

## UM MÉTODO PARA VERIFICAÇÃO DA CLASSE DE EXATIDÃO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUTIVOS

Izael Pereira da Silva, Augusto Ferreira Brandão Júnior, Antônio Carlos de Silos, Dimetri Ivanoff  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo CP 8174 CEP 01065-970 Fax 005511-8185719 São Paulo SP Brasil

### RESUMO

Mostra-se a verificação da exatidão de transformadores de potencial indutivos, através de ensaios de excitação e perdas em vazio, medidas da impedância de curto circuito e das resistências ôhmicas dos enrolamentos. Utiliza-se o método gráfico de Möllinger & Gewecke e um programa digital que tem como dados os valores obtidos num ensaio de exatidão com a inserção de um resistor em série com o enrolamento primário, para determinar o valor real da relação de espiras e da reatância de dispersão separada do enrolamento primário. São levados em conta os erros de módulo e fase os quais devem estar dentro de valores máximos, especificados em normas. Alguns transformadores, com diferentes tensões primárias nominais, classes de exatidão e concepções de projeto, foram ensaiados para comprovar a validade do procedimento. Os erros obtidos são comparados com aqueles encontrados através do método Schering-Alberti (ponte de relação CA e transformador padrão). A medição é parte importante no controle da qualidade da energia elétrica, justificando o interesse do assunto.

### 1. INTRODUÇÃO

Em um transformador de instrumento ideal, a quantidade no secundário é a cópia da primária em escala reduzida e em exata concordância ou oposição de fase. Já no transformador de potencial indutivo (TPI) real existem divergências não só nas magnitudes como também nos ângulos de fase de tensão e corrente, erros que variam em função das condições de operação. As fórmulas correntes para seu cálculo exigem os valores da reatância de dispersão do enrolamento primário calculada separadamente e também da relação de espiras. A dificuldade do conhecimento exato destas duas grandezas explica a pouca utilização destas fórmulas no cálculo dos erros com o nível de precisão exigido para a determinação da classe de exatidão dos transformadores de medida, que em geral varia de 0,1% a 0,3% para fins de faturamento de consumo da energia. Em face destas dificuldades, optou-se, historicamente, pela aplicação de métodos comparativos para a medição dos erros. Um método gráfico, conhecido como o diagrama de Möllinger & Gewecke<sup>1,2</sup> (M&G), possibilita, partindo dos erros obtidos por meios tradicionais, com um pequeno artifício, obter-se o valor da reatância de dispersão primária e também a compensação adotada na relação de espiras.

O objetivo do presente trabalho é mostrar a possibilidade de verificar a exatidão de TPI's, do tipo comercial, ao longo de sua vida útil através de ensaios em campo, evitando-se assim o transporte de tais equipamentos até laboratórios credenciados para novas calibrações, o que em geral é dispendioso. Baseia-se no método M&G, utilizado para determinar a reatância de dispersão primária e o valor real da relação de espiras. De posse destas duas grandezas, mais os resultados obtidos dos ensaios de perdas em vazio e curto circuito, pode-se fazer uso das fórmulas correntes dos erros de relação e de fase para determinar estes valores com uma precisão adequada às classes destes equipamentos

Este estudo assume relevância no cenário atual, quando as concessionárias do fornecimento de energia elétrica começam a trocar os medidores de eletromecânicos, nos quais há uma sensível potência consumida por outros, eletrônicos ou digitais, mais precisos e modernos, e que colocados como carga (cerca de 2 VA), caracterizam quase a condição de circuito em aberto. Isto pode levar a situações tais como um TPI ser compensado com base nas cargas padrão de 12,5 a 400 VA, para adequar-se à norma, e exatamente por isso trabalhar numa condição de erro sistemático, favorecendo o fornecedor. Como este estudo foi feito especificamente para TPI's, tem validade somente para transformadores de tensão primária nominal até 34,5 kV para o Grupo 1 (ligação fase-fase) ou 34,5/ $\sqrt{3}$  kV para os Grupos 2 e 3 (ligação fase-neutro)<sup>2</sup>.

### 2. ERROS EM TPI'S

As normas brasileiras<sup>2,3</sup>, baseando-se em normas americanas<sup>4</sup>, estabelecem a classe de exatidão em função dos erros de relação e de fase, definindo ainda, um fator de correção de transformação. As classes são 0,3; 0,6 e 1,2, correspondendo a erros máximos de 0,3; 0,6 e 1,2% da tensão secundária nominal. Considera-se que um TPI está dentro da classe quando o ponto determinado pelo erro de relação ( $\epsilon_p$ ) ou pelo fator de correção da relação ( $FCR_p$ ) e pelo ângulo de fase ( $\gamma$ ) estiver dentro de um paralelogramo de exatidão. São ensaiados em vazio e depois com cargas padrão colocadas no seu secundário, uma de cada vez, sob diferentes condições de tensão, p.ex., 90%, 100% e 110% da tensão nominal. A classe de exatidão deve ser indicada<sup>2</sup> seguida pela maior carga nominal. Assim, um TPI de classe 0,6P75, deve ser entendido como

apresentando () erro máximo de 0,6% para cargas desde zero até a nominal de 75 VA.

O erro de relação  $\varepsilon_p$  é definido por:

$$\varepsilon_p \% = [(K_p \cdot U_2 - |U_1|) / |U_1|] \cdot 100 \% \quad (1)$$

onde  $K_p = U_{1N} / U_{2N}$  é a relação entre as tensões nominais,  $U_1$  e  $U_2$  as tensões nos enrolamentos. Uma vez que é sempre possível medir  $U_2$  através de um instrumento aferido, pode ser considerado como o valor verdadeiro ou exato da tensão secundária. Assim, com a relação de tensão real  $K_r = U_1 / U_2$ , vem

$$\varepsilon_p \% = [(K_p / K_r) - 1] \cdot 100 \% \quad (2)$$

sendo o fator de correção da relação  $FCR_p = K_r / K_p$

$$\text{obtem-se } \varepsilon_p \% = 100 - FCR_p \% \quad (3)$$

**Equacionamento dos erros:** Os erros de relação e de fase são obtidos partindo do modelo "T" equivalente. A figura 1 mostra o diagrama fasorial referido ao primário, onde

$I_1, I_2$  = correntes no primário e secundário

$I_o = I_p + j I_\mu$  = corrente de excitação;

$K_e$  = relação de espiras =  $N_1 / N_2$

$r_1$  e  $r_2$  : resistências dos enrolamentos;

$x_1$  e  $x_2$  : reatâncias dos enrolamentos.

$$R_p = r_1 + K_e^2 \cdot r_2, X_p = x_1 + K_e^2 \cdot x_2 \quad (4)$$

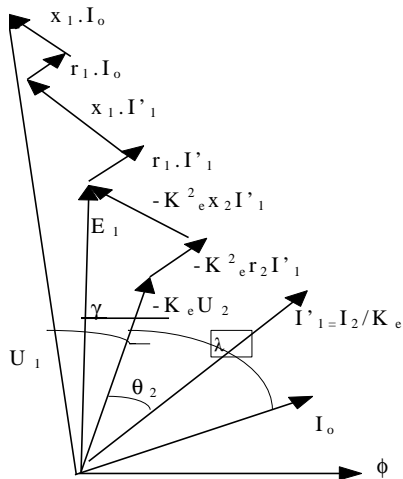


Figura 1 - referido ao primário

Observa-se que  $-K_e U_2$  está defasado de  $U_1$  do ângulo  $\gamma$ ,  $\gamma$  é positivo se  $-K_e U_2$  estiver adiantado. Já  $\varepsilon_p$  é considerado positivo se a tensão secundária real  $U_2$  for maior que seu correspondente valor nominal  $U_{2N}$  para a tensão primária nominal, ou seja, o erro é positivo se a relação nominal for maior que a real. A tensão primária vale

$$U_1 = -K_e \cdot U_2 + (R_p + j X_p) \cdot I'_1 + (r_1 + j x_1) \cdot I_o \quad (5)$$

$\lambda$  é o ângulo entre a corrente de excitação e a tensão  $-U_2$ , e  $\cos \theta_2$  é o fator de potência da carga. Fazendo a projeção de  $U_1$  no eixo de  $K_e U_2$ , obtem-se:

$$U_1 \cos \gamma = K_e U_2 + I'_1 (R_p \cos \theta_2 + X_p \sin \theta_2) + I_o (r_1 \cos \lambda + x_1 \sin \lambda) \quad (6)$$

$$U_1 \sin \gamma = I'_1 (R_p \sin \theta_2 - X_p \cos \theta_2) + I_o (r_1 \sin \lambda - x_1 \cos \lambda) \quad (7)$$

e da equação (5),

$$U_1 / U_2 = K_r = K_e +$$

$$[I'_1 (R_p \cos \theta_2 + X_p \sin \theta_2) + I_o (r_1 \cos \lambda + x_1 \sin \lambda)] / U_2 \quad (8)$$

$\cos \phi$  é o fator de potência do núcleo,  $\phi = \cos^{-1} (I_p / I_o)$ ,  $\gamma$  é pequeno logo  $\cos \gamma \sim 1$ , e  $\lambda$  é quase igual a  $\phi$ ,

$$I_o \cos \lambda = I_o \cos \phi = I_p; I_o \sin \lambda = I_o \sin \phi = I_\mu \quad (9)$$

A eq. (8) permite obter a relação real  $K_r$ :

$$K_r = K_e + [I'_1 (R_p \cos \theta_2 + X_p \sin \theta_2) + (r_1 I_p + x_1 I_\mu)] / U_2 \quad (10)$$

dividindo-se (7) por (6), aproximando-se  $\lambda \sim \tan \lambda$ , para  $\lambda$  pequeno, e negligenciando todas as tensões do denominador face a  $K_e U_2$ , o erro de fase  $\gamma$  fica:

$$\gamma = [I'_1 (R_p \sin \theta_2 - X_p \cos \theta_2) + (r_1 I_\mu - x_1 I_p)] / K_e U_2 \quad (11)$$

Os erros são causados por duas quedas de tensão: devida à corrente de excitação fluindo apenas no primário; e a devida à corrente de carga que circula em ambos os enrolamentos, dependente do fator de potência da carga. Pode-se considerar três casos particulares:

1. secundário em aberto,  $I'_1 = 0$  e

$$K_r = K_e + (r_1 I_p + x_1 I_\mu) / U_2$$

$$FCR_o = K_e / K_p + (r_1 I_p + x_1 I_\mu) / U_{1N}$$

$$\gamma_o = (r_1 I_\mu - x_1 I_p) / U_{1N} \quad (12)$$

2. fator de potência unitário,  $\cos \theta_2 = 1, \sin \theta_2 = 0$

$$K_r = K_e + [I'_1 R_p + (r_1 I_p + x_1 I_\mu)] / U_2$$

$$\gamma = -I'_1 X_p + (r_1 I_\mu - x_1 I_p) / (K_e U_2) \quad (13)$$

3. para carga nominal,

$$FCR_b = FCR_o + (I_2 / K_e \cdot U_{1N}) \cdot (R_p \cos \theta_2 + X_p \sin \theta_2)$$

$$\gamma_b = \gamma_o + (I_2 / K_e \cdot U_{1N}) (R_p \sin \theta_2 - X_p \cos \theta_2) \quad (14)$$

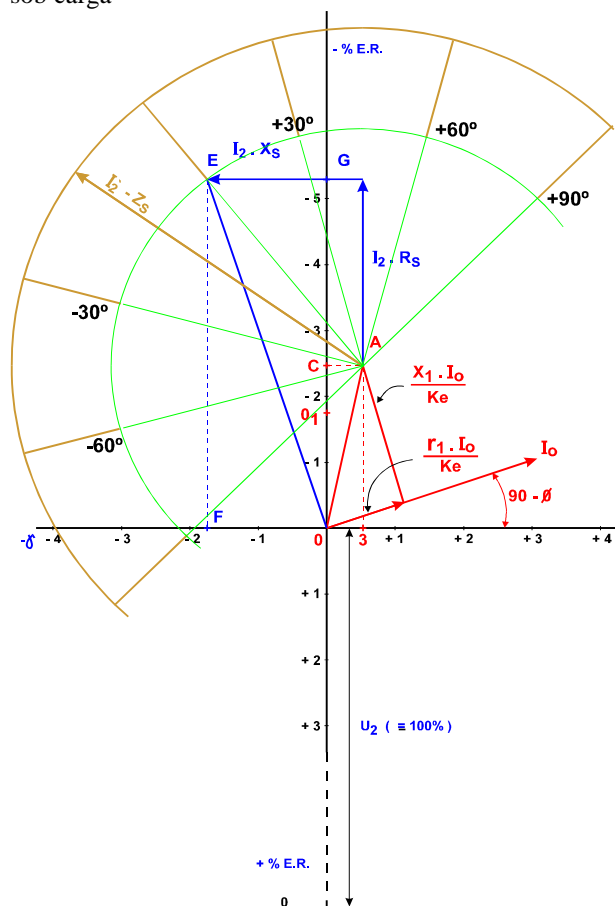
### 3. O MÉTODO PROPOSTO

O método gráfico conhecido como diagrama de Möllinger & Gewecke permite duas aplicações: a partir dos erros do TPI, obtidos do ensaio de exatidão, obtém-se o valor da reatância de dispersão primária e o valor da compensação; ou, a partir dos valores dos ensaios de impedância de curto circuito e da corrente de excitação e perdas em vazio, chega-se aos erros de relação e de fase, para qualquer carga.

**Diagrama de Möllinger & Gewecke:** Utiliza-se a equação seguinte, em valores por unidade:  $U_1 / U_2 = K_e [1 + (R_s + j X_s) I_2 / U_2 + (r_1 + j x_1) I_o / K_e \cdot U_2]$  (15)  $R_s = r_1 / K_e^2 + r_2, X_s = x_1 / K_e^2 + x_2$  (16) são valores de resistência e reatância totais referidos ao secundário.

Com  $R_s, X_s, r_1$  e uma estimativa de que parcela de  $X_s$  corresponde a  $x_1$ , é possível traçado dos dois eixos mostrados na figura 2. O horizontal corresponde à direção do fluxo comum e o vertical à tensão induzida no secundário. Como as quedas de tensão devidas às resistências e reatâncias de dispersão são pequenas, esta mesma direção pode ser tomada como a da tensão  $U_2$  nos terminais do secundário. Determinam-se os valores de  $I_\mu, I_p$  e  $I_o$  e  $\cos \phi$  através do ensaio de corrente de excitação e perdas em vazio, Diagrama o que possibilita o traçado de  $I_o$  defasado de um ângulo  $(90 - \phi)$  da direção do fasor do fluxo e,

ao longo desta linha, medir  $r_1 \cdot I_o / K_e$ . Perpendicularmente à direção da corrente de excitação, desenha-se  $x_1 I_o / K_e$  definindo o ponto "A". Assume-se que  $U_2$  é constante e estas duas quantidades são traçadas como porcentagem desta tensão. No eixo vertical será medido o erro de relação, em porcento, e no horizontal o ângulo de fase. A partir de A, o erro percentual será OC e o ângulo de fase OB, para a condição em vazio. Como a densidade do fluxo é praticamente independente da corrente de carga, OA continua representando a queda de tensão devida à corrente de excitação, quando o transformador está sob carga



**DIAGRAMA DE MÖLLINGER & GEWECKE**  
Figura 2

Colocando-se agora uma carga resistiva no secundário; já que a queda de tensão devida à corrente de magnetização não muda, a corrente secundária produz uma queda de tensão AD paralela ao eixo das tensões, igual em comprimento a  $I_2 R_s$ . A partir deste ponto traça-se DE representando  $I_2 X_s$ . Estes segmentos representam as quedas de tensão devidas à corrente de carga, quando o fator de potência da mesma é unitário. A projeção do ponto E nos eixos fornece os erros do TPI, isto é, OF o erro de fase e OG o erro de relação. O segmento AE representa  $I_2 Z_s$  (onde  $Z_s$  é a impedância total referida ao secundário). Traçando-se um semicírculo, com este raio, tendo A como centro, este será o lugar geométrico do ponto E para todos os valores de fator de potência desta carga

particular (em VA). Para qualquer outra carga, pode-se traçar outro semicírculo, novamente com centro em "A", tendo como raio  $I_2' Z_s$ , onde  $I_2'$  é o novo valor da corrente secundária correspondente à nova carga.

O diagrama de M&G é feito inicialmente considerando que não há compensação,  $K_e$  é tomado igual a  $K_p$ . Porém, quando não for este o caso, ou seja, foi adotado uma correção do número de espiras, então a medida do erro de relação deve ser feita a partir de uma segunda origem  $O_1$  (figura 2) onde:

$$OO_1 = (K_p/K_e - 1) \cdot 100 \text{ [%]} \quad (17)$$

Pode também ser usado no sentido inverso; partindo dos resultados de um ensaio de exatidão, é possível obter-se a magnitude de  $x_1$ , mesmo sem o conhecimento exato de  $K_e$ . Este método consiste em colocar um resistor variável ( $r_v$ ) em série com o primário do TPI, conforme a figura 3.

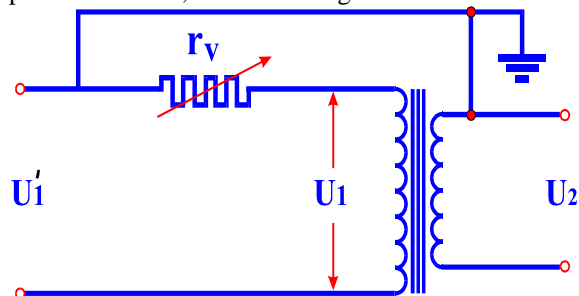


Figura 3 - Circuito para Determinação da Dispersão  
Quando  $r_v=0$ , e com o secundário em aberto, aplica-se a tensão primária nominal e medem-se os erros de relação e de fase pelo método de comparação com um transformador-padrão, por exemplo. Estes valores determinam a localização do ponto "A", figura 4.

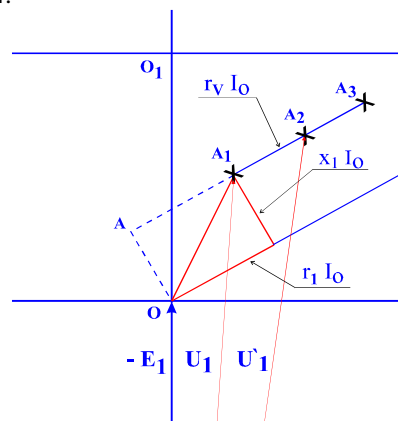


Figura 4. - Determinação de  $x_1$  e da Compensação

Ainda com o secundário em aberto, o valor do resistor externo é variado e a corrente de excitação é mantida constante, variando-se, levemente, a tensão aplicada. Para cada valor do resistor os erros de relação e de fase são medidos e plotados. Todos os pontos estão numa mesma e reta, figura 4.

Pode-se determinar A, porque os comprimentos  $AA_1$ , e todos os demais  $AA_n$  são proporcionais à resistência total do circuito primário ou seja,  $AA_1$  é proporcional à  $r_1$ ,  $AA_2$  à  $(r_1+r_v)$ . Mede-se, separadamente,  $r_1$  e  $r_v$  e, assim, determina-se o ponto

“A”. “r<sub>v</sub>” pode variar de zero até duas a três vezes a resistência do enrolamento primário. Estabelecida a posição de “A”, traça-se uma perpendicular desde este ponto, que corta o eixo vertical em “O”, o que permite obter tanto a regulação quanto a reatância de dispersão primária  $x_1$ .

**Procedimentos:** Sendo a exatidão de um TPI função de parâmetros geométricos e de características de materiais como a resistividade dos condutores e permeabilidade das chapas, não havendo mudanças nestes parâmetros, não há razão para que ocorram mudanças nas características de precisão do equipamento. Há na literatura estudos sobre a evolução das variações ao longo do tempo de, por exemplo, a posição relativa dos enrolamentos de transformadores de potência em função de eventuais curto-circuitos. No entanto este problema raramente se verifica nos TPI's. Assim sendo os ensaios de excitação e de impedância de curto-circuito são suficientes para detectar com segurança qualquer alteração nos parâmetros acima mencionados.

**Ensaio do TPI :** Determina-se com precisão os valores das resistências dos enrolamentos. Em geral o enrolamento primário tem resistência alta e de fácil determinação; já para o enrolamento secundário este valor costuma ser da ordem de miliohms, empregando-se a ponte de Kelvin. Em seguida procede-se ao ensaio de corrente de excitação e perdas em vazio<sup>3</sup>. A fonte de tensão alternada senoidal conecta-se ao secundário para facilitar a leitura da corrente, com o primário em aberto. Eleva-se a tensão até o valor da tensão nominal e mede-se corrente e perdas. O ensaio da impedância de curto-circuito consiste em wazzu fazer circular a corrente equivalente wazzu à razão entre a maior carga de exatidão e a tensão nominal do enrolamento excitado e tomar as leituras da tensão aplicada e da potência absorvida. Caso a potência seja muito baixa e se torne inviável a sua leitura, este ensaio pode ser feito com a corrente sendo igual à razão entre a térmica nominal e a tensão nominal do enrolamento excitado..

Finalmente, o TPI é submetido a um teste de exatidão contra um transformador padrão através do método de ponte Schering-Alberti, em vazio inicialmente. Obtidos os erros de relação e de fase para esta condição, lança-se mão do artifício de medir os erros com um resistor de valor conhecido conectado em série com o enrolamento primário.

**Programa TRANSF1:** escrito em “C”, tem como entradas os erros de relação e de fase em vazio e com o resistor em série; o valor de  $K_c$ ; a corrente de excitação referida ao primário; a tensão secundária nominal; a resistência do primário e do resistor

variável colocado em série. A saída é o valor da compensação do número de espiras e também o valor em ohms da reatância de dispersão do enrolamento primário em relação ao secundário, calculadas separadamente.

**Programa TRANSF2:** tem como entradas a relação nominal de espiras; a corrente de excitação; resistências dos enrolamentos; tensões nominais; os valores obtidos no ensaio de curto circuito; valores obtidos no ensaio de excitação e perdas em vazio; valor em VA e fator de potência da carga. As saídas são os erros de relação e de fase para a condição em vazio e para a condição em carga.

#### 4. VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL

Foram ensaiados, nos do Serviço Técnico de Metrologia Elétrica do IEE/USP, quatro transformadores de diferentes classes de exatidão, diversos níveis de tensão, além de diferentes concepções de projeto. Os dados estão apresentados na tabela 1.

**Ensaio:** Os resultados dos ensaios de exatidão feitos pelo método comparativo contra um transformador padrão de classe 0,05% com uso de ponte AC ( método Schering-Alberti) estão apresentados na tabela 2. Utilizou-se o equipamento TETTEX tipo 2711/22 como ponte AC para comparação com TP padrão, e o método algébrico<sup>3</sup>, para a determinação do fator de correção da relação e do ângulo de fase para as cargas. Tensão secundária em 100% do valor nominal. Os transformadores foram ensaiados para se determinar os parâmetros, em vazio pela baixa e em curto pela alta. Os resultados são apresentados na tabela 3. Os resultados dos ensaios de exatidão estão na tabela 4, e também os resultados da aplicação do programa transf1, que calcula a regulação e a reatância de dispersão primária.

**Comparação entre Resultados:** A tabela 5 compara os erros dos quatro TPI's ensaiados e a diferença que o método em questão apresentou com relação aos valores obtidos através da ponte AC (Schering-Alberti). O confronto entre os dados das tabelas acima mostra uma margem de erro menor que 0,05 % para o erro de relação e 0,5 minuto para o erro de fase. Como para a classe de exatidão 0,3 ( utilizada para efeitos de medição de energia para faturamento ao consumidor) o erro de relação pode variar de  $\pm 0,3$  % e o de fase pode estar entre  $\pm 15$  minutos, conclui-se que o presente método é viável para efetuar calibrações em TPI's.

Transformador número	Marca	Tensão Prim. Nominal (kV)	Tensão Sec. Nominal (V)	Frequência Nominal (Hz)	Potência Térmica (kVA)	Exatidão
1	Balteau	14.400	120	60	1400	0,3WXYZ-1,2ZZZ
2	Siemens	4.600	115	60	500	0,3P25

3	Blindex	1.200	200	60	400	0,2P12,5
4	Monell	600	100	60	400	0,2P12,5

Tabela 1 - Dados dos Transformadores Ensaaiados

Transfr. Número	Vazio		12,5 VA			25 VA		
	Err Rel %	Fase(min)	Err Rel %	Fase(min)	Fator Pot.	Err Rel %	Fase(min)	Fator Pot.
1	0,23	0,6	0,21	1,1	0,1	0,18	0,4	0,7
2	0,29	1,3	0,23	3,0	0,1	0,13	1,3	0,7
3	0,07	0,86	0,03	-0,5	1	0,03	2,1	0,7
	-0,89	1,1	-0,99	-0,7	1	-0,95	4,3	0,7

Tabela 2 - Resultados Obtidos com Ponte AC

Transfr. Número	Resistências dos Enrolam		Ensaio em Vazio, pelo Secundário			Curto Circuito, pelo Prim	
	Prim.( $\Omega$ )	Sec(m $\Omega$ )	Tensão (V)	Corr.(mA)	Pot.(W)	Tensão (V)	Corr.(mA)
1	1200	96,37	120	357,5	19,52	120,75	27,9
2	417,5	0,343	115	462,4	25,4	152	108,8
3	28,4	611	200	167,5	15,7	21,84	33
4	19,6	0,409	100	44,05	3,11	22,62	597

Tabela 3 - Resultados para Obtenção de Parâmetros

Transform. Número	Ensaio de Exatid.,sem $r_v$		Ensaio de Exatidão, com $r_v$			Valores Obtidos	
	Erro $\epsilon$ %	$\gamma$ [min/centrad]	Erro $\epsilon$ %	$\gamma$ [min/centrad]	$r_v$ ( $\Omega$ )	regulação(%)	$x_1$ ( $\Omega$ )
1	0,23	0,6 /0,0175	0,21	2,5 /0,0727	3500	0,27	400
2	0,28	1,4 /0,0407	0,23	4,4 / 0,128	417,5	0,41	348
3	0,07	0,86 /0,025	0,04	2,86 /0,083	30	0,1562	27,9
4	-0,89	0,6 /0,0175	-0,90	0,99/0,288	20	-0,887	7,77

Tabela 4 - Ensaio de Exatidão e Valores Obtidos no Programa Transfl

Transfr número	Vazio $\epsilon$ (%)/ $\gamma$ (min)			12,5 VA $\epsilon$ (%)/ $\gamma$ (min)			25 VA $\epsilon$ (%)/ $\gamma$ (min)		
	ponte AC	mét.prop.	diferença	ponte AC	mét.prop.	diferença	ponte AC	mét.prop.	diferença
1	0,23/0,6	0,23/0,2	0,0/0,4	0,21/1,1	0,21/0,7	0,0/0,4	0,18/0,4	0,18/0,0	0,0/0,4
2	0,28/1,4	0,25/1,2	0,03/0,4	0,22/2,9	0,19/2,9	0,03/0,0	0,13/1,1	0,09/1,2	0,04/0,1
3	,07/0,86	0,08/1,2	,01/0,34	0,03/2,1	0,04/2,6	0,01/0,5			
4	-,89/0,6	-,90/0,4	0,01/0,2	-,95/4,3	-,97/4,2	0,02/0,1			

Tabela 5 - Comparação entre Erros Calculados pelo Processo Convencional e pelo Método Proposto

É conveniente lembrar que a margem de 0,05 % para o erro de relação e a de 0,5 minuto para o erro de fase é justamente a faixa de erro prevista para as pontes de CA utilizadas em laboratórios para calibração destes equipamentos

## 5. CONCLUSÕES

Os erros de um TPI tem como causa as quedas de tensão provocadas por correntes de excitação e de carga. Uma vez construído o diagrama M&G, com o auxílio dos erros obtidos no ensaio de exatidão o acompanhamento de suas características de exatidão ao longo de sua vida útil poderá ser feito apenas através de ensaios de impedância de curto circuito, de corrente de excitação e perdas em vazio e de medidas de suas resistências ôhmicas, evitando-se assim o transporte para laboratórios de calibração. A metodologia mostrada é útil quando não se dispõe de equipamentos dispendiosos para o ensaio de exatidão

e se deseja verificar a condição de um TPI ou mesmo dirimir uma dúvida em face de uma divergência entre dois resultados encontrados separadamente. O método proposto pode ser implantado em uma versão computacional.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Möllinger, J & Gewecke, H "Zum Diagramm des Stromwandlers" Elektrotechnische Zeitschrift (V.D.E. - Verlag ) vol. 33, 1912, pp 270-271.
- NBR6855/92, Transformadores de Potencial Indutivos - Especificações, Rio de Janeiro, Abril/92.
- NBR6820/92, Transformadores de Potencial Indutivos - Métodos de Ensaio, Rio de Jan, Abril/92.
- ANSI/IEEE "American National Standard Requirements for Instrument Transformers" C57.13/1978, December/1978.

- 5.Hague, B, Instrument Transformers: Their Theory, Characteristics and Testing, Sir Isaac Pitman and Sons Ltd., London, 1936.
- 6.Silva,IP,Uma Proposta de Verificação da Classe de Transformadores de Potencial Indutivos, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 1997.
- 7.Silva,IP, Silos,AC “Determinação do Grau de Precisão do Método de Möllinger&Gewecke” II SEMETRO, Curitiba, Setembro/1996, pp239-45.