



## Grupo de Estudo de Análise e Técnicas de Sistemas de Potência-GAT

### Identificação de parâmetros e estimação de estados dinâmicos da máquina síncrona por meio de dados de PMU e simulação dinâmica híbrida

**VALMOR ZIMMER(1); ILDEMAR CASSANA DECKER(1); AGUINALDO SILVEIRA E SILVA(1); UFSC(1);**

#### RESUMO

Neste informe técnico apresenta-se o desenvolvimento de uma metodologia capaz de identificar os parâmetros e de estimar os estados dinâmicos da máquina síncrona usando dados de medição sincronizada de fasores e simulação dinâmica híbrida. A metodologia considera que tanto os parâmetros como as condições iniciais dos estados diferenciais são considerados parâmetros a serem estimados, o que produz um problema de otimização não-linear. As estimativas iniciais dos parâmetros e as condições iniciais são utilizados na solução da simulação dinâmica híbrida, que evolui no tempo os estados algébricos e diferenciais do modelo da máquina. A metodologia é aplicada em estudos de simulação e em casos reais provenientes da UHE de Itaipu.

#### PALAVRAS-CHAVE

Estimação de Parâmetros, Funções de Sensibilidade da Trajetória, Máquinas síncronas, PMU.

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

A Medição Sincronizada de Fasores (MSF) possui características que permitem o monitoramento da dinâmica de grandes sistemas elétricos interligados, pois, além de fornecer medidas sincronizadas em alta taxa de transmissão, fornece medidas de módulo e ângulo por meio das medidas fasoriais (1).

Embora a medição sincronizada de fasores tenha várias aplicações no que se refere a análise de grandes sistemas elétricos, ela pode ser utilizada em aplicações locais, sem a necessidade de implantação de um grande sistema de monitoramento. Um exemplo disso, que necessita de apenas uma Unidade de Medição Fasorial (PMU do inglês *Phasor Measurement Unit*), é a validação de modelos e consequente identificação de parâmetros de unidades geradoras. Nesse caso, destaca-se o uso de PMUs próprias para unidades geradoras, onde além de medidas fasoriais, outras medidas analógicas são monitoradas (2).

Para isso, emprega-se o conceito de Simulação Dinâmica Híbrida (SDH), que consiste na injeção de medidas no ambiente de simulação dinâmica. Isso torna desnecessária a instrumentação e a exposição de equipamentos a ensaios, pois na SDH são utilizados dados de perturbações naturais do sistema. Além disso, é desnecessário calcular o ponto de operação do sistema, pois apenas um equipamento, ou um pequeno grupo de equipamentos são simulados, e esses utilizam medidas fasoriais para definir o ponto de operação. Os resultados da SDH são respostas híbridas do sistema simulado, que permitem avaliar o quão discrepante estão as respostas dos modelos em relação as medidas. Por meio disso, empregam-se metodologias que possibilitam a identificação de parâmetros da máquina síncrona e de outros equipamentos da unidade geradora.

O uso da SDH permite a evolução das trajetórias dos estados diferenciais. Entretanto, a determinação da condição inicial desses estados diferenciais é um dos problemas do processo de simulação e, conseqüentemente, da identificação de parâmetros, pois a determinação dessa condição inicial depende das estimativas iniciais dos parâmetros do modelo, que podem estar erradas.

Desse modo, neste trabalho aplica-se uma abordagem onde tanto os parâmetros como as condições iniciais dos estados diferenciais são considerados parâmetros a serem estimados, o que produz um problema de otimização não-linear, que é solucionado pelo Método de Newton. Associado a esse problema, existem restrições físicas dos parâmetros, o que leva a um problema de otimização não-linear restrito, cuja solução é explorada por meio do método primal-dual de pontos interiores. A solução desse problema é realizada com base em funções de sensibilidade da trajetória, as quais são expressas e calculadas pelo método de Euler explícito, e, por serem funções de variáveis medidas e híbridas, são chamadas de funções de sensibilidade da trajetória híbridas.

Essa abordagem é testada em ambiente de simulação. Além disso, a sua utilização é explorada em dados reais de uma unidade geradora da UHE Itaipu, para uma perturbação ocorrida no Sistema Interligado Nacional, mais especificamente, na subestação de Furnas, em Foz do Iguaçu.

Os resultados obtidos no ambiente de simulação demonstram a eficiência da abordagem desenvolvida, a qual permite a identificação de parâmetros de máquinas síncronas e a estimação de estados dinâmicos. No caso real destacam-se os resultados obtidos e as dificuldades e desafios do processo de identificação. O artigo está estruturado da seguinte forma. Na seção 2 aborda-se a aplicabilidade da MSF. Na seção 3 apresenta-se a metodologia, que é explorada na seção 4, onde descreve-se o processo de SDH e o modelo da máquina síncrona utilizado. E, por fim, nas seções 5 e 6 são apresentados os resultados e descritas as principais conclusões.

## 2.0 - O USO DA MEDIÇÃO SINCRONIZADA DE FASORES

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é, do ponto de vista da estrutura física, um dos maiores e mais robustos sistemas elétricos do mundo, entretanto, possui características que podem degradar a sua robustez. Dentre essas características destaca-se a presença de grandes interligações radiais, como as interligações dos subsistemas AC-RO e Manaus, grandes usinas hidrelétricas instaladas longe dos centros de carga, como Itaipu e Tucuruí. E, recentemente, foram agregados grandes empreendimentos na região amazônica com as UHE de Jirau, Santo Antônio e Belo Monte, que além de distantes dos centros de consumo, trouxeram a esse sistema duas das mais extensas linhas de transmissão em CC do mundo, uma ligando a região Sudeste as usinas do complexo do Rio Madeira (Jirau e Santa Antônio) e a outra ligando a região Sudeste a UHE de Belo Monte.

Esse cenário é rico em eventos eletromecânicos, cujos impactos se propagam ao longo de todo o SIN. Tais eventos são permanentemente monitorados pelo Sistema de Medição Sincronizada de Fasores MedFasee BT, que é um SMSF instalado em baixa tensão, em 24 universidades brasileiras, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina no âmbito Projeto MedFasee. Esse projeto tem como objetivo difundir a MSF no Brasil (3).

Atualmente, o SIN tem sido povoado por equipamentos que possuem a funcionalidade de PMU. Diversas iniciativas visando a ampliação do uso da MSF, fizeram com que muitos IED fossem adquiridos com tal funcionalidade. Isso levou o uso da MSF para o setor elétrico, não só com a utilização pelos agentes mas também do Operador Nacional do Sistema (4).

É indiscutível a importância da MSF na análise de eventos, pois traz rapidez na busca de dados, sincronização e facilidade na análise de dados no domínio fasorial. Entretanto, a MSF é muito mais do que isso, e muita pesquisa e desenvolvimento tem sido feita nos últimos anos visando ampliar o uso da tecnologia, dentre as principais aplicações destacam-se:

- a identificação e controle de modos de oscilação (5);
- a detecção e classificação de eventos (6);
- a incorporação de medidas de PMU na estimação de estados (7);
- e, em especial, por estar associado a este trabalho, a identificação de parâmetros de modelos de máquinas e seus controladores (2)(8)(9);

## 3.0 - METODOLOGIA DE ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

A metodologia apresentada neste informe técnico baseia-se em (8) e é dividida em três partes:

### 3.1 Inicialização

Na **inicialização** ocorrem: a obtenção de *Dados da PMU*, ou seja, dos sincrofasores das tensões e correntes trifásicas e de outras variáveis analógicas medidas; o *pré-processamento* das medidas trifásicas, onde elas são transformadas em variáveis de sequência positiva e são calculadas as potências ativa e reativa terminais da máquina; e, por fim, com as *Estimativas Iniciais dos Parâmetros*, são calculadas as *Condições Iniciais* dos estados diferenciais da máquina síncrona.

### 3.2 Validação do Modelo

A **validação do modelo** inicia com a realização de uma SDH, com base nos dados da inicialização. Na sequência, o resultado é avaliado por meio da Soma do Quadrado dos Resíduos (SQR) entre as medidas das potências

medidas e simuladas. Caso a SQR seja superior a uma determinada tolerância, parte-se para a calibração do modelo. Caso contrário, considera-se que as estimativas dos parâmetros estão adequadas.

### 3.3 Calibração do Modelo

A **Calibração do modelo** inicia com cálculo das *Funções de Sensibilidade da Trajetória Híbridas* que são utilizadas na *Solução do Problema de Otimização* dada pelo método primal-dual de pontos interiores. Como resultado dessa etapa são obtidas novas estimativas de parâmetros e das condições iniciais dos estados diferenciais da máquina, de modo a minimizar as discrepâncias obtidas na avaliação da SQR. Para isso, volta-se a etapa de **Validação do Modelo**.

Uma visão geral da metodologia é apresentada na Figura 1:

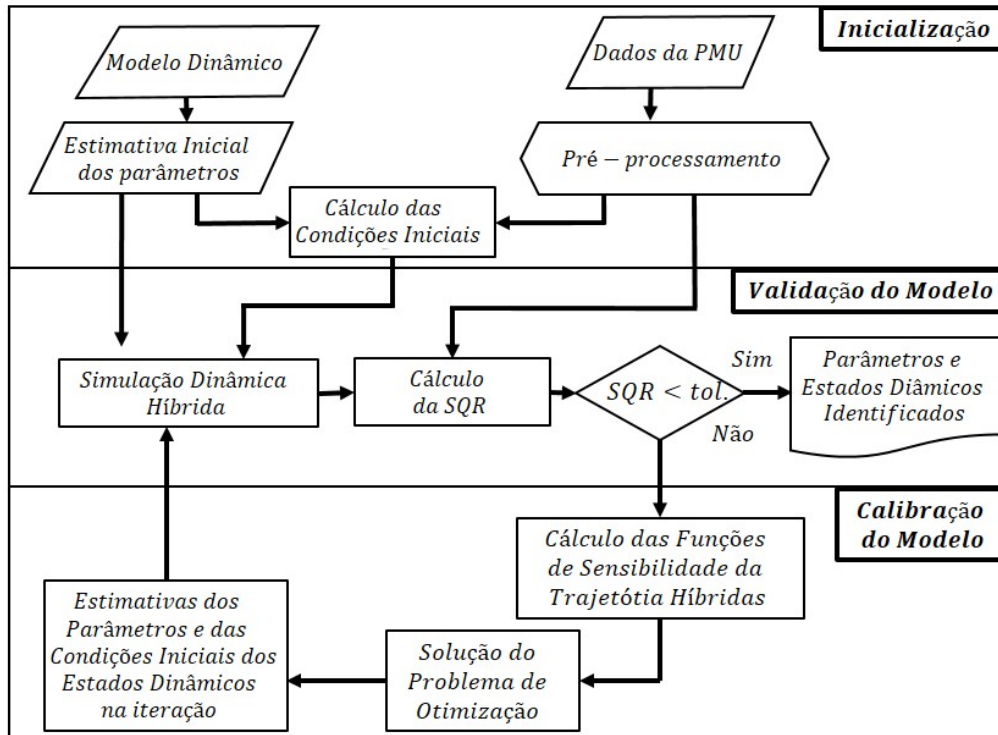


Figura 1 – Visão geral da metodologia desenvolvida (8)

Na Tabela 1 apresentam-se a classificação das variáveis e medidas utilizadas na metodologia, onde verifica-se a presença de um parâmetro definido como  $C_{Efd}$ . O uso desse parâmetro visa a atenuar erros na tensão base da tensão de campo, e baseia-se em (10).

Tabela 1 – Classificação das variáveis do problema

<i>Medidas Injetadas</i>	$V_t, \theta_t, E_{fd}, P_m$
<i>Variáveis Híbridas Injetadas</i>	$E'_q, E''_q, E''_d, \omega, \delta$
<i>Variáveis Avaliadas</i>	$P_e, Q_e$
<i>Parâmetros Estimados</i>	$\delta_0, E'_{q0}, E''_{q0}, E''_{d0}, H, D, x_d, x'_d, x''_d, x_q, x'_q, x''_q, T'_{d0}, T''_{d0}, T''_{q0}, C_{Efd}$

Observa-se que o emprego da SDH é parte fundamental da metodologia desenvolvida, por isso é descrita em detalhes na seção seguinte.

#### 4.0 - SIMULAÇÃO DINÂMICA HÍBRIDA

A Simulação Dinâmica Híbrida (SDH) permite simular um pequeno sistema de interesse, por meio da injeção de medidas na fronteira entre o sistema de interesse e o restante do sistema, ou seja, são injetadas medidas no processo de simulação, e avaliam-se outras variáveis medidas e simuladas, o que permite a obtenção de discrepâncias entre registro e resultados de simulação.

No caso de sistemas elétricos o uso da SDH simplifica o processo de simulação do comportamento da região do equipamento de interesse, pois não é necessário representar a sequência e os instantes de eventos, dado que tais

informações estão contidas nas variáveis injetadas e, portanto, carregam as informações do impacto de perturbações no ponto onde as medidas são obtidas.

Para a realização da SDH é necessária a definição do modelo utilizado, neste trabalho utiliza-se o modelo de máquina síncrona de quinta ordem com as seguintes equações diferenciais:

$$\dot{\omega} = \frac{\omega_0}{2H} (P_m - P_e - D(\omega - \omega_0)) \quad (3.1)$$

$$\dot{\delta} = \omega - \omega_0 \quad (3.2)$$

$$\dot{E}'_q = \frac{1}{T'_{do}} [E_{fd} \cdot C_{Efd} - E'_q + (x_d - x'_d)I_d] \quad (3.3)$$

$$\dot{E}''_q = \frac{1}{T''_{do}} [E'_q - E''_q + (x'_d - x''_d)I_d] \quad (3.4)$$

$$\dot{E}''_d = \frac{1}{T''_{q0}} [-E''_d - (x_q - x''_q)I_q] \quad (3.5)$$

Além das equações diferenciais, as equações algébricas do estator são dadas por:

$$V_q = E''_q - r_a I_q + x''_d I_d \quad (3.6)$$

$$V_d = E''_d - r_a I_d - x''_q I_q \quad (3.7)$$

E as potências ativa e reativa podem ser calculadas por:

$$P_e = E''_q I_q + E''_d I_d + (x''_d - x''_q) I_d I_q - r_a |\bar{I}|^2 \quad (3.8)$$

$$Q_e = E''_d I_q - E''_q I_d - x''_d I_d^2 - x''_q I_q^2 \quad (3.9)$$

Onde:

$\delta$	ângulo do rotor da máquina
$\omega$	velocidade angular em pu
$P_m$	potência mecânica do eixo da máquina
$E'_q, E''_q$	tensões internas transitória e subtransitórias de eixo em quadratura
$E''_d, E_{fd}$	tensão interna subtransitória de eixo direto e tensão de campo
$P_e, Q_e$	potências terminais ativa e reativa
$I_d, I_q, V_d, V_q$	correntes e tensões terminais de eixo direto e em quadratura
$H$	é a constante de inércia em s
$D$	coeficiente de amortecimento em pu de potência. s/rad
$\omega_0$	velocidade angular base (nominal) do sistema em rad./s
$x_d, x'_d, x''_d$	reatâncias de regime, transitória e subtransitória de eixo direto
$x_q, x'_q, x''_q$	reatâncias de regime e subtransitória de eixo em quadratura
$T'_{do}, T''_{do}$	constantes de tempo transitória e subtransitória de eixo direto com estator em aberto
$T''_{q0}$	constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura com estator em aberto
$r_a$	resistência de armadura
$C_{Efd}$	constante que representa as incertezas em relação a tensão base de campo

Dois exemplos de SDH que usa o modelo de quinta ordem são apresendos abaixo, onde injetam-se as medidas de módulo e ângulo da tensão, e a tensão de campo de um gerador e avaliam-se as potências ativas e reativas medidas e simuladas. No primeiro exemplo, ilustrado na Figura 2, apresenta-se um caso com erro de -30% no parâmetro  $H$ , onde observa-se que como o parâmetro  $H$  não influencia na condição inicial das tensões internas do modelo, a discrepância ocorre apenas depois que ocorre a perturbação.

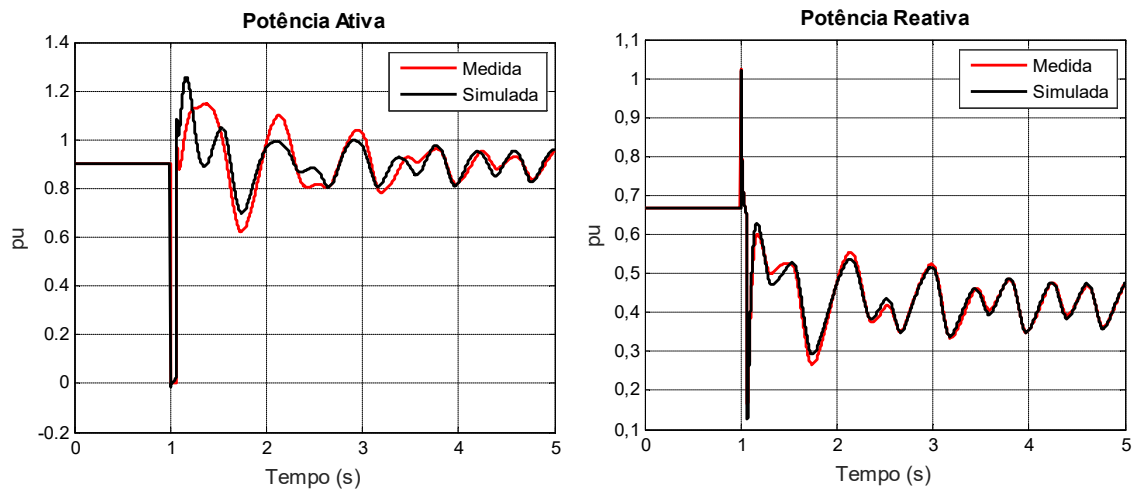


Figura 2 – Potências ativa e reativa medida e simulada com erro de -30% no  $H$

O primeiro passo do processo de SDH deve ser obtido por meio do estado inicial do sistema, semelhante ao que se faz no caso de uma simulação dinâmica clássica, onde, inicialmente, calcula-se o estado inicial do sistema por meio de um fluxo de potência. Em ambos os casos, a determinação do estado inicial de variáveis algébricas e diferenciais internas da máquina síncrona é afetada pelos parâmetros do modelo utilizado, que podem estar descalibrados e influenciar na determinação do passo inicial, um exemplo disso é ilustrado na Figura 3, onde a SDH possui erro inicial no parâmetro  $x_d$ . Observa-se que como o parâmetro  $x_d$  influencia na condição inicial de tensões internas da máquina o ponto de operação excursions no período pré-falta.

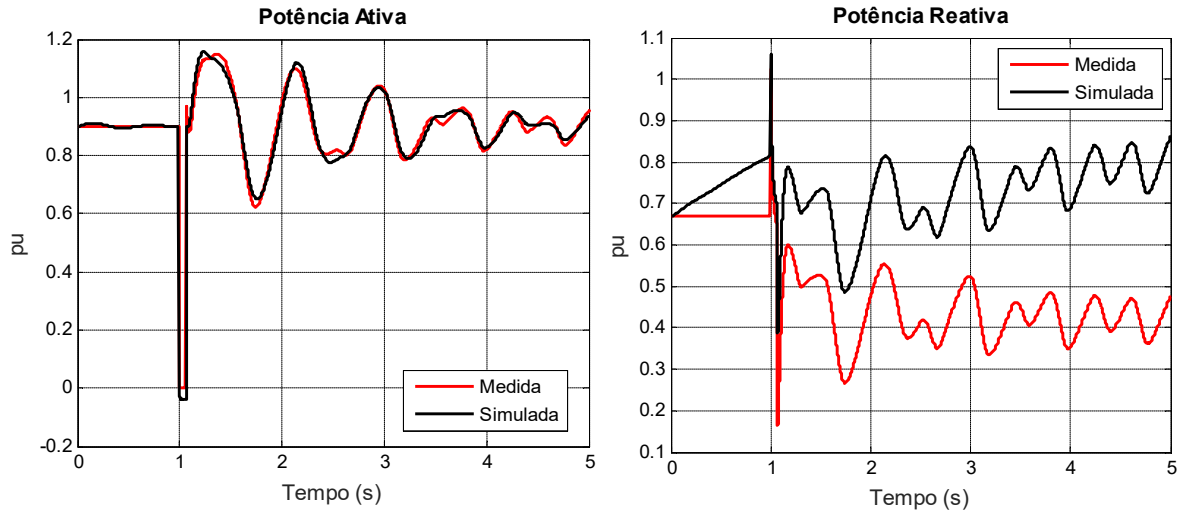


Figura 3 – Potências ativa e reativa medida e simulada com erro de -30% na  $x_d$

## 5.0 - RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se os resultados de dois estudos de caso, um com base em dados simulados e outro com base em dados de uma máquina real da UHE de Itaipu.

### 5.1 Caso Simulado

O caso simulado é dado por um gerador (Modelo 4 (11)) conectado a uma barra infinita por meio de um transformador, representado por  $x_t$  e duas linhas de transmissão (LTs) representadas por  $x_1$  e  $x_2$ , como ilustrado na Figura 4. O modelo da máquina é baseado nos parâmetros de placa de máquinas da UHE Itaipu.

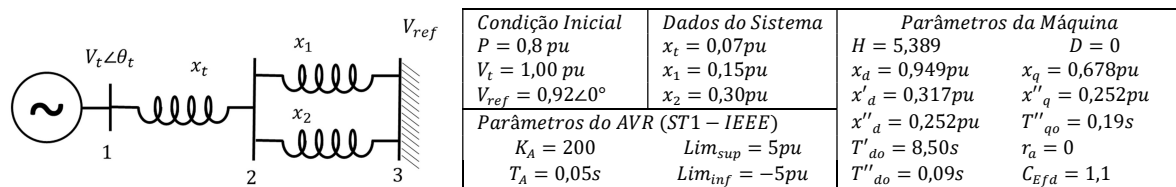


Figura 4 – Dados do sistema teste

O sistema teste é sujeito a um curto-circuito trifásico na extremidade da LT2 com a barra 2 e subsequente abertura da LT2 após 100ms, removendo o curto-circuito. O erro inicial nas estimativas dos parâmetros é de +10% para todos os parâmetros.

No caso simulado do presente trabalho, bem como, em outros casos simulados não apresentados neste informe técnico, a metodologia consegue identificar corretamente todos os parâmetros do modelo, com estimativas iniciais com erros superiores a  $\pm 10\%$  em todos os parâmetros.

A Figura 5 apresenta o comportamento do erro relativo dos parâmetros e das condições iniciais dos estados diferenciais ao longo do processo de identificação. Observa-se que todos os parâmetros são identificados corretamente, inclusive o parâmetro  $C_{efd}$  que, em casos simulados, deve ser colocado como parâmetro adicional.

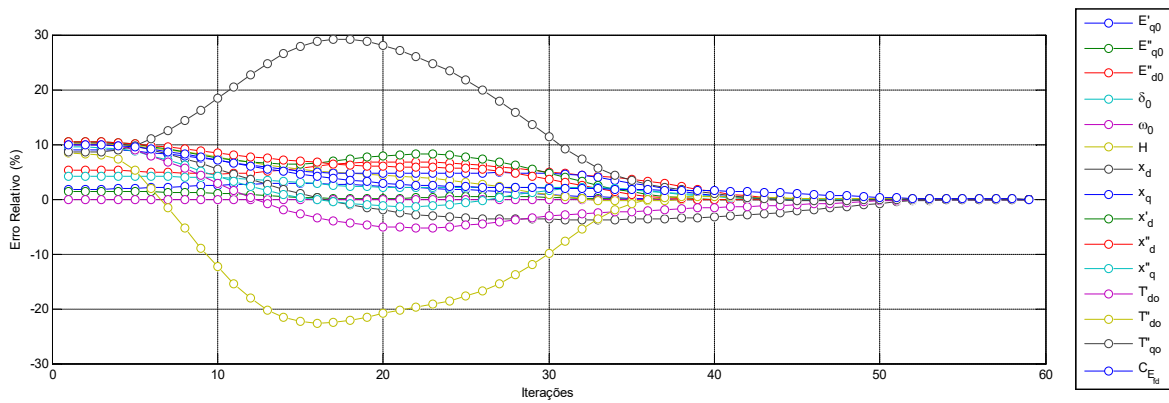


Figura 5 – Comportamento do erro relativo dos parâmetros ao longo do processo de identificação

O comportamento das potências ativa e reativa pode ser observado na Figura 6, onde também estão ilustradas as trajetórias das potências simuladas no início do processo de identificação e no final. Embora os resultados sejam promissores em casos simulados, a presença de ruído e erros de medição distorcem as medidas, levando a erros na identificação. Casos adicionais, que relatam o uso da metodologia nessas condições, são descritos em (8)(9)(12).

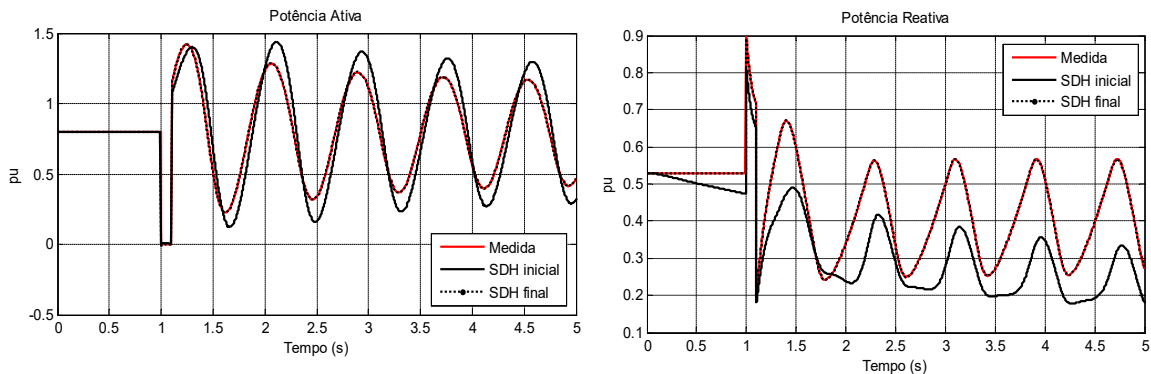


Figura 6 – Potências ativa e reativa do caso simulado

## 5.2 Caso Real

O caso real baseia-se em uma perturbação ocorrida às 14h07min do dia 03/02/2019 na subestação de Furnas, em Foz do Iguaçu. O evento principal foi a explosão de um Transformador de Corrente (TC), resultando na desconexão de uma linha de 500kV (Itaipu-Furnas) e de um autotransformador 500kV/765kV nesta mesma subestação.

A UHE de Itaipu possui uma PMU monitorando as UG14 e UG15, o que permitiu a análise do evento utilizando as medidas da UG15. As variáveis medidas são os fasores trifásicos da tensão e corrente (que são devidamente transformados em valores de sequência positiva) e a tensão de campo. A evolução do módulo da tensão de sequência positiva, da corrente de sequência positiva e da tensão de campo, durante a perturbação, são apresentadas respectivamente nas Figuras 7a, 7b e 7c.

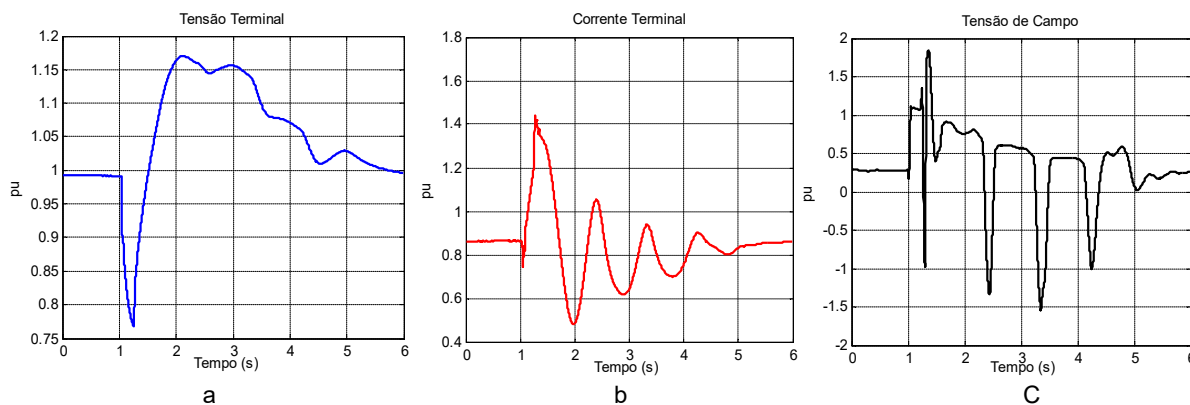


Figura 7 – Tensão e corrente terminal de sequência positiva e tensão de campo

Nesse caso adotou-se a hipótese de potência mecânica constante. Entretanto, existem possibilidades de uso de potência mecânica híbrida (13), ou empregar algum sinal de abertura de válvula pra emular a potência mecânica de modo aproximado. As estimativas iniciais dos parâmetros são os parâmetros de placa da máquina. Além disso, realizaram-se seis processos de identificação usando diferentes períodos de análise, nos primeiros três casos os períodos de análise começam no segundo 0 e terminam nos segundos 4, 5 e 6, já o os últimos três iniciam no segundo 1,5 e terminam nos segundos 4, 5 e 6. As Figuras 8 e 9 ilustram as potências ativas e reativas desses processos nos casos 0-6s e 1,5-6s, respectivamente.

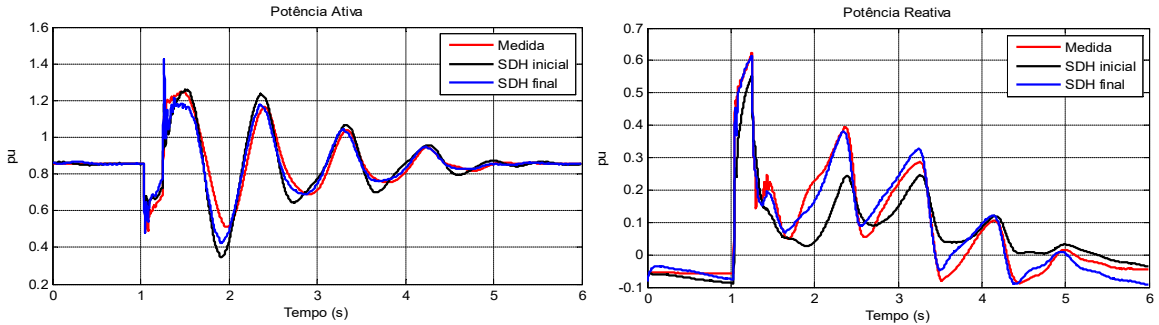


Figura 8 – Resultados da SDH (0-6s) utilizando parâmetros de placa (preto) e parâmetros estimados (azul)

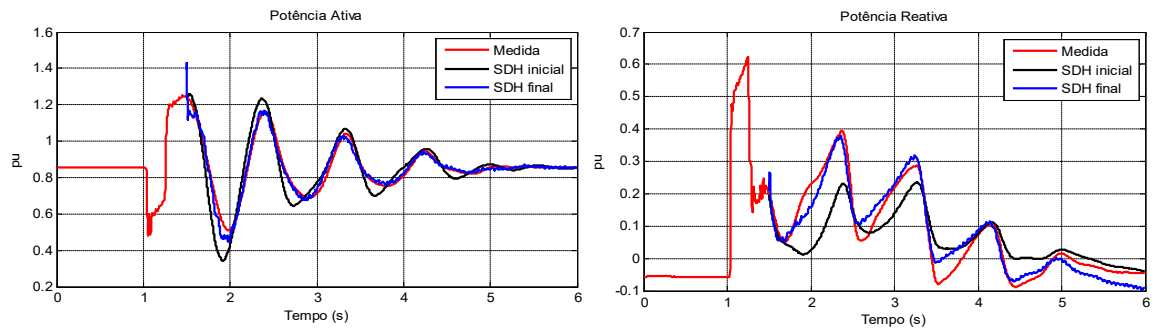


Figura 9 – Resultados da SDH (1,5-6s) utilizando parâmetros de placa (preto) e parâmetros estimados (azul)

Na Figura 10 são ilustrados os estados dinâmicos híbridos obtidos pela SDH na última iteração do processo de identificação de parâmetros.

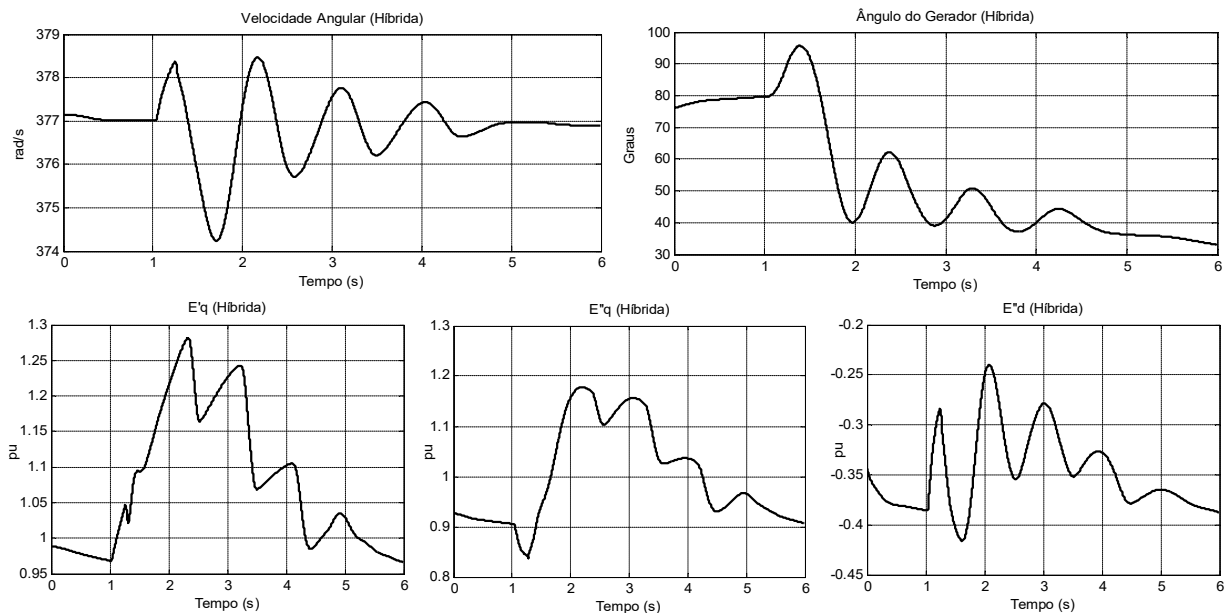


Figura 10 – Estados dinâmicos híbridos simulados na SDH cuja metodologia atinge a convergência

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da identificação de parâmetros, onde observa-se que as maiores diferenças relativas médias, que usam como referência os parâmetros de placa, são verificadas nos parâmetros subtransitórios.

Tabela 2 – Resultado da identificação de parâmetros utilizando dados de uma perturbação real

Parâmetro	Placa	Intervalo de Análise (s)			Média	Diferença Relativa Média	Intervalo de Análise (s)			Média	Diferença Relativa Média
		0 – 6	0 – 5	0 – 4			1,5 – 6	1,5 – 5	1,5 – 4		
$H$	5,389	5,424	5,470	5,481	5,458	1,29%	5,167	5,141	5,096	5,135	-4,72%
$x_d$	0,949	1,738	1,383	1,290	1,470	54,93%	0,884	1,200	1,462	1,182	24,55%
$x_q$	0,678	0,651	0,692	0,687	0,677	-0,20%	0,755	0,785	0,834	0,791	16,72%
$x'_d$	0,317	0,311	0,315	0,318	0,315	-0,74%	0,356	0,380	0,435	0,390	23,13%
$x''_d$	0,252	0,141	0,134	0,134	0,136	-45,90%	0,100	0,079	0,114	0,098	-61,24%
$x''_q$	0,252	0,154	0,156	0,155	0,155	-38,49%	0,025	0,025	0,025	0,025	-90,08%
$T'_{do}$	8,500	8,742	7,687	7,152	7,860	-7,52%	6,794	7,198	6,756	6,916	-18,63%
$T''_{do}$	0,090	0,061	0,066	0,068	0,065	-27,78%	0,074	0,086	0,102	0,087	-2,96%
$T''_{qo}$	0,190	0,230	0,250	0,249	0,243	27,89%	0,167	0,164	0,169	0,167	-12,28%
$C_{Efd}$	-	0,900	1,000	1,047	0,982	-	1,137	1,084	1,044	1,088	-

Além disso, observa-se que ocorrem variações consideráveis nos parâmetros estimados, de acordo com o período de análise. Entretanto, em todos os casos ocorre a convergência do processo de identificação, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de convergência dos processos de identificação

Descrição	Intervalo de Análise (s)			Intervalo de Análise (s)		
	0 – 6	0 – 5	0 – 4	1,5 – 6	1,5 – 5	1,5 – 4
Iterações	70	64	62	48	49	49
$SQR_{inicial}$	88,741	55,198	51,239	50,467	50,093	46,668
$SQR_{final}$	12,299	16,282	15,327	8,210	5,681	3,725

## 6.0 - CONCLUSÃO

O presente informe técnico apresenta a evolução de uma metodologia de identificação de parâmetros de máquinas síncronas. Dentre os diversos aspectos dessa evolução destaca-se a inclusão da identificação de estados dinâmicos, em especial do ângulo do rotor e da velocidade angular, o que evita o uso da injeção dessas variáveis na SDH. Além disso, a inclusão da constante de tensão de campo, que visa compensar o uso indevido de valores de base para a tensão de campo. Os resultados apresentados demonstram que a metodologia é capaz de identificar parâmetros, com valores próximos dos valores de placa. Entretanto, verifica-se a necessidade de investigações adicionais sobre as fontes de erros nas medidas, e de alternativas para definição de parâmetros identificados, dado que as estimativas sofrem forte influência dos períodos de análise utilizado.

## 7.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Itaipu Binacional pela cessão dos registros de dados reais.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DECKER, I. et al. Performance of a synchronized phasor measurements system in the Brazilian power system. In: IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006.
- (2) J. E. Gómez, I. C. Decker, "A novel model validation methodology using synchrophasor measurements," Electric Power System Research, vol. 119, pp. 207–217, Feb. 2015.
- (3) F.M. Mantelli, et. al. "Operação e Manutenção de um Sistema de Medição Sincronizada de Fasores – Experiência do Projeto MedFasee. In: XXIV SNPTEE, Curitiba, 2017.
- (4) R. Fernandes, A. Massaud, M. Muniz, S. Diniz, H. Volskis. "Implantação do sistema de medição sincronizada de fasores no SIN e as lições aprendidas com o projeto piloto de aquisição de PMUs através do OpenPDC pelas equipes de Estudos Elétrico e de Análise de Eventos do ONS", XXIV-SNPTEE, Curitiba, PR, Brasil, 2017.
- (5) R.B.Leandro, A.S. e Silva, I.C.Decker, M.N. Agostini. "Identification of the Oscillation Modes of a Large Power System Using Ambient Data". Journal of Control, Automation and Electrical Systems, v. 1, p. 1-13, 2015.
- (6) V. Zimmer, I.C. Decker, M.N. Agostini. "Disturbance location in the Brazilian electric power system using synchrophasors", In: 2013 IEEE PES ISGT Latin America, 2013, Sao Paulo, SP, Brasil.
- (7) A. Simoes Costa, A. Albuquerque, D. BEZ. "An Estimation Fusion Method for Including Phasor Measurements Into Power System Real-Time Modeling". IEEE Transactions on Power Systems, v. PP, p. 1-1, 2013
- (8) V. Zimmer, "Identificação On-line de parâmetros da Máquina Síncrona Usando Medição Sincronizada de Fasores", Tese de Doutorado, UFSC, Nov. 2018.
- (9) V. Zimmer, I.C. Decker, A.S. e Silva "A Robust Approach for the Identification of Synchronous Machine Parameters and Dynamic States based on PMU data. Electric Power Systems Research, Dez. 2018.
- (10) E. Cari, T. Landgraf, L. Alberto. "A constrained minimization approach for the estimation of parameters of transient generator models". Electric Power Systems Research, v. 143, p. 252-261, Fev. 2017.
- (11) J. Arrillaga, C. P. Arnold, J. Arrillaga, and C. P. Arnold, "Power System Stability-Basic Model," in Computer Analysis of Power Systems, John Wiley & Sons, Ltd., 1990, pp. 155–196
- (12) V. Zimmer, I.C. Decker, A.S. e Silva. "Estimação de parâmetros de Máquinas Síncronas Usando Sincrofasores". XXIV SNPTEE, Curitiba, PR, Brasil, 2017.
- (13) P. Galassi "estimação paramétrica de geradores síncronos empregando simulação híbrida", Trabalho de Conclusão de Curso, UNIOESTE, 2016.



## 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Valmor Zimmer** é formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2010). Mestre (2013) e Doutor (2018) em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atuou como professor temporário do Instituto Federal de Santa Catarina. Desenvolve pesquisas na área de microrredes, energias renováveis e de medição sincronizada de fasores, e, atualmente, atua como Engenheiro de Testes na GE.



**Ildemar Cassana Decker** é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Pelotas (1979), mestre (1984) e doutor em Sistemas de Energia Elétrica (1993) pela Universidade Federal de Santa Catarina e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, respectivamente. Desde 1985 é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina. Suas áreas principais de interesse são métodos computacionais para análise e controle de sistemas de energia elétrica e o desenvolvimento e aplicação de sistemas de medição fasorial sincronizada.

**Aguinaldo Silveira e Silva** possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (1977), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1982) e doutorado em Doutorado - University of Manchester Institute of Science and Technology (1990). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Medição, Controle, Correção e Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas de potência, estabilidade para pequenas perturbações, medição fasorial, projeto de controladores e programação orientada a objetos.