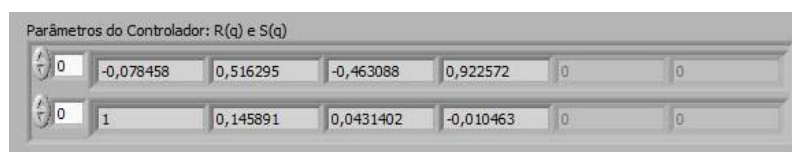


FIGURA 5.6 – Coeficientes da lei de controle digital na IHM.

Após a programação dos parâmetros do protótipo de ESP digital, chega à etapa de teste de amortecimento para este controlador. Aplicou-se uma variação de 3% na referência de tensão do RAT da UHG 8. O resultado pode ser

observado na figura 5.7. O desempenho de amortecimento apresentado pelo ESP digital, pode se considerar bom, cumprindo a proposta de realização de se obter pólos de malha fechada dominantes com características que se especificou em projeto, com amortecimento desejado para $\zeta_d = 0.2$.

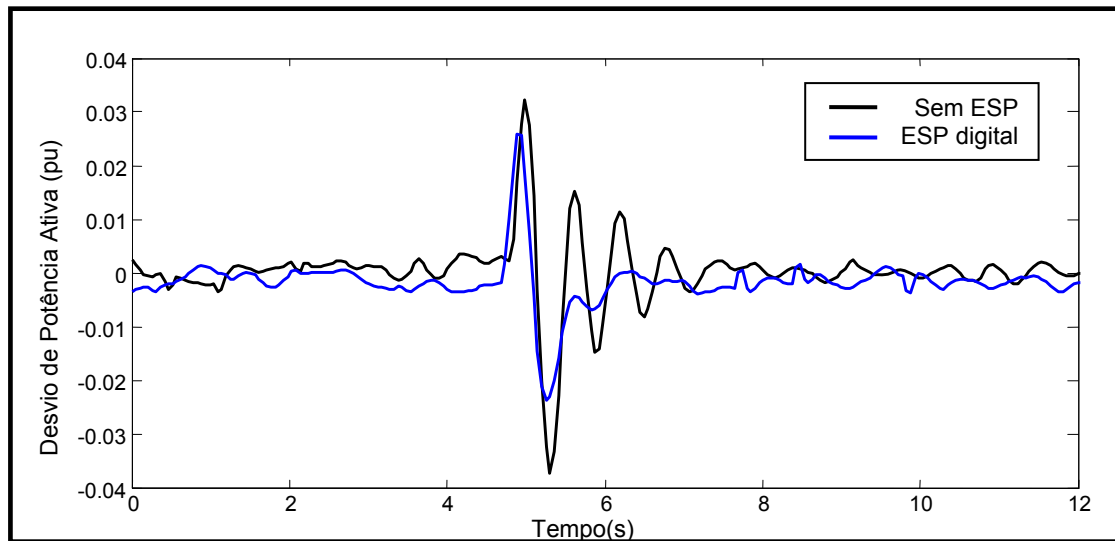


FIGURA 5.7 – Resposta devido a aplicação de perturbação degrau (+3%) na referência de tensão do RAT, com a UHG 8 operando com ESP digital projetado para fornecer um amortecimento $\zeta_d = 0.2$.

6.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma interface homem-máquina (IHM) capaz de automatizar funções de identificação e cálculo dos parâmetros de controle digital para sintonizar um ESP digital para amortecer um modo de oscilação eletromecânica local observado na unidade hidro-geradora (UHG) 08 de 350 MVA da casa de força 1 na usina hidrelétrica de Tucuruí. A IHM desenvolvida se mostrou eficaz diante os cálculos necessários, mostrando-se útil na metodologia de identificação e calcula da lei de controle digital. Os valores foram comparados com MATLAB, o que mostra que a utilização da interface pode ser realizada, sem a necessidade de demandar licenças adicionais de software para processamento matemático dos dados. Os parâmetros obtidos através da metodologia de realização dos ensaios com o auxílio da IHM que foi desenvolvida e apresentada neste trabalho mostrou-se eficaz quando do amortecimento de modos de oscilação locais verificados durante os ensaios em campo.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) LANA, J. J. ; COSTA JUNIOR, C. T. ; BARRA JUNIOR, W. ; BARREIROS, J. A. L. ; NOGUEIRA, F. G. ; GOMES, M. C. M. ; MORAES, A. R. B. ; SILVA, O. F. . Projeto e Implementação de um Estabilizador de Sistema de Potência Digital aplicado á uma unidade geradora da Usina de Tucuruí. In: XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2009, Recife. Anais XX SNPTTEE, 2009.
- (2) AGUIRRE, L.A.– Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais – Editora UFMG, 3ª edição, Belo Horizonte, 2006.
- (3) LANDAU, I. D., ZITO, G. Digital Control Systems: Design, Identification and Implementation. Springer, 2006.
- (4) P. HOROWITZ, W. HILL, "The Art of Electronics," *Cambridge University Press*, New York, 2ª Edition, 1989
- (5) P. KUNDUR, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Apr. 1994.

8.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio recebido da Eletronorte, através do projeto "Implementação de um Estabilizador de Sistema de Potência Piloto, com capacidade de Adaptação, em Gerador da Etapa 1 da UHE de Tucuruí".

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Marcus C. M. Gomes nasceu em Belém, Brasil, no dia 6 de novembro de 1983. Ele obteve os graus de bacharel e M.Sc. na Universidade Federal do Pará (UFPA), em 2007 e 2010, respectivamente. Dentre os temas de pesquisas então modelagem e controle de sistemas de geração distribuídas e converso

Walter Barra Jr. nasceu em Cametá, Brasil, no dia 15 de julho de 1961. Ele obteve os graus de bacharel, M.Sc. e Dr na Universidade Federal do Pará (UFPA), em 1991, 1997 e 2001, respectivamente. Ele é professor de engenharia elétrica e computação na UFPA. Suas áreas de pesquisa são automação industrial, controle adaptativo e inteligente aplicado em controle de sistemas de potência e monitoramento.

José Augusto Lima Barreiros recebeu o grau de bacharel em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA), em 1974; M.Sc. (1989) pela University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), no Reino Unido; Dr. (1995) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); e o pós-doutorado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Ele tem trabalhado no campo de controle de sistemas, e aplicações de controle em sistemas de potência, por mais de 20 anos. Ele é professor titular da Faculdade de Engenharia Elétrica e foi Diretor da do Instituto de Tecnologia da UFPA.

Carlos Tavares da Costa Jr. nasceu em Belém, Brasil, em 29 de julho de 1966. Recebeu o grau de bacharel em engenharia elétrica na Universidade Federal do Pará (UFPA), em 1987. Em 1991, ele foi graduado M.Sc. em engenharia elétrica na Universidade Federal do Rio de Janeiro(UFRJ). Ele tem um DEA(1996) e Doutorado (1999) em Automação de Produção pelo Grenoble Polytechnic National Institute, França. Ele é professor da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFPA desde 1997 e suas áreas de pesquisa são sistemas fuzzy e controle adaptativo aplicado em controle de sistemas de potência

Fabício Gonzalez Nogueira nasceu em Belém, Brasil, em 11 de janeiro de 1984. Recebeu o grau de engenheiro de comutação e mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil, em 2006 e 2008, respectivamente. Atualmente é aluno do curso de doutorado do Instituto de Tecnologia da UFPA. Sua pesquisa está direcionada em controle robusto e digital, sistemas embarcados e controle e monitoramento de sistemas elétricos de potência.

Paulo Sergio Nascimento Filho nasceu em 20 de junho de 1985, em Belém, Brasil. É graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (março de 2009), na qual, atualmente, cursa o mestrado em engenharia elétrica na área de Controle Sistemas de Energia. Suas áreas de pesquisa são Controle de Sistemas Dinâmicos, Instrumentação Eletrônica, Eletrônica de Potência e Máquinas Elétricas.

Anderson Roberto Barbosa de Moraes nasceu em 9 de janeiro de 1984, em Belém, Brasil. É graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (março de 2009), na qual, atualmente, cursa o mestrado em engenharia elétrica na área de Controle Sistemas de Energia. Suas áreas de pesquisa são Controle de Sistemas Dinâmicos, Instrumentação Eletrônica, Eletrônica de Potência e Máquinas Elétricas.

Janio José de Lana, é graduado em física pela UFPA (2004), com especialização em engenharia elétrica também pela UFPA (007). É especialista técnico responsável pelo sistema de regulação das unidades geradoras da UHE de Tucuruí. Atua desde a década de 80 na operação, manutenção e instalação de hidrogeradores e controles associados, em todo o sistema elétrico do norte do Brasil. Atualmente é um dos responsáveis pela modernização dos sistemas de controle tanto da UHE de Tucuruí quanto da Usina Hidrelétrica de Curuá-Una.

Ricardo Araújo Campos, nasceu em 21 de novembro de 1968, é graduado em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, em 2000. É responsável pelo sistema de regulação das unidades geradoras da UHE de Tucuruí. Atualmente é um dos responsáveis pela modernização dos sistemas de controle tanto da UHE de Tucuruí quanto da Usina Hidrelétrica de Curuá-Una.