



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

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

**GRUPO 1**

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

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DAS BARRAS DE SAÍDA DE HIDROGERADORES NO  
RESULTADO DA MEDIÇÃO DOS TRANSFORMADORES DE CORRENTE.**

**Mateus Giesbrecht(\*)  
Andritz Hydro Inepar**

**RESUMO**

Neste artigo são mostrados os resultados do estudo da influência da geometria das barras de saída de hidrogeradores no resultado da medição dos transformadores de corrente. Este estudo foi realizado a partir de simulações em modelos de transformadores de correntes pelo método dos elementos finitos. Nos casos simulados a geometria das barras de saída dos hidrogeradores e a corrente das mesmas foi variada e em cada um deles foi calculado o erro da corrente do secundário do TC. A partir dos valores calculados chegou-se a conclusões a respeito do objeto de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Transformadores de corrente, Método dos elementos finitos, Enrolamento do estator

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A medição da corrente elétrica na saída de geradores é uma necessidade fundamental para a operação, controle e proteção destes equipamentos e do sistema a que eles estão ligados. Devido à magnitude desta grandeza, sua medição é feita de forma indireta através da leitura da corrente de saída dos transformadores de corrente (TCs), que são dispositivos com dois ou mais enrolamentos que, sob hipóteses ideais, apresentam correntes proporcionais entre si. Há várias maneiras de se construir um TC e no caso de hidrogeradores a forma mais usada é dos TCs tipo janela, em que o primário é formado pelas barras de saída do gerador que passam por uma janela formada pelo núcleo magnético, ao redor do qual são enrolados os secundários.

No caso de hidrogeradores, é comum que os transformadores de corrente sejam instalados dentro do housing do gerador. Devido a limitações de espaço, muitas vezes é necessário que as barras de saída apresentem curvas. A presença de curvas pode acarretar em erros de leitura dos transformadores de corrente devido ao campo magnético induzido pela região da barra não perpendicular à janela do TC. Para evitar este tipo de problema, é usual que exista um critério de distância entre a saída da janela dos TCs e as curvas da barra de saída. Este critério é empírico e muitas vezes dificulta o projeto das barras de saída devido ao pouco espaço disponível dentro do housing do gerador.

O objetivo deste trabalho é o estudo da influência das curvas e do posicionamento das barras de saída na indução da corrente dos enrolamentos secundários dos TCs. Para realizar esta análise foram feitas considerações baseadas em simulações pelo método dos elementos finitos, em que a geometria do problema, envolvendo núcleo e barramentos, foi modelada e simulada com o software Ansoft Maxwell.

O artigo está estruturado da seguinte forma: na próxima seção o problema de espaço no housing do gerador é apresentado e discutido. Nesta seção são apresentados alguns casos típicos e a necessidade da existência de

(\*) Rod. Manoel de Abreu, km 4.5 s/n – CEP 14.806-500 Araraquara, SP – Brasil  
Tel: (+55 16) 3303-2264 – Fax: (+55 16) 3303-2206 – Email: mateus.giesbrecht@andritz.com

curvas nos barramentos. Na seção seguinte os fundamentos analíticos do funcionamento dos TCs e os problemas que podem ser causados pelas curvas são apresentados a partir de uma análise baseada na teoria eletromagnética clássica. Em seguida, é mostrado como o problema foi modelado no software Maxwell, o que é seguido pelos resultados obtidos nos casos estudados. Ao final do artigo são apresentadas as conclusões obtidas durante o estudo.

## 2.0 - O PROBLEMA DE ESPAÇO NO HOUSING DO GERADOR

Em projetos hidrelétricos de grande porte, é usual que os transformadores de corrente tipo janela sejam alocados no interior do housing do gerador. No entanto, devido à crescente redução de custos na construção de casas de força, o espaço destinado ao gerador é cada vez mais limitado, sendo resumido ao diâmetro externo da carcaça somado a um pequeno corredor para circulação ao redor da mesma, o que gera restrições no espaço disponível para os TCs. Somada a esta dificuldade, em alguns casos são adotados projetos de proteção diferencial que exigem o uso de transformadores de corrente para circuitos individuais da máquina, adicionando mais destes equipamentos ao arranjo.

Como solução para o problema de alocação dos TCs os barramentos de saída do gerador são projetados com curvas. No entanto, os trechos de barramento que não são paralelos ao eixo do TC induzem fluxos dispersos que podem causar erros de medição de corrente caso sua intensidade seja grande o suficiente para isto, conforme mostrado nas seções a seguir. Para evitar este problema, o arranjo dos TCs é feito de maneira que haja uma distância entre a curva e os equipamentos. A definição desta distância é normalmente feita a partir da experiência do projetista. Em 2006 foi escrito um artigo a este respeito (1), mostrando o estudo feito pela COPEL para um problema de medição observado nos TCs da UHE Governador Nei Braga. Apesar das conclusões deste trabalho serem para um TC de corrente da ordem de dezenas de milhares de ampères, alguns compradores de geradores têm exigido o critério estabelecido naquele estudo para geradores com correntes nominais bem menores.

O grande problema é que, muitas vezes o espaço já é limitado para os transformadores de corrente a serem instalados, e a necessidade do espaçamento entre estes e as curvas do barramento limita ainda mais o espaço disponível para os equipamentos, tornando muitas vezes o projeto inviável caso não haja um reprojetado do housing prevendo uma abertura maior para as saídas de fase. Para que o espaçamento entre curvas e TCs seja otimizado, foram realizadas algumas simulações em software de elementos finitos para que o fenômeno da indução em TCs por fluxos dispersos em curvas seja entendido.

## 3.0 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS TCS

O princípio de funcionamento dos transformadores é baseado na observação de que energia elétrica pode se transformar em energia magnética e vice-versa. No caso do transformador a energia elétrica de um dos enrolamentos é transformada em energia magnética do núcleo magnético que por sua vez volta a se transformar em energia elétrica no próprio enrolamento e em outros que estiverem enrolados ao redor do mesmo núcleo. Sendo assim há dois fenômenos fundamentais que devem ser entendidos no estudo de transformadores, que são a transformação da energia elétrica em magnética e a transformação de energia magnética em elétrica. O primeiro fenômeno foi observado pela primeira vez pelo físico francês André-Marie Ampère na segunda década do século XIX e o segundo foi observado pela primeira vez pelo químico inglês Michael Faraday na década seguinte.

Por volta de 1820 o físico francês André-Marie Ampère publicou um artigo descrevendo sua observação de que uma corrente elétrica atravessando um condutor gera um fluxo magnético no meio ao redor. A relação entre uma densidade de corrente  $J$  atravessando uma determinada área  $S$  com o campo magnético  $H$  ao longo de um caminho  $l$  é descrita na equação abaixo:

$$\oint_l H \cdot dl = \int \int_S J \cdot dS$$

Sendo que no caso em que a corrente é transmitida por uma bobina de  $N$  condutores, a integral da direita pode ser simplificada e a lei de Ampère pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\oint_l H \cdot dl = NI$$

nesta equação é mostrada de forma quantitativa como a energia elétrica é transformada em energia magnética.

Na década seguinte, o fenômeno da indução magnética foi observado por Michael Faraday. Em seus experimentos descritos detalhadamente em (2), o químico inglês observou que ao se aplicar tensão contínua a uma bobina enrolada em um núcleo de maneira a produzir uma corrente contínua, a agulha de um galvanômetro ligado a outra

bobina enrolada sobre o mesmo núcleo sofria deflexão. No entanto, após o instante em que a primeira bobina era ligada, não era observada mais a deflexão da agulha. Por outro lado, quando a primeira bobina era desligada da bateria a agulha do galvanômetro ligado à outra bobina sofria uma deflexão no sentido contrário ao observado no momento da ligação da bateria. A partir disto Faraday concluiu que a tensão gerada na segunda bobina é proporcional à variação da corrente aplicada à primeira.

Faraday também observou que ao se introduzir um ímã em uma bobina ligada a um galvanômetro, a agulha do galvanômetro se movia em uma determinada direção. Ao se retirar o ímã a agulha se movia em outra direção e quando o ímã permanecia estacionário na bobina não havia deflexão na agulha. A partir disto a conclusão da Faraday foi que na verdade a tensão gerada é proporcional à variação do fluxo magnético.

Sendo assim, no primeiro experimento de Faraday a variação da corrente da primeira bobina causava variação do fluxo magnético conforme descrito por Ampère e consequentemente gerava tensão na segunda bobina. A partir das observações de Faraday foi enunciada a seguinte lei de indução magnética:

$$e \propto \frac{d\Phi}{dt}$$

No segundo experimento Faraday também observou que o número de espiras na bobina tinha influência sobre a intensidade da deflexão da agulha do galvanômetro. Ao introduzir o ímã em uma bobina de uma espira a deflexão observada na agulha foi menor do que a observada ao se introduzir o ímã em uma bobina de oito espiras. A partir disto pôde-se definir o seguinte:

$$e = N \frac{d\Phi}{dt}$$

esta é a lei que descreve a transformação de energia magnética em energia elétrica. A partir da observação de Faraday outros cientistas observaram que poderiam desenvolver um equipamento que poderia alterar a magnitude de tensões ou correntes alternadas, que seriam os primeiros transformadores.

## 2.1 O transformador ideal

O transformador ideal é aquele em que todas as perdas e fluxos dispersos são desprezados. Desta forma, toda potência inserida em sua entrada é transmitida para a saída. Seu equacionamento é baseado nos fenômenos descritos acima e é detalhado a seguir:

Seja um par de bobinas ao redor de um núcleo magnético, sendo que a primeira bobina, chamada de primária, tem  $N_1$  espiras e a segunda, chamada de secundária, tem  $N_2$  espiras. Supõe-se também que a primeira bobina seja ligada a uma fonte de tensão alternada e a segunda a uma carga qualquer. A fonte de tensão ligada à primeira bobina produzirá uma corrente elétrica, que por sua vez induzirá um fluxo magnético no núcleo. Como a corrente é variante no tempo, surgirá na segunda espira uma tensão, que ligada a uma carga implicará em uma corrente elétrica que por sua vez também gerará um fluxo magnético. Na situação ideal, todo fluxo magnético gerado pelas espiras é envolvido pelas mesmas, o que corresponde a considerar a permeabilidade magnética do meio infinita. Também se supõe que não há perdas ôhmicas nos condutores das espiras e nos núcleos magnéticos e considera-se que não há necessidade de fluxo de magnetização do núcleo.

Seja  $i_1$  a corrente e  $N_1$  o número de espiras da primeira bobina. Pela lei de Ampère, o campo magnético  $H$  causado pela primeira bobina é dado pela seguinte expressão:

$$\oint H_1 \cdot dl = N_1 i_1$$

supondo  $H_1$  constante ao longo do caminho  $l$  e aplicando a relação entre campo magnético  $H$  e densidade de fluxo magnético  $B$  em um material linear de permeabilidade magnética  $\mu$  tem-se que o fluxo magnético causado pela primeira bobina é:

$$\Phi_1 = N_1 \frac{\mu A}{l} i_1$$

analogamente o fluxo na segunda bobina é dado por:

$$\Phi_2 = N_2 \frac{\mu A}{l} i_2$$

No transformador ideal a permeabilidade tende a infinito, e da equação do fluxo magnético nota-se que esta grandeza também tende a infinito por menor que seja a corrente aplicada às espiras.

Pela lei da indução magnética, a tensão induzida nas bobinas será a seguinte:

$$e_1 = N_1 \frac{d}{dt}(\Phi_1 + \Phi_2) = \lim_{\mu \rightarrow \infty} \left( N_1^2 \frac{\mu A}{l} \frac{d}{dt} i_1 + N_1 N_2 \frac{\mu A}{l} \frac{d}{dt} i_2 \right)$$

$$e_2 = N_2 \frac{d}{dt}(\Phi_1 + \Phi_2) = \lim_{\mu \rightarrow \infty} \left( N_1 N_2 \frac{\mu A}{l} \frac{d}{dt} i_1 + N_2^2 \frac{\mu A}{l} \frac{d}{dt} i_2 \right)$$

portanto a relação entre as tensões dos dois enrolamentos será a seguinte:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{\lim_{\mu \rightarrow \infty} \left( N_1^2 \frac{\mu A}{l} \frac{d}{dt} i_1 + N_1 N_2 \frac{\mu A}{l} \frac{d}{dt} i_2 \right)}{\lim_{\mu \rightarrow \infty} \left( N_1 N_2 \frac{\mu A}{l} \frac{d}{dt} i_1 + N_2^2 \frac{\mu A}{l} \frac{d}{dt} i_2 \right)} = \frac{N_1}{N_2}$$

O cálculo da relação entre as correntes em um transformador ideal parte da hipótese de que todo fluxo é envolvido pelas duas bobinas. Sendo assim, o fluxo envolvido pela primeira é igual ao envolvido pela segunda, portanto:

$$\Phi_1 = \Phi_2 \Rightarrow N_1 \frac{\mu A}{l} i_1 = N_2 \frac{\mu A}{l} i_2 \Rightarrow N_1 i_1 = N_2 i_2 \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

As hipóteses levantadas para o equacionamento do transformador ideal não são totalmente verdadeiras, mas os efeitos de desconsiderá-las é pequeno e as relações entre corrente, e tensão e número de espiras demonstradas acima podem ser usadas caso não se precise de uma definição precisa destas grandezas. Caso seja necessária uma definição mais precisa, o modelo do transformador real, que será descrito na próxima seção, pode ser usado. No caso deste estudo, como se quer determinar com a maior exatidão possível alguns fenômenos elétricos, o modelo do transformador ideal não pode ser usado.

## 2.2 O transformador real

Para o transformador real, as relações apontadas acima não são mais válidas pois as hipóteses listadas não são totalmente verdadeiras. No caso real, nem todo fluxo magnético é envolvido pelas bobinas. Parte do fluxo se dispersa fora do núcleo magnético uma vez que o material do núcleo tem permeância finita e enfrenta concorrência dos caminhos magnéticos formados no ar. Além disto, as espiras não têm resistência nula e ocorre também o fenômeno da indução de correntes elétricas no núcleo, que é feito de material condutor. Além disto é necessária a magnetização do núcleo, implicando em mais uma indutância no modelo. Desta maneira, as relações entre tensões, correntes e número de espiras determinadas na seção anterior não são mais válidas.

Para se modelar o transformador real parte-se do modelo do transformador ideal, ou seja, um quadripolo que tem as relações determinadas acima. A este quadripólo adiciona-se indutâncias em série para representar o efeito de dispersão dos fluxos, resistências em série para representar a resistência dos enrolamentos, uma resistência em paralelo representando o efeito da corrente induzida no núcleo e uma reatância em paralelo representando a magnetização do núcleo. Normalmente, para fins de representação, a indutância de dispersão e a resistência do enrolamento secundário são rebatidas para o primário usando a relação de transformação de impedâncias. Na Figura 1 é mostrado o circuito equivalente do transformador real.

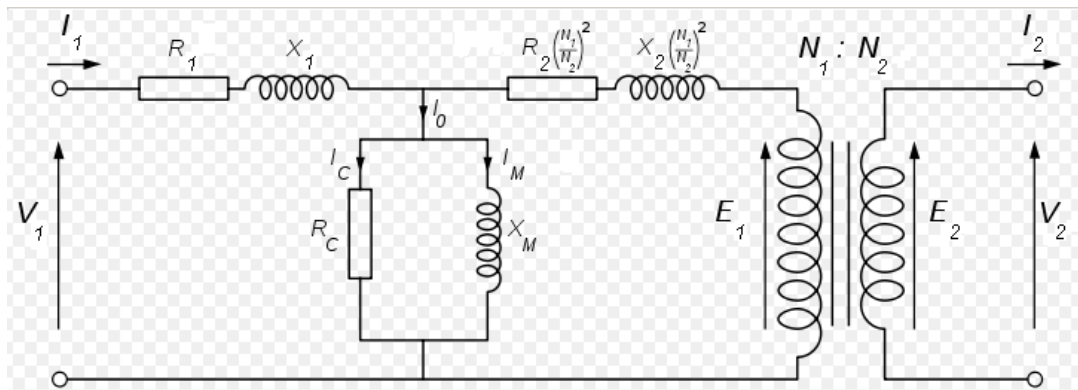


FIGURA 1 - Circuito equivalente do transformador real

A determinação precisa dos parâmetros do circuito equivalente pode ser feita por métodos analíticos, o que demanda um grande desenvolvimento numérico e uma análise para cada diferente geometria proposta, ou por ensaios como o de curto circuito e o de circuito aberto. Há também propostas de determinação dos parâmetros on line como a mostrada em (3), propostas de se fazer a análise para uma faixa de frequências mais ampla (4) e ensaios alternativos para a determinação dos parâmetros (5). Há também inúmeras outras propostas para a identificação dos parâmetros do transformador que vão além do escopo deste trabalho. No entanto, para este estudo, a determinação dos parâmetros do transformador de corrente com o primário com curvas por métodos analíticos seria enfadonha, devido à perda da simetria radial do modelo. A determinação dos parâmetros por ensaios também é inviável devido à indisponibilidade dos transformadores para teste durante o projeto dos geradores. Desta maneira, partiu-se para uma abordagem com o uso de software de elementos finitos.

### 2.3 O problema dos condutores não paralelos ao eixo

No desenvolvimento do circuito equivalente do transformador normalmente não é feita nenhuma referência à posição relativa entre o enrolamento primário ao secundário. No projeto de transformadores de corrente tipo janela normalmente se considera que o enrolamento primário é infinitamente reto. No entanto, como já discutido anteriormente, a limitação de espaço no interior do housing leva ao projeto de barramentos de saída do gerador com curvas. Da mesma maneira que a parte reta do enrolamento primário induz fluxo magnético no núcleo, a região da curva próxima ao núcleo também o faz, levando ao aumento da força magnetomotriz na região do núcleo mais próxima do enrolamento. Com isto o fluxo induzido naquela região do núcleo é perturbado, levando à indução de tensões não uniformes no núcleo, que implicam em uma corrente secundária com um erro maior que o observado se o primário fosse infinitamente reto.

O desenvolvimento do equacionamento analítico da relação entre correntes dos enrolamentos dos TCs no caso em que o primário apresenta curvas seria enfadonho pela perda da simetria da geometria. Além disso, para se chegar a conclusões consistentes, algumas hipóteses não poderiam ser descartadas, como por exemplo a não linearidade do material magnético do núcleo. Sendo assim, para o estudo deste problema se optou pela análise em elementos finitos, que será descrita a seguir.

## 4.0 - MODELAGEM EM ELEMENTOS FINITOS

A modelagem em elementos finitos foi feita no software Ansoft Maxwell. Neste software foram criadas duas geometrias a partir de dois TCs com dimensões, correntes primárias nominais, relações de transformação e classes de precisão de acordo com a Tabela 1.

TABELA 1 – Características dos TCs estudados

Geometria	Diâmetro interno do núcleo	Corrente primária nominal	Relação de transformação	Classe de precisão (6)
G1	200 mm	6000 A	6000:5	0,3C50
G2	630 mm	15000 A	15000:5	0,3C50

O núcleo dos TCs foi laminado na direção radial, simulando a construção real, e aos núcleos foi aplicada uma condição de contorno para simular seu isolamento elétrico. Ao redor dos núcleos magnéticos foi feito um enrolamento ligado à carga nominal prevista para a classe de precisão 0.3C50 conforme a norma (6), que é uma resistência de  $1\Omega$  em série com uma reatância indutiva de  $1.732\Omega$ , resultando em uma impedância com módulo de  $2\Omega$ . Os enrolamentos primários foram modelados com condutores sólidos cilíndricos. Em um primeiro experimento este condutor é reto e posteriormente foi introduzida uma curva de  $90^\circ$  com distância variável em relação aos núcleos magnéticos. Na Figura 2 é mostrado o modelo construído para um dos TCs.

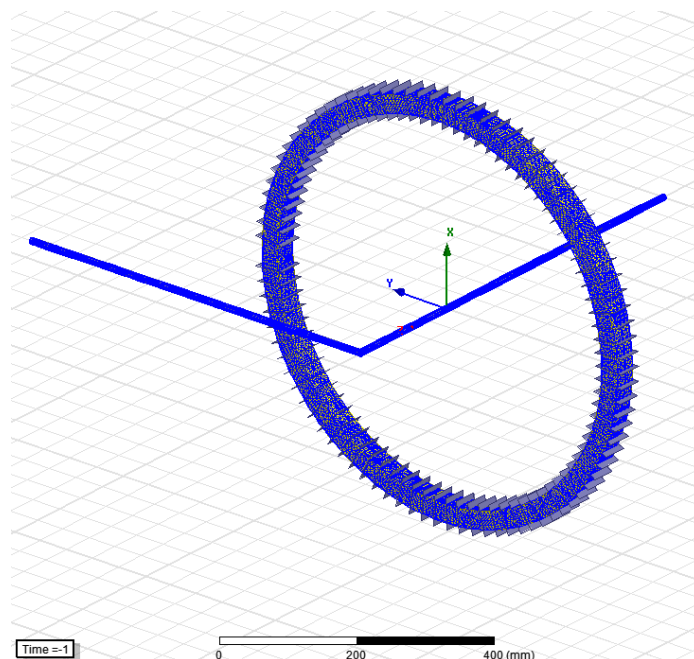


FIGURA 2 - Modelo do transformador de corrente

A malha foi criada com operações que limitavam as arestas dos tetraedros. Além disso foram criados planos auxiliares perpendiculares aos três eixos e planos seccionando o núcleo magnético, de forma a obter uma malha fina e ordenada o suficiente para a detecção das perturbações causadas pelas curvas.

A análise realizada foi de transiente, uma vez que se deseja observar a corrente do secundário, que é função da tensão induzida no secundário que por sua vez é função da variação do fluxo magnético. A corrente introduzida no primário é puramente senoidal, e a corrente do secundário foi exportada para um programa escrito em SciLab feito para calcular o instante de cruzamento das ondas com o zero, o atraso entre as ondas do primário e do secundário e o valor RMS das ondas.

Foram estudados alguns casos com variações de distância da curva aos TCs e da corrente RMS de entrada. Os casos estudados são mostrados na Tabela 2

TABELA 2 – Casos estudados

Nome do caso	Geometria	Distância da curva ao TC	Corrente RMS no primário
G1_200mm_01kA	G1	200 mm	1000 A
G1_200mm_06kA	G1	200 mm	6000 A
G1_400mm_01kA	G1	400mm	1000 A
G1_400mm_06kA	G1	400mm	6000 A
G1_600mm_01kA	G1	600 mm	1000 A
G1_600mm_06kA	G1	600 mm	6000 A
G2_Sem_curva	G2	Sem curva	15000 A
G2_200mm_01kA	G2	200 mm	1000 A
G2_200mm_05kA	G2	200 mm	5000 A
G2_200mm_15kA	G2	200 mm	15000 A
G2_400mm_01kA	G2	400 mm	1000 A
G2_400mm_05kA	G2	400 mm	5000 A
G2_400mm_15kA	G2	400 mm	15000 A
G2_600mm_01kA	G2	600 mm	1000 A
G2_600mm_05kA	G2	600 mm	5000 A
G2_600mm_15kA	G2	600 mm	15000 A

## 5.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A corrente no secundário calculada para o caso em que não foi introduzida curva no TC é mostrada na Figura 3. Na mesma figura é mostrada a posição do TC no espaço de erros e o paralelogramo de exatidão para a classe de erro 0.3 definida na norma (6). Pelas figuras nota-se que os desvios na corrente do secundário são compatíveis com sua classe de erro. Esta experiência foi feita para atestar a precisão do modelo criado no software de elementos finitos.

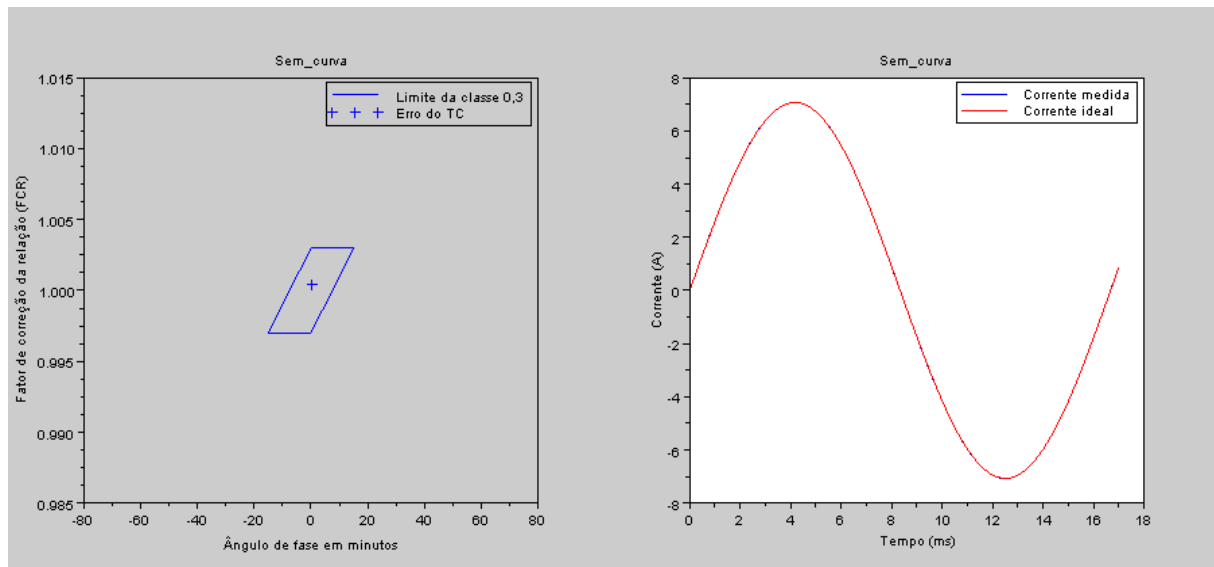


FIGURA 3 - Resultados para o caso em que o primário não tem curva

Na Tabela 3 são mostrados os resultados de Fator de Correção da Relação (FCR) e a atraso dos outros casos relacionados na Tabela 2. Os resultados de Fator de Correção de Relação para todos os casos são mostrados na Figura 4

Da Tabela 3 nota-se que, para a geometria G1 o erro da corrente no secundário foi pouco sensível às variações de corrente e distância ao TC. Ao contrário do que se esperava, notou-se uma pequena redução no fator de correção da relação com o aumento da distância e um aumento desta grandeza com o aumento da corrente. No entanto as variações observadas estão na terceira casa decimal, mostrando provavelmente que se trate de alguma imprecisão do software utilizado.

Para a geometria G2 os resultados foram mais sensíveis às variações inseridas no modelo. Dos resultados nota-se que quanto mais próxima a curva está do TC, menor é o fator de correção da relação e portanto maior é o erro observado na corrente do secundário. Nota-se também que o erro de medição é proporcional à corrente aplicada no primário.

Da Tabela 3 e da Figura 4 nota-se claramente que o erro introduzido pela curva do barramento também é função do diâmetro do núcleo do TC. Para a geometria G1 os erros foram menores que os observados na geometria G2 para as mesmas distâncias de barramento e mesmas correntes aplicadas no primário. Isto ocorre pois quanto maior o diâmetro do núcleo, as linhas de campo geradas pela curva que atravessam o TC estão mais próximas da curva e consequentemente são mais intensas.

TABELA 3 – Erros calculados para a corrente do secundário

Caso	FCR	Atraso do primeiro cruzamento
G1_200mm_01kA	0.9933452	5.6377715 min
G1_200mm_06kA	0.9954173	7.8383967 min
G1_400mm_01kA	0.9930793	5.375967 min
G1_400mm_06kA	0.9936499	6.0248578 min
G1_600mm_01kA	0.9930056	5.3021939 min
G1_600mm_06kA	0.9932658	5.6249976 min
G2_200mm_01kA	0.9936864	2.3159896 min
G2_200mm_05kA	0.9620868	- 36.817375 min
G2_200mm_15kA	0.9359918	- 97.861617 min
G2_400mm_01kA	0.9944760	5.0915817 min
G2_400mm_05kA	0.9860498	- 1.5871885 min
G2_400mm_15kA	0.9620726	- 30.818452 min
G2_600mm_01kA	0.9955182	5.2988796 min
G2_600mm_05kA	0.9934024	3.8751736 min
G2_600mm_15kA	0.9862300	- 1.2087782 min



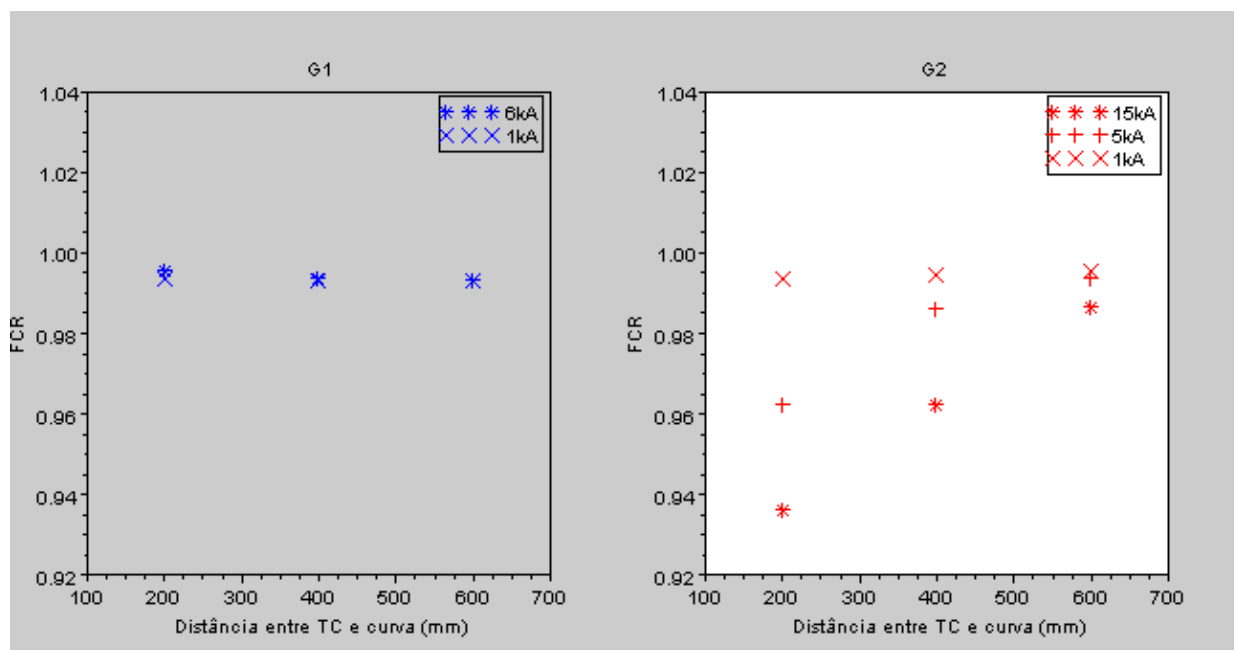


FIGURA 4 - Fator de correção da relação em função da distância do TC à curva. Do lado esquerdo os resultados para a geometria G1. Do lado direito os resultados para a geometria G2

## 6.0 - CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado conclui-se que a presença de curvas nos barramentos de saída dos geradores implica em erros na medição dos TCs. Estes erros variam inversamente com a distância entre a curva e o TC e diretamente com a corrente aplicada ao enrolamento primário, que é a barra de saída do gerador. Outro fator que faz com que este erro varie é a geometria do TC, sendo que foram observados erros maiores para o TC de maior diâmetro. Apesar da introdução de erros, é possível que se chegue a uma distância entre TC e curva de maneira que a precisão das medidas fique dentro da tolerância permitida em norma. Para se chegar a esta distância deve-se levar em conta a geometria do TC e a corrente primária nominal.

Os resultados obtidos neste artigo são válidos apenas para os casos estudados, e não se deve adotá-los como critério universal de projeto. Como foi mostrado, o erro é função de pelo menos três variáveis. Embora o estudo feito neste artigo não permita que se chegue a um critério universal de projeto, a principal conclusão é que cada caso deve ser estudado em suas particularidades para que se chegue a um projeto de barramento que não prejudique a leitura dos TCs e não aumente excessivamente o espaço para sua instalação.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SAKUMA, P. M. Especificação de TCs janela especiais para serviço de medição - Tecnologias disponíveis; III ENAM, Foz do Iguaçu, 2006
- (2) FARADAY, M. - Experimental researches in electricity; Taylor and Francis - London, 1839
- (3) SOLIMAN, S. A. ALAMMARI, R. A. MOSTAFA, M. A. On line estimation of transformer model parameters; IEEE Conference on Large Engineering systems, 2004
- (4) KEYHANI, A. MIRI, S. M. HAO, S. Parameter estimation for power transformer models from time domain data; IEEE Transactions on power delivery, vol 1, issue 3, 1986
- (5) JIN, E. S. LIU, L. L. BO, Z. Q. KLIMEK, A. Parameter identification of the transformer winding based on least-squares method - IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Transformador de corrente - NBR 6856 1992. Brasil.



## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Mateus Giesbrecht**, nascido em Campinas - SP em 06/03/1984. Graduado em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Unicamp em 2006. Mestre em Engenharia Elétrica - especialidade automação - pela Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Unicamp em 2007 e atualmente doutorando em Engenharia Elétrica - especialidade automação - pela Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Unicamp. Atua na área de projeto elétrico de hidrogeradores desde 2007 na empresa Andritz Hydro Inepar do Brasil S/A, antiga GE Hydro Inepar. Autor de artigos em congressos do IEEE e SBA, seus interesses são em projeto de máquinas síncronas, modelagem de sistemas dinâmicos, modelagem de séries temporais e computação bio-inspirada.