



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

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

GRUPO - GAT

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISES E TÉCNICAS DE POTÊNCIA - GAT

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE GERADORES SÍNCRONOS EMPREGANDO O ENSAIO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA PARA DIFERENTES FAIXAS DE FREQUÊNCIAS DE MEDIÇÃO

**Maria Teresa Mendoza
FEEC/UNICAMP**

**Ernesto Ruppert Filho
FEEC /UNICAMP**

**Juan Carlos Pequeña
FEEC/UNICAMP**

**Fernando Fajoni
FEEC/UNICAMP**

RESUMO

Este trabalho discute a metodologia de estimação dos parâmetros elétricos de um gerador síncrono de polos salientes, através dos dados obtidos do ensaio de resposta em frequência (ERFRR). Analisou-se os espectros de amplitude e de fase das indutâncias operacionais de eixo direto e em quadratura dos enrolamentos de estator e comparou-se os resultados com os valores de parâmetros obtidos em ensaios de curto circuito brusco e de rejeição de carga. Os resultados foram obtidos usando um gerador síncrono de 2 kVA, 230 V, 1800 rpm, 60 Hz. Os parâmetros estimados foram as reatâncias síncronas e todas as constantes de tempo.

PALAVRAS-CHAVE

Gerador síncrono, estimação de parâmetros, resposta em frequência, método de Levy, método Levenberg-Marquardt.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os parâmetros do gerador síncrono são empregados na construção de modelos matemáticos dinâmicos para serem usados em estudos de dinâmica de sistemas de energia elétrica. Estes estudos são críticos para a operação do sistema de energia elétrica, como: determinação dos limites de operação, configuração dos esquemas de proteção, despacho da carga, estabilidade transitória e dinâmica, entre outros. O conhecimento dos parâmetros dos geradores síncronos é de vital importância na obtenção de resultados confiáveis obtidos através de simulações digitais dinâmicas.

Os parâmetros elétricos fundamentais de um gerador síncrono são as resistências elétricas dos enrolamentos de estator e de rotor, as reatâncias de dispersão desses enrolamentos e as reatâncias de magnetização de eixo d e de eixo q . A determinação desses parâmetros só é possível de ser feita a partir da obtenção dos parâmetros padronizados que são: as reatâncias síncronas de eixos d e q , as reatâncias transitórias e subtransitórias de eixos d e q e as constantes de tempo transitórias e subtransitórias de circuito aberto e de curto circuito de eixos d e q .

A referência [2], que se preocupa com ensaios para determinação de parâmetros de maneira expedita de componentes de sistemas de energia elétrica, mostra, em sua página I-4, resultados de simulação e resultados reais de oscilação de potência ocorridos em 10 de agosto de 1996 durante a separação do sistema oeste interconectado dos Estados Unidos. O que se vê é que o crescimento de oscilações que levaram à separação do sistema não foram detectadas nos estudos realizados através de simulações digitais do sistema sendo o resultado da simulação do sistema elétrico completamente diferente do que na realidade aconteceu. Esse e outros resultados motivaram a procura de parâmetros mais representativos para o sistema de energia elétrica na ocasião. O EPRI, nessa publicação, usa este exemplo para incentivar os proprietários de usinas a melhorarem os parâmetros de seus componentes para que simulações possam descrever perfeitamente o comportamento dinâmico das mesmas, já que atualmente existem softwares muito bons no mercado para realizarem tais simulações.

O ensaio da resposta em frequência é uma técnica de estimação de parâmetros elétricos de geradores síncronos que apresenta reduzido nível de risco imposto à máquina como é mencionado na última atualização da norma IEEE

Std. 115,2009 [1]. O método se baseia na determinação dos parâmetros padronizados (*standard parameters*) do gerador, tanto para o eixo direto como para o eixo em quadratura, usando curvas de resposta em frequência obtidas experimentalmente com o gerador em repouso.

Os parâmetros elétricos do gerador síncrono fazem parte de sua modelagem matemática dinâmica e são obtidos utilizando os circuitos elétricos equivalentes dinâmicos de eixos direto e de eixo em quadratura (*d* e *q*) que representam os seus enrolamentos [4], [7], e [9]. Normalmente os cálculos dos parâmetros dos circuitos elétricos dinâmicos equivalentes, a partir de dados de projeto, são realizados pelos fabricantes de geradores. Entretanto devido a problemas decorrentes de fenômenos físicos não representados na modelagem usada para projeto, nem sempre são obtidos valores dos parâmetros com a confiabilidade necessária. Daí a necessidade de determiná-los experimentalmente na usina ou na própria fábrica, quando possível, durante os ensaios de comissionamento ou mesmo em outras oportunidades.

Neste trabalho, apresenta-se um procedimento para estimação de parte dos parâmetros elétricos de um gerador síncrono de polos salientes utilizando uma parte do conjunto de dados que podem ser obtidos no ensaio de resposta em frequência. A partir deles é possível estimar os valores dos seguintes parâmetros elétricos padronizados do gerador síncrono de polos salientes que são as reatâncias síncronas de eixo direto e de eixo em quadratura e as constantes de tempo transitórias e subtransitórias de eixo direto e de eixo em quadratura, de curto circuito e de circuito aberto mediante métodos iterativos de ajuste de curvas. Os métodos iterativos de Levy [3] e de Levenberg-Marquardt (L-M) [5], [6], [10], que permitem uma estimação eficiente e numericamente convergente dos parâmetros foram utilizadas neste trabalho. O método de Levy foi utilizado para gerar um primeiro conjunto de valores de parâmetros para servir de entrada para o método de Levenberg-Marquardt.

A novidade que se apresenta neste trabalho, além do esforço em tentar estimar os parâmetros propostos é o uso do método de Levy como ponto de partida para o método de Levenberg-Marquardt. Como o método de Levenberg-Marquardt é um método usado, entre outras aplicações, para otimização não linear, o ponto de partida no espaço das possíveis soluções é de importância fundamental. O uso do método de Levy, que só se aplica a sistemas lineares, mostrou ser uma ferramenta muito importante para a procura desse ponto de partida.

Para avaliar a consistência do ensaio de resposta em frequência com rotor em repouso (ERFRR) e a eficiência dos algoritmos de estimação de parâmetros utilizados neste trabalho foram realizados ensaios em um gerador síncrono de polos salientes de pequeno porte de 2 kVA, 230 V, 1800 rpm, 60 Hz. Comparou-se os valores obtidos no ensaio de resposta em frequência com os resultados de ensaios de curto circuito brusco e de rejeição de carga de eixo direto e de eixo arbitrário.

2.0 - MODELAGEM MATEMÁTICA DINÂMICA DO GERADOR SÍNCRONO DE POLOS SALIENTES

O gerador síncrono é normalmente modelado em dois eixos *d* e *q* usando a transformada de Park [4], e [11]. Diversos pesquisadores, entre eles [4], consideram o gerador síncrono de polos salientes como tendo um enrolamento amortecedor no eixo *d* e um enrolamento amortecedor no eixo *q*. As indutâncias operacionais de eixo *d* e eixo *q* podem, então serem obtidas a partir dos circuitos equivalentes de eixo *d* e de eixo *q* vistos na Fig. 1. Nessa figura $v_d(s)$ e $v_q(s)$ são as tensões de eixos *d* e *q*, nos terminais do enrolamento de estator, $i_d(s)$ e $i_q(s)$ são as correntes de eixos *d* e *q* nos enrolamentos fictícios de eixos *d* e *q* do estator v_{fd} é a tensão de campo; $L_d(s)$ e $L_q(s)$ são as indutâncias operacionais de eixos *d* e *q*, R_a é a resistência de enrolamento de armadura.

As indutâncias operacionais $L_d(s)$ e $L_q(s)$ podem ser obtidas dos circuitos da Fig. 1 e as suas expressões são mostradas em (1) e (2) [4].

$$L_d(s) = L_d \frac{(1 + sT'_d)(1 + sT''_d)}{(1 + sT'_{d0})(1 + sT''_{d0})} \quad (1)$$

$$L_q(s) = L_q \frac{(1 + sT''_q)}{(1 + sT'_{q0})} \quad (2)$$

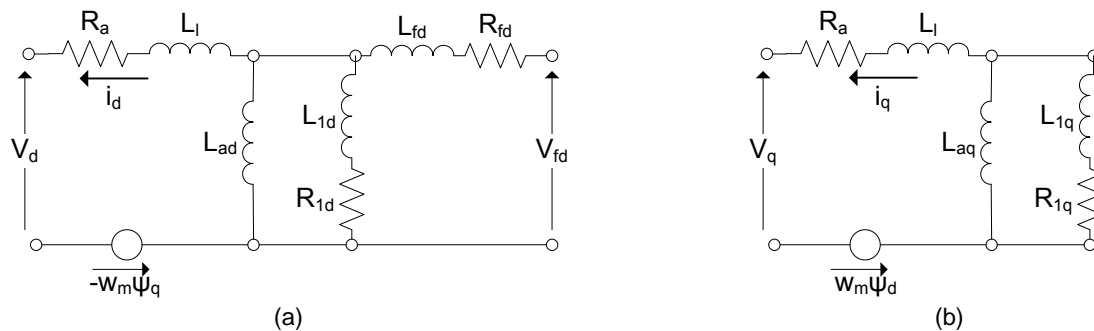


Figura 1 – Circuito equivalente a) eixo *d* e b) eixo *q* do gerador síncrono de polos salientes

Nessas equações L_d e L_q são as indutâncias síncronas de eixos d e q (que formam as reatâncias síncronas de eixos d e q), T'_d e T''_d são as constantes de tempo transitória e subtransitória de curto circuito e de eixo direto, respectivamente, T'_q é a constante de tempo subtransitória de curto circuito e de eixo em quadratura, T'_{do} e T''_{do} são as constantes de tempo transitória e subtransitória de circuito aberto e de eixo direto, respectivamente, T''_{qo} é a constante de tempo subtransitória de circuito aberto e de eixo em quadratura.

Dependendo da construção e das especificações do gerador síncrono o número de enrolamentos amortecedores varia; variando também a ordem dos circuitos equivalentes como é o caso dos turbogeradores. Entretanto para os hidrogeradores os circuitos equivalentes vistos na Fig. 1 tem-se provado suficientes.

3.0 - ENSAIO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA COM ROTOR EM REPOUSO

Os ensaios de resposta em frequência são descritos em [1]. Essa norma, existente desde os anos 80, foi revisada em 1995 e tornou-se a revisar em 2009 sendo publicada em 2010. Ela é muito importante na área de ensaios de máquinas síncronas. Para o entendimento do que foi realizado neste trabalho é importante a leitura das páginas 148 a 172 da referida norma. Essa norma mostra como determinar as impedâncias operacionais de eixo direto e de eixo em quadratura $Z_d(s)$ e $Z_q(s)$ a partir de ensaios de resposta em frequência. Para tal o rotor em repouso é colocado, primeiramente de maneira que o eixo do campo magnético devido à corrente de estator esteja ao longo do eixo direto e a impedância operacional de eixo d , $Z_d(s)$ seja obtida. A norma [1] explica como isso é realizado.

De maneira análoga, com o rotor posicionado no eixo q obtém-se a impedância operacional de eixo q , $Z_q(s)$. A Fig. (2) mostra as configurações a serem usadas para obtenção das respostas em frequência de eixos d e q . As funções de transferência $Z_d(s)$ e $Z_q(s)$ são obtidas através de seus diagramas de Bode que mostram as amplitudes e ângulos de fase (ou fase) em função da frequência. A expressão (3) permite determinar as indutâncias operacionais de eixo direto e de eixo em quadratura que serão utilizadas na estimação dos parâmetros que nelas aparecem, conforme se vê nas equações (1) e (2).

$$L_{d,q}(s) = \frac{Z_{d,q}(s) - R_a}{s} \quad (3)$$

Para obter R_a , deve-se traçar a parte real da impedância operacional de armadura $Z_d(s)$, em função da frequência e extrapola-se para a frequência zero [1], obtendo-se.

$$R_a = \left\{ \lim_{s \rightarrow 0} [Z_d(s)] \right\} \Omega \quad (4)$$

Para realizar os ensaios de resposta em frequência utilizou-se um gerador de funções HP 3325A, que opera em uma faixa de frequências de (1 μ Hz a 21 MHz) com amplitude apreciável. Um dos maiores problemas deste ensaio é que a impedância obtida nos terminais do gerador pela divisão da tensão aplicada pela corrente obtida no enrolamento de estator, conforme mostra a Fig. 2 é muito pequena para baixas frequências e elevada para altas frequências.

Os sinais observados durante os ensaios foram adquiridos através de transdutores de tensão e sensores de efeito Hall e enviados a um sistema de aquisição para, em seguida, serem transmitidos a um computador onde foram realizados os tratamentos matemáticos adequados utilizando o aplicativo computacional Matlab. Usando o aplicativo Matlab foram determinadas, para cada frequência, a amplitude e a fase das impedâncias operacionais de eixo d e de eixo q ($Z_d(s)$, $Z_q(s)$).

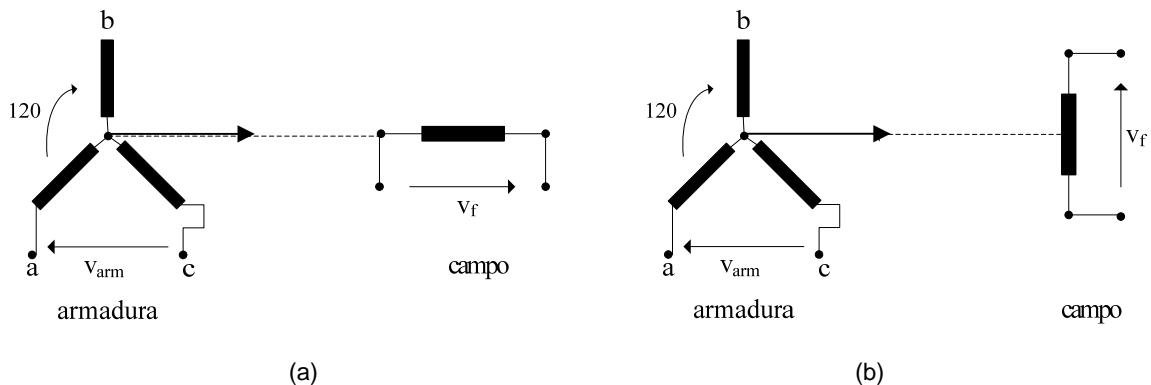


Figura 2 – Configurações do ensaio para obtenção da impedância operacional (a) de eixo d , $Z_d(s)$, (b) de eixo q , $Z_q(s)$

Deve-se ter muito cuidado para obter o valor da resistência elétrica de armadura, a ser utilizada no cálculo dos parâmetros, com a maior precisão e resolução possível, caso contrário, podem resultar grandes erros em valores de baixa frequência da indutância operacional. Neste ensaio é muito importante para obter medidas aceitáveis, uma boa calibração dos instrumentos de medida de tensão e de corrente elétrica.

4.0 - DESCRIÇÃO DO ALGORITMO DE ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

O algoritmo de estimação de parâmetros para o ensaio de resposta em frequência, utilizado neste trabalho, determinará os parâmetros das indutâncias operacionais de eixos d e q (3), que aproximem as funções de amplitudes e os ângulos de fase das funções de transferência $L_d(s)$ e $L_q(s)$ para cada frequência ω (diagramas de Bode) obtidas por medição de tensões e correntes de estator em uma dada faixa de frequências. A idéia geral é realizar o ajuste das funções de uma forma sequencial, de tal forma que os parâmetros obtidos ao final de cada passo do processo são os valores iniciais do passo seguinte.

Os métodos numéricos utilizados para estimação de parâmetros no domínio da frequência são o método de Levy e o método de Levenberg-Marquardt. O método de Levy, que se aplica muito bem para sistemas lineares, é utilizado para determinar uma primeira estimativa de valores de parâmetros para serem usados como ponto de partida para o método de Levenberg-Marquardt.

4.1 Método de Levy e de Levenberg-Marquardt

As descrições matemáticas desses métodos são extensas de modo que não são apresentadas neste trabalho. Entretanto, nas referências [3], [5], [6], e [10] pode-se encontrar toda a teoria sobre eles.

Neste trabalho programam-se completamente os dois métodos, entretanto, os softwares como Matlab e outros apresentam aplicativos para esses métodos.

5.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

O primeiro passo na identificação de parâmetros é a escolha das estruturas do gerador para o eixo direto e para o eixo em quadratura. No caso de geradores síncronos de polos salientes as equações (1) e (2) são usadas.

Foram realizadas 49 medições de amplitudes e de fases de $Z_d(s)$ e de $Z_q(s)$ na faixa de frequências de (0,01 Hz a 200 Hz), e 57 medições de amplitudes e de fases na faixa de frequências de (0,01 Hz a 1000 Hz) usando os esquemas mostrados na Fig. 2. Com os pares de pontos obtidos de amplitude e fase de $Z_d(s)$ e de $Z_q(s)$ e usando as equações (3) obteve-se os pontos de $L_d(s)$ e de $L_q(s)$. Utilizando o Método de Levy obteve-se curvas de resposta em frequência que aproximavam, através de processo usado para funções lineares, os espectros obtidos em laboratório. Com isso obteve-se uma primeira aproximação dos valores dos parâmetros do gerador síncrono em análise tanto para faixa de frequências de 0,01 a 200 Hz como de 0,01 a 1000 Hz com modelos de 1ª. e de 2ª. ordem.

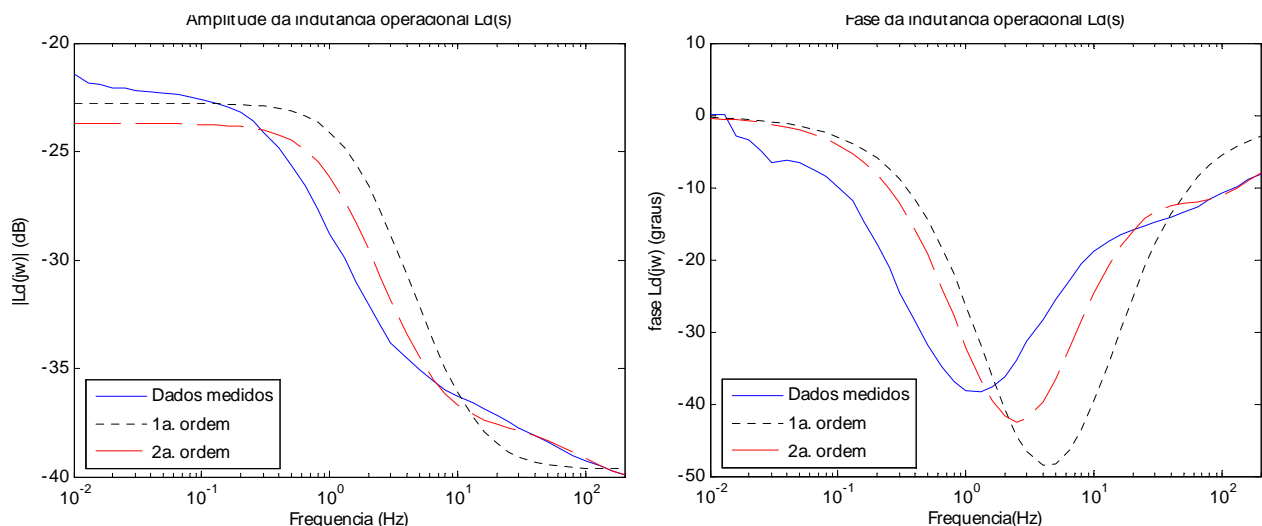


Figura 3 - Indutância operacional $L_d(s)$ para diferentes ordens do modelo do gerador síncrono de polos saliente na faixa de frequências de (0,01 Hz a 200 Hz), Método de Levy

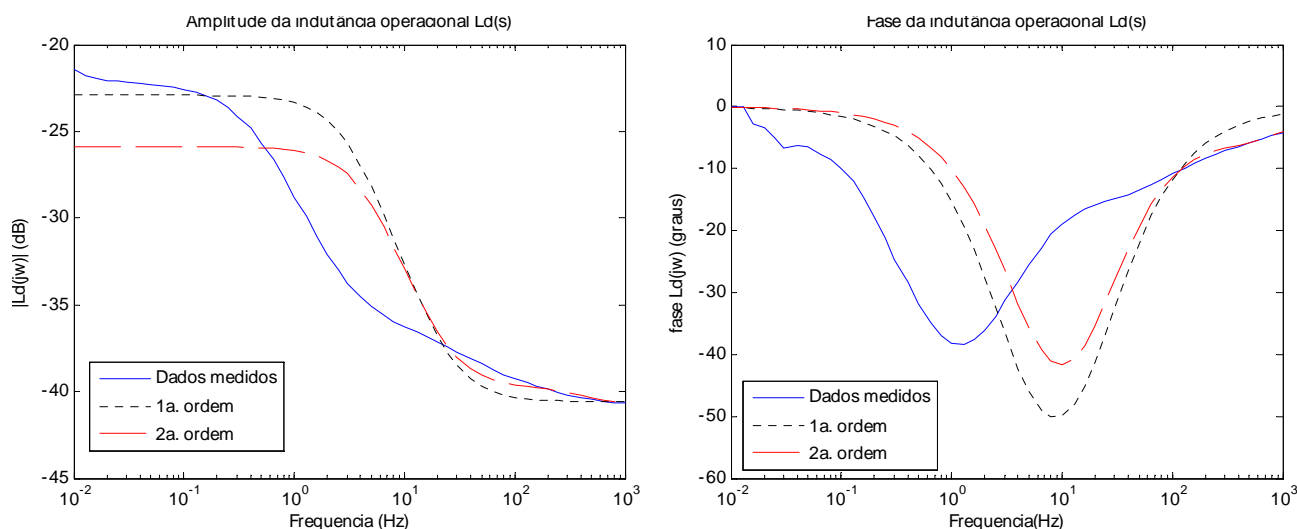


Figura 4 - Indutância operacional $L_d(s)$ para diferentes ordens do modelo do gerador síncrono de polos saliente na faixa de frequências de (0,01 Hz a 1000 Hz), Método de Levy

Na Tab. (1), mostram-se os valores dos parâmetros iniciais obtidos utilizando o Método de Levy, que serão usados como ponto de partida para a aplicação do Método de Levenberg-Marquardt.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros estimados no eixo d usando o método de Levy

Parâmetros Eixo “d”	Método de Levy	
	ERFRR até 200 Hz	ERFRR até 1000 Hz
L_d (H)	0,0644	0,0501
T'_d (s)	0,0274	0,0068
T''_d (s)	0,0014	0,0003
T'_{do} (s)	0,1375	0,0334
T''_{do} (s)	0,0019	0,0003

A função de transferência escolhida é a de segunda ordem, os parâmetros desta função são escolhidos como iniciais para aplicação do método iterativo de Levenberg-Marquardt de ajuste de curvas.

Tabela 2 – Parâmetros estimados no eixo d utilizando diferentes ensaios

Parâmetros Eixo “d”	Métodos			
	Curto-circuito	Rejeição de carga	ERFRR L-M até 200 Hz	ERFRR L-M até 1000 Hz
R_a (Ω)	1,38	-	1,3767	1,3827
L_d (H)	0,0924	0,0749	0,0734	0,0776
T'_d (s)	0,0565	0,0706	0,0679	0,0774
T''_d (s)	0,0149	0,0206	0,0043	0,0050
T'_{do} (s)	0,2917	0,2854	0,3206	0,3461
T''_{do} (s)	0,0225	0,0330	0,0066	0,0086

O gerador de frequências utilizado neste ensaio permite controlar a corrente aplicada ao circuito a partir do controle de tensão de entrada até a frequência de 200 Hz. Dessa maneira o ensaio em frequência de 0,01 a 200 Hz foi realizado em corrente constante. A partir de 200 Hz a corrente não mais pode ser mantida constante. Na Tab. (2), comparam-se os valores do ERFRR com parâmetros determinados através de outros ensaios. Observa-se que as maiores diferenças entre os ensaios realizados estão nas constantes de tempo subtransitórias T'_d e T''_{do} .

A amplitude e a fase da indutância operacional $L_d(s)$ são mostrados na Fig. (5) para a faixa de frequência de 0,01 a 200 Hz. A linha sólida mostra as quantidades medidas através do ERFRR, a linha tracejada representa a função de transferência estimada utilizando os métodos descritos.

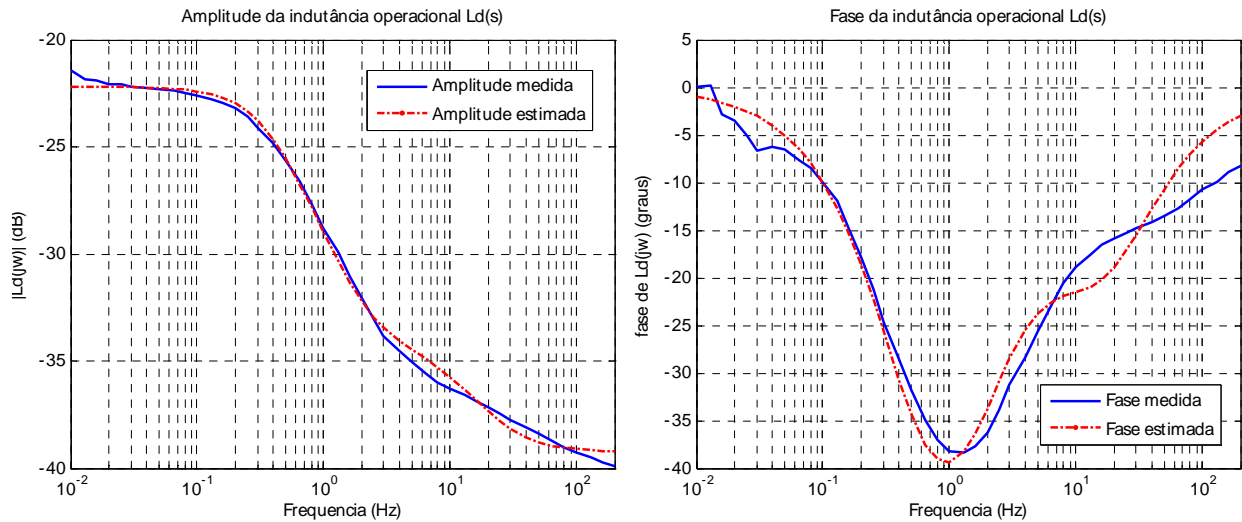


Figura 5 - Indutância operacional $L_d(s)$, comparação entre os dados medidos e os dados estimados para uma faixa de frequências de (0,01 Hz a 200 Hz)

Na Tab. (3) apresenta-se os parâmetros estimados para o eixo em quadratura do ensaio de resposta em frequência, utilizando o método de Levy e o método de Levenberg-Marquardt. Comparam-se estes valores com parâmetros obtidos no ensaio de rejeição de carga.

Tabela 3 - Parâmetros estimados no eixo q utilizando diferentes ensaios

Parâmetros eixo "q"	Métodos		
	Rejeição de carga eixo arbitrário	ERFRR L-M até 200 Hz	ERFRR L-M até 1000 Hz
L_q (H)	0,0547	0,0572	0,0589
T''_q (s)	0,0083	0,0030	0,0030
T''_{q0} (s)	0,0492	0,0180	0,0191

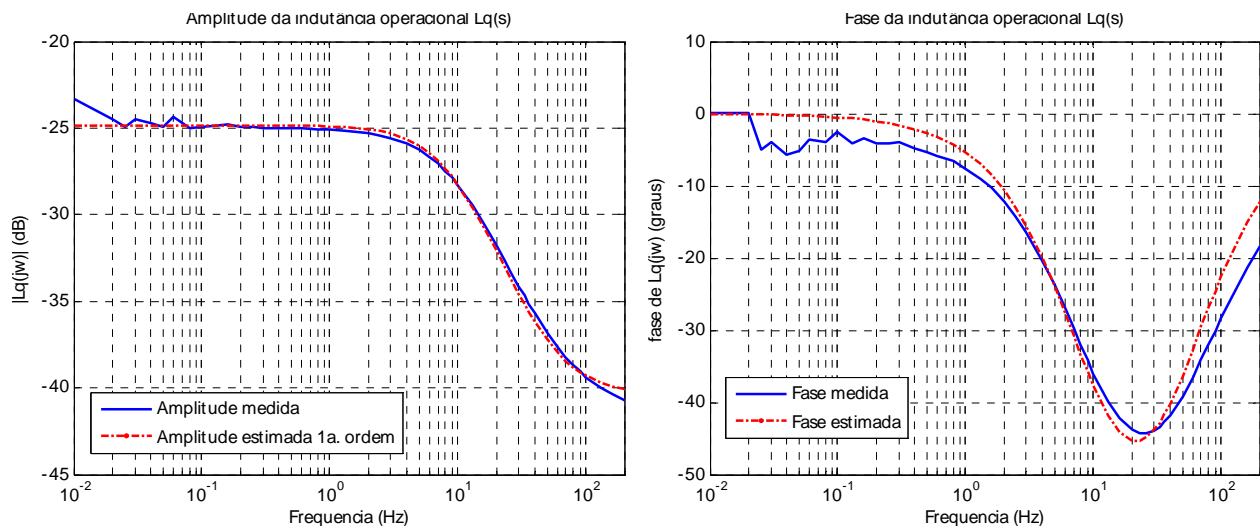


Figura 6 - Indutância operacional $L_q(s)$, comparação entre os dados medidos e os dados estimados para uma faixa de frequências de (0,01 Hz a 200 Hz), método de L-M

Observa-se da Tab. (3) que as diferenças entre os parâmetros obtidos nos ensaios de resposta em frequência e de rejeição de carga são consideráveis. Já considerando apenas o ensaio de resposta em frequência os resultados obtidos para diferentes faixas de frequência são semelhantes.

Na Fig. (6) mostra-se a amplitude e a fase da indutância operacional de $L_q(s)$, valores medidos e estimados. Desta figura conclui-se que os erros devido ao método numérico são aceitáveis. Por tanto, verifica-se que o processo de convergência do método numérico é eficiente.

5.1 Estrutura do modelo do gerador síncrono de polos salientes – eixo em quadratura

Em [4], foram obtidas as seguintes expressões para as indutâncias operacionais do gerador síncrono de polos salientes, que também foram consideradas no ensaio de resposta em frequência neste trabalho.

$$L_q(s) = L_{q0} \frac{(1 + sT_q'')}{(1 + sT_{q0}'')} \quad (1^{\text{a. ordem}}) \quad (13)$$

$$L_q(s) = L_{q0} \frac{(1 + sT_q') (1 + sT_q'')}{(1 + sT_{q0}') (1 + sT_{q0}'')} \quad (2^{\text{a. ordem}}) \quad (14)$$

Na Tab. (4), apresentam-se os parâmetros estimados de eixo em quadratura do modelo do gerador síncrono de polos salientes, considerando as expressões (13) e (14). Na Fig. (7), mostra-se o gráfico da indutância operacional no eixo q para diferentes estruturas do modelo do rotor.

Tabela 4 – Parâmetros estimados no eixo q , utilizando diferentes estruturas do modelo

Parâmetros eixo “q”	ERFRR 0,01 – 200 Hz Estrutura do modelo: eixo em quadratura	
	1ª. ordem	2ª. ordem
L_q (H)	0,0572	0,0581
T_q' (s)	-	0,0617
T_q'' (s)	0,0030	0,0026
T_{q0}' (s)	-	0,0690
T_{q0}'' (s)	0,0180	0,0156
No. iterações	2	13

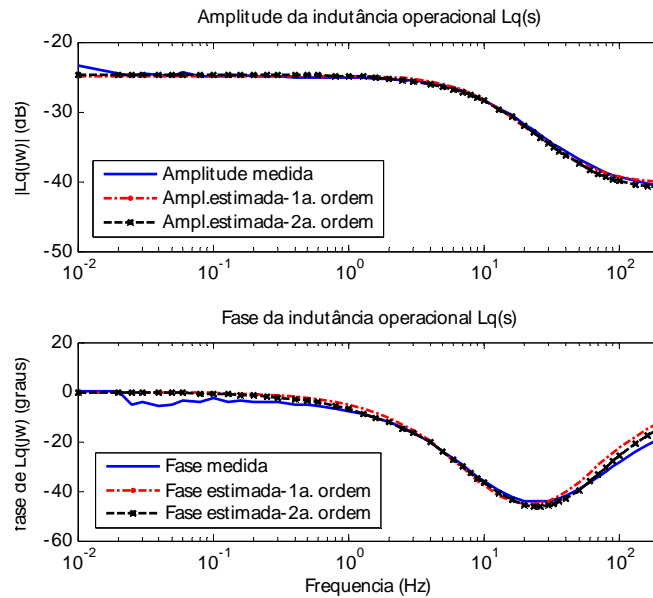


Figura 7 – Indutância operacional $L_q(s)$, considerando diferentes estruturas do modelo

A adição de um circuito no rotor não altera sensivelmente o resultado obtido sem adição desse circuito.

6.0 - CONCLUSÃO

Mesmo usando um pequeno gerador síncrono de polos salientes demonstrou-se neste trabalho que a aplicação do método de Levy e do método iterativo de Levenberg-Marquardt na estimação de parâmetros elétricos de um gerador síncrono de polos salientes usando o ensaio de resposta em frequência pode dar bons resultados. O

método de Levy identifica a estrutura do modelo que mais se ajuste aos dados medidos de ensaio obtendo os parâmetros iniciais da função de transferência linearizada, para depois permitir o uso do método iterativo de Levenberg-Marquardt de ajuste da curva que aproxime os dados da função de transferência linear aos dados obtidos do ensaio. Neste trabalho também foram comparados os resultados do ensaio de resposta em frequência com ensaios de curto circuito e rejeição de carga de eixo direto e de eixo arbitrário. Os resultados foram de razoáveis a bons para parâmetros de regime permanente e de regime transitório porém, as constantes de tempo subtransitórias apresentam valores baixos comparados com os resultados de ensaios de curto circuito brusco e de rejeição de carga não importando muito se a faixa de frequências usadas foi de (0,01 a 200 Hz) ou de (0,01 a 1000 Hz).

No ensaio de resposta em frequência, deve ter-se em conta que, para máquinas de grande porte a relação reatância/resistência elétrica (X/R), torna-se alta, o que significa que a reatância indutiva torna-se proporcionalmente maior do que a resistência elétrica. Portanto, para máquina de grande porte a resistência elétrica pode ser desconsiderada, a impedância é praticamente uma reatância indutiva. Isto é uma das razões, pelas quais as medidas da impedância em função da frequência apresentam problemas para máquinas de pequeno porte, já que a resistência elétrica influencia consideravelmente sobre a fase das funções de transferência medidas. Isso pode influenciar bastante os resultados obtidos para o período subtransitório.

Os autores agradecem à empresa de geração de energia elétrica “CPFL” pelo financiamento de parte deste projeto, ao CNPq e à CAPES pelas bolsas de estudo oferecidas.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE GUIDE: TEST PROCEDURES FOR SYNCHRONOUS MACHINES, IEEE Standard 115-2009, May. 2010.
- (2) *POWER PLANT MODELING AND PARAMETER DERIVATION FOR POWER SYSTEM STUDIES (Present Practice and Recommended Approach for Future Procedures)*, EPRI Final Report (1015241), June 2007.
- (3) L. A. AGUIRRE, *Introdução à Identificação de Sistemas*, 3ra. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.
- (4) P. KUNDUR, *Power System Stability and Control*, New York: Mc Graw Hill, 1994.
- (5) L. LJUNG, *System Identification: Theory for the user*, 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, Inc., 1999.
- (6) KAJ MADSEN, HANS BRUUN NIELSEN, OLE TINGLEFF. *Methods for Non-linear Least Squares Problems*, IMM Department of Mathematical Modeling, 2004.
- (7) E. C. BORTONI, “Modelagem de máquinas síncronas de polos salientes empregando técnicas de resposta em frequência”, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1998.
- (8) F. FAJONI, “Estudos sobre determinação de parâmetros elétricos de geradores síncronos de polos salientes”, Tese de Mestrado, Universidade de Campinas, Brasil, Aug. 2010.
- (9) E. C. BORTONI, J. A. JARDINI, “A standstill frequency response method for large salient pole synchronous machines”, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 19, No. 4, Dec 2004.
- (10) D. W. MARQUARDT, “An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters”, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, Philadelphia, Vol. 11, no. 2. Pp. 431-441, 1963.
- (11) D. Y. PARK. et al, “Standstill Frequency Response Testing and Modeling of Salient-Pole Synchronous Machines”, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 13, No. 3, Dec. 1998.
- (12) R. M. SAUNDERS, “Synchronous machine standstill frequency response test data analysis”, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 6, pp. 564-571, Sep. 1991.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Maria Teresa Mendoza LLerena, recebeu o diploma de graduação em engenharia elétrica pela Universidade de San Agustín, Perú em 2003, o mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil em 2006. Atualmente, esta realizando o doutorado na Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas. Ela tem experiência na área de medidas elétricas, instrumentação, e máquinas elétricas. Seus interesses de pesquisa focam na estimação de parâmetros de geradores síncronos.

Ernesto Ruppert Filho, recebeu o diploma de graduação em Engenharia Elétrica em 1971, o título de mestre e doutor em 1974 e 1982, respectivamente, pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Durante sua vida profissional tem trabalhado em projetos de engenharia e/ou consultoria para grandes empresas. Desde 1972 é professor e pesquisador da Universidade Estadual de Campinas. Seus interesses de pesquisa são: eletrônica de potência, limitadores de corrente supercondutor, sistemas elétricos de potência, geração distribuída, máquinas elétricas e acionamentos de motores.