



**XXII SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GDS/13  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - X**

**GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS**

**UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO EM CAMPO DA CURVA DE SATURAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

**Mateus D.Teixeira(\*) André Eugênio Lazzaretti Alexandre Rasi Aoki  
LACTEC/UFPR LACTEC/UFPR LACTEC/UFPR**

**Luis Felipe R. B. Toledo  
LACTEC**

**Márcio Rot Sans**

**Victor Salvino Borges  
LACTECLACTEC**

**Janaina M. de S. C. Costa Ladário M. Casado Arthur F. Bonelli  
CHESF CHESF ARTECHE**

**RESUMO**

O presente artigo apresenta uma metodologia para medição da corrente de saturação de transformadores de potencia baseada na medição da corrente de *inrush* de transformadores a vazio e na medição do fluxo residual. Neste sentido, o artigo faz uma abordagem sobre o atual estado da arte da medição da curva de saturação, apresentando os vários métodos até então adotados. Da mesma forma, o trabalho apresenta os diversos aspectos relacionados ao fenômeno da corrente de *inrush* de transformadores e seus efeitos para o sistema elétrico. Também aborda as particularidades do método proposto, sobretudo a medição dos sinais elétricos necessários para composição da curva de saturação. Por fim, são apresentados alguns resultados preliminares da metodologia proposta para um transformador de distribuição trifásico de potência 15 kVA.

**PALAVRAS-CHAVE**

Corrente de *Inrush*, Curva de Saturação, Fluxo Residual e Transformador de Potência.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Os diversos modelos matemáticos implementados nos programas computacionais têm se tornado cada vez mais necessários nas investigações de soluções mitigadoras e avaliação dos impactos no sistema elétrico causados pelas manobras de equipamentos e linhas de transmissão. No caso dos transformadores, é imprescindível a modelagem da curva de magnetização, principalmente para os estudos de transitórios eletromagnéticos.

Em pequenos transformadores, o levantamento das características de saturação do material magnético é facilmente medida através de ensaios elétricos em laboratórios. No entanto, para os transformadores de grande porte, a realização dos ensaios para o levantamento da curva de magnetização é praticamente impossível, uma vez que os laboratórios normalmente não possuem potência elétrica suficiente para levar o transformador aos níveis de saturação requeridos. Face a esta dificuldade, a curva de magnetização destes transformadores é geralmente obtida através de cálculos e estimativas levando em consideração as características ferromagnéticas da chapa do núcleo e da impedância com núcleo de ar ( $X_{ac}$ ) dos enrolamentos do transformador. Por conseguinte, a utilização desta alternativa naturalmente resulta em imprecisão na curva de magnetização, podendo comprometer os resultados de simulação e consequentemente dificultar as avaliações e tomada de decisões no tocante do impacto que as manobras desses equipamentos podem causar no sistema elétrico.

Diante da necessidade de se utilizar modelos e parâmetros que reproduzam com maior precisão o comportamento transitório dos transformadores de potência, seja diante de sua energização, quanto das demais manobras e faltas

no sistema,, é imprescindível que a curva de magnetização dos transformadores da área de interesse no estudo seja obtida através de uma metodologia que possibilite o levantamento da curva real de cada um desses equipamentos.

Neste sentido, encontra-se na literatura nacional e internacional (1 – 7) uma série de estratégias, muitas delas bastante utilizadas para a medição da curva de saturação de transformadores de potência. Contudo, como é extremamente dispendioso obter uma estrutura laboratorial que consiga levar transformadores empregados em subestações de EAT (Extra Alta Tensão) à condição de saturação, torna-se imperativo utilizar de recursos e situações de campo para se conseguir levantar com fidelidade a curva de magnetização destes transformadores.

Assim, este artigo apresenta uma alternativa para se obter a curva de magnetização de grandes transformadores de potência através do registro em campo das formas de onda das correntes e tensões no transformador durante as manobras de energização e desenergização desses equipamentos.

## 2.0 - MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA CURVA DE SATURAÇÃO DE TRANSFORMADORES

Conforme comentado anteriormente, o conhecimento da curva de saturação de transformadores de potência é muito importante nos estudos de transitórios eletromagnéticos onde a magnitude e duração das sobretensões e sobrecorrentes transitórias impostas ao sistema por faltas e manobras, dependem, além de outros fatores, das características magnéticas desses equipamentos. Além do que, os níveis das correntes de magnetização no momento da energização desses transformadores de potência podem chegar a valores de pico equivalentes a 20 vezes o nominal. Com isto, é possível que ocorra vários problemas, como: Elevados esforços mecânicos no transformador e demais equipamentos do sistema elétrico; Atuação indevida da proteção do transformador; Afundamento temporário de tensão; Sobretensão devido a ressonâncias.

Assim, foram investigadas ao longo dos anos, metodologias capazes de levantar de maneira mais fidedigna possível tais gráficos. Nesta seção serão apresentados alguns dos métodos mais comuns empregados atualmente.

### 2.1 Método baseado na utilização de dados de projeto

Este método é baseado no levantamento da curva de saturação a partir da geometria dos enrolamentos dos transformadores. Todavia, estes dados muitas vezes não estão à disposição dos engenheiros de sistemas que são os responsáveis diretos pelo planejamento e operação dos sistemas elétricos e maiores interessados na obtenção das curvas para alimentação dos modelos computacionais.

Além disso, este método não permite o cálculo correto por não considerar a interação dos enrolamentos com o tanque e outras partes mecânicas do transformador, assim como os efeitos ocasionados pela interação dos diversos enrolamentos dos transformadores. Ademais, é praticamente impossível obter por este método o efeito do fluxo residual sobre a corrente de *inrush*.

### 2.2 Método baseado na aplicação de tensão contínua

A maior vantagem do método que emprega tensões CC para levantamento da curva de saturação de transformadores está no fato de que a fonte CC necessária aos testes é muito menor que uma fonte AC utilizada para se testar o mesmo transformador. Basicamente, o método se baseia na conexão de uma fonte CC nos terminais primários do transformador. As correntes e tensão secundárias são medidas e a curva é obtida por um conjunto de equações que aproximam o circuito equivalente.

Tal método, muito embora consiga boa aproximação, traz algumas desvantagens como o fato de necessitar de uma fonte externa à subestação. Fato que o coloca como um método laboratorial difícil de executar em campo. Outra dificuldade está no tempo necessário para obtenção da curva quando se aplica tensão com polaridade reversa ao fluxo residual, ou se necessita reverter o fluxo no transformador. Outras dificuldades estão relacionadas à medição das correntes e obtenção da curva de saturação de transformadores trifásicos.

### 2.3 Método baseado na aplicação de tensão AC em regime permanente

Este método consiste na aplicação de tensões nominais ou superiores aos terminais de um transformador a vazio. Através da medição da corrente e integração da tensão é obtida a curva de saturação. O seu problema é o fato de tal método ser praticamente inviável para realização em laboratórios, devido à classe de tensão e potência demandada na região de saturação. Há também outra dificuldade, elevar a tensão em campo acima da nominal, neste caso, a curva de saturação não abrangerá a região de alta saturação magnética.

### 2.4 Método de medição baseado na retirada do núcleo magnético

Este método é usualmente empregado pelos fabricantes de transformadores como parte dos ensaios. O mesmo consiste basicamente na utilização de tensão alternada empregada, inicialmente, ao transformador completo. Nesta parte, eleva-se o valor da tensão até seu valor nominal, ou um pouco acima deste até a região em que a curva de saturação começa a entrar na região de saturação. A partir deste ponto, retira-se o núcleo magnético e passa-se a ensaiar somente o enrolamento do transformador. Assim como outros métodos reportados anteriormente, este método fornece uma aproximação, porém com considerável desvio da curva real.

### 2.5 Método baseado na corrente de *inrush*

Este método é o que apresenta a melhor precisão dentre todos os apresentados anteriormente. Ao se medir a corrente de *inrush* de um transformador e se calcular a integral da tensão de energização para obtenção do fluxo magnético, a curva de magnetização real do transformador poderá ser facilmente obtida plotando-se o fluxo ( $\phi$ ) em função da corrente (ver Figura 4). Este método permite também aproximar-se à região de maior saturação do transformador, uma vez que a corrente de *inrush*, como exposto anteriormente, pode alcançar valores superiores a 20 vezes a corrente nominal do equipamento. Também é possível se obter simultaneamente a curva para todos enrolamentos, considerando-se inclusive a interação entre os mesmos. Ademais, este método não necessita de fontes e instrumentos complicados para a medição.

Contudo, o método traz o desafio de se conhecer previamente o ponto de partida da curva de saturação, uma vez que os transformadores em campo geralmente possuem um fluxo residual, o qual deve ser medido ou removido para que se possa obter a real característica de saturação de cada transformador.

## 3.0 - A CORRENTE DE ENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

Para se compreender o fenômeno da corrente de magnetização no momento da energização dos transformadores (corrente de *inrush*), deve-se ter em mente que esta sofre a influência algumas variáveis do sistema elétrico como o ponto da forma de onda da tensão no momento do chaveamento e o valor do fluxo residual presente no núcleo. Este conjunto de variáveis, alteram o comportamento da forma de onda da corrente de magnetização. Na sequência serão apresentadas seis situações, as quais introduzem uma visão geral deste fenômeno.

### 3.1 CHAVEAMENTO NO ZERO DA TENSÃO E INEXISTÊNCIA DE FLUXO RESIDUAL

Como o fluxo magnético é defasado 90° da tensão, o mesmo, para esta situação, vai, em um tempo de meio ciclo, do seu valor mínimo ao máximo, aplicando o dobro da densidade de fluxo máxima ao núcleo (Figura 1). Este fenômeno desloca o fluxo de seu referencial zero, e ao passar do tempo, este vai sendo amortecido, até que atinge o regime. Como a curva de densidade de fluxo pela corrente dos transformadores não é linear (Figura 2), há uma saturação do núcleo, ocasionando elevados níveis de corrente, os quais podem ser observados pela Figura 3.

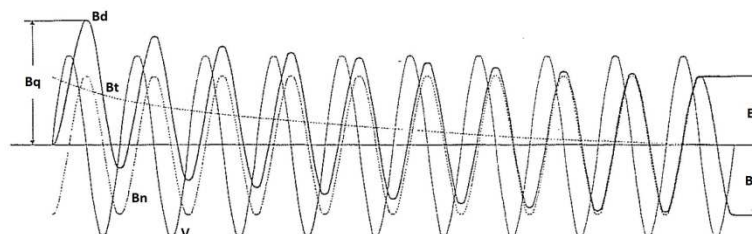


FIGURA 1 – Densidade de fluxo no núcleo

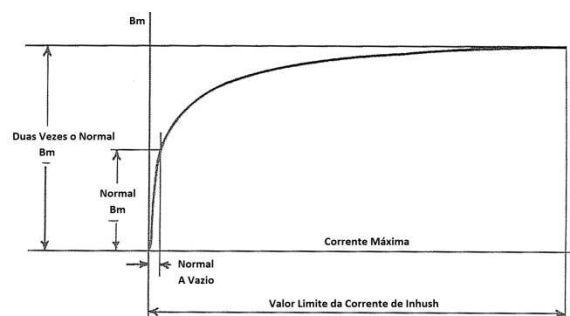


FIGURA 2 – Curva de magnetização do transformador (densidade de fluxo pela corrente).

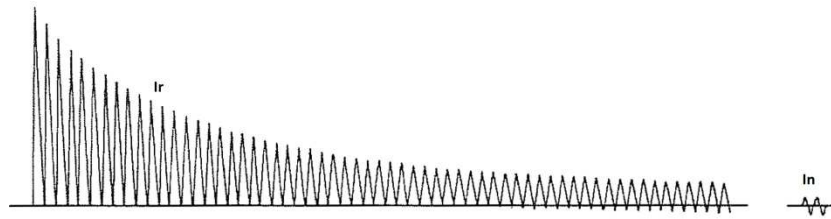


FIGURA 3 – Curva de magnetização do transformador (corrente pelo tempo).

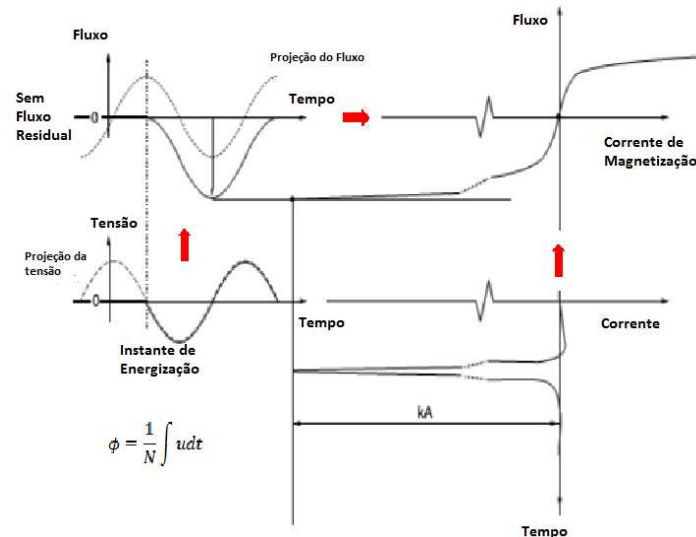


FIGURA 4 – Medição da curva de saturação de transformadores a partir da corrente de *inrush* e da tensão de energização

### 3.2 Chaveamento no zero da tensão e fluxo residual máximo com polaridade oposta à que atingiria para a tensão aplicada.

Este se configura no caso mais crítico, pois como na situação anterior, o fluxo aplicado varia do seu valor mínimo ao máximo em meio ciclo, aqui, superpõem-se a este o fluxo residual, o qual já estava em seu patamar máximo, surgindo no núcleo uma densidade de fluxo proporcional a 3 vezes a máxima.

### 3.3 Chaveamento no zero da tensão e fluxo residual máximo com a mesma polaridade à que atingiria para a tensão aplicada.

Para esta situação, se aplica um fluxo ao transformador, compatível com o que o mesmo teria se estivesse em regime permanente, não ocasionando a saturação do núcleo, e consequentemente, a magnitude da corrente de energização não atinge valores elevados.

### 3.4 Chaveamento no máximo da tensão e inexistência de fluxo residual

Como No momento em que a forma de onda da tensão está em seu máximo (pico), para o caso de transformadores a vazio, a forma de onda da corrente esta passando pelo zero (defasamento de 90°). Nesta condição, não havendo fluxo residual, não haverá ocorrência de correntes elevadas de inrush durante a energização do transformador sob estudo.

### 3.5 Chaveamento no máximo da tensão e fluxo residual máximo com polaridade oposta à que atingiria para a tensão aplicada

O fluxo residual do núcleo do transformador juntamente com o aplicado pela rede chega a aproximadamente o dobro do máximo quando a tensão aplicada está em  $\frac{3}{4}$  de um ciclo.

### 3.6 Chaveamento no máximo da tensão e fluxo residual máximo com a mesma polaridade à que atingiria para a tensão aplicada

Esta situação faz com que a densidade de fluxo no núcleo do transformador também chegue ao dobro do máximo quando se passa ¼ de ciclo do instante de chaveamento.

Vale observar que para todos os casos apresentados os valores são teóricos, ou seja, por conta das resistências do circuito primário, há um amortecimento do transitório, fazendo com que nunca surjam os valores máximos apresentados para as densidades de fluxo.

Estas análises são aplicáveis aos transformadores monofásicos, para os trifásicos, devem-se considerar interações entre os enrolamentos, as quais dependem do tipo de conexão dos mesmos.

## 4.0 - SATURÔMETRO – PROPOSTA DE EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO DA CURVA DE SATURAÇÃO DE TRANSFORMADORES

O LACTEC está desenvolvendo, através de um projeto de P&D firmado com a CHESF, um dispositivo para medição da curva de saturação de transformadores de potência, através de medições em campo, batizado como "Saturômetro". A motivação desse projeto se deu pela preocupação desse agente em refinar os modelos das curvas de saturação utilizadas nos seus estudos de transientes eletromagnéticos, principalmente nos estudos de energização de transformadores.

Frente a todos os métodos de medições ou estimação da curva de saturação de transformadores de potência, apresentados no item 3, o método baseado na medição da corrente de *inrush* alia alta precisão na medição com praticidade. A vantagem do método, tal qual já comentada, está na não necessidade da utilização de fontes para aplicação de sinais elétricos, seja em CA ou CC e a praticidade de não ser necessário deslocar os transformadores para laboratórios, uma vez que o levantamento da curva de magnetização será feito em campo, durante manobras de energização do transformador. Por fim, destaca-se que para a realização deste, não é demandado o conhecimento prévio das dimensões do ferro e dos enrolamentos dos transformadores, consequentemente, viabilizando um método livre de cálculos e algoritmos complexos.

Todavia, como mencionado no item anterior, tal metodologia traz consigo um grande desafio: o conhecimento prévio do fluxo residual destes transformadores. Assim, na sequência, será focada a metodologia adotada, tanto para a medição da corrente de *inrush*, quanto para a aquisição do fluxo residual.

### 4.1 Medição da corrente de Inrush e do fluxo magnético

Conforme já estabelecido pela teoria clássica de transformadores, a curva de saturação de transformadores de potência é dada pela relação entre o fluxo magnético e a corrente ( $\phi \times i$ ), como pode ser visto pela Figura 2.

Da mesma forma, como retratado no segundo item deste trabalho, a energização convencional de transformadores de potência pode resultar em elevados fluxos dinâmicos no núcleo do transformador, responsáveis pela saturação de uma ou mais colunas do núcleo e, como consequência, elevados valores da corrente de magnetização podem surgir.

A partir destas duas constatações pode-se verificar que a corrente de *inrush*, na maioria das vezes, atinge a região de saturação de transformadores de potência (ver Figura 2). Desta forma, é possível pensar que ao se medir tal corrente e associá-la ao fluxo magnético correspondente, pode-se traçar a curva de saturação de um transformador até sua região de alta saturação, a qual equivale ao maior valor dessa corrente.

Contudo, como pode ser observada pela Figura 1, a máxima corrente de energização de um transformador é alcançada somente no pico (positivo ou negativo) do primeiro ciclo da referida corrente. Assim, para fins de medição da curva de saturação, deve-se empregar somente o primeiro quarto de ciclo da forma de onda da corrente de energização.

Portanto, na medição do fluxo magnético, a de se considerar, segundo (7), que ao se aplicar uma tensão senoidal ao enrolamento primário do transformador e estando o secundário em aberto, tem-se:

$$v_1 = r_1 i_0 + l_1 \frac{di_0}{dt} + N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

Onde:

$r_1 i_0$  é a queda de tensão no enrolamento primário;

$l_1 \frac{di_0}{dt}$  é a queda de tensão devido ao fluxo de dispersão do enrolamento primário

é a força contra-eletromotriz induzida no primário

$$N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

Sendo que os dois primeiros termos de (1) podem ser desprezados, se admitir que no momento da energização a tensão da fonte é um valor  $V_{1m} \sin(\omega t + \alpha)$ , onde  $\alpha$  é qualquer ângulo em  $t = 0$ . Assim, a equação anterior é reduzida para:

$$v_1 = V_{1m} \sin(\omega t + \alpha) = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

Cuja integral é:

$$\phi = \phi_0 + \phi_m \cos \alpha - \phi_m \cos(\omega t + \alpha) \quad (3)$$

Onde  $\phi_0$  é o fluxo residual no instante  $t = 0$ ; e  $\phi_m = V_{1m} / N_1 \omega$ .

Assim, para obtenção do fluxo magnético da curva de saturação de um dado transformador, para o caso em que  $\phi_0 = 0$ , basta-se-á medir a tensão de energização aplicada aos terminais do transformador e integrar seu valor de  $t=0$  até  $t=4,1667$  ms, para se obter os valores de  $\phi$ , e, conseqüentemente, traçar a curva de saturação do transformador.

#### 4.2 Medição do fluxo residual ( $\phi_0$ )

A medição da curva de saturação de transformadores a partir da sua corrente de energização vem sendo empregada a décadas por concessionárias de energia. Todavia, para se conhecer qual o fluxo residual presente num determinado transformador abria-se mão de duas técnicas:

Utilizando-se uma fonte CA conectada ao primário ou secundário de um transformador, com o outro lado em aberto, se reduzia gradativamente o valor da tensão até zero volts ( $V_1 = 0$  V). Garantindo-se que o fluxo residual fosse nulo e a curva partir-se-ia da origem;

Empregava uma fonte CC em um dos lados do transformador e ajustaria esta para uma determinada tensão continua conhecida. Integrando-se este valor ter-se-ia o valor do fluxo residual. Desta maneira, pode-se empregar um fluxo magnético máximo que, controlando-se a tensão de energização pudesse se obter a mais alta corrente de *inrush* possível.

No entanto, ambas as técnicas necessitam de uma fonte de sinal que deve ser deslocada à subestação, o que é, na maioria das vezes, inconveniente, devido ao grande tamanho e peso destes equipamentos, os quais devem ser compatíveis com a potência dos transformadores, que, no caso das empresas transmissoras de energia, detêm patamares maiores que 100 MVA.

Desta forma, deve-se buscar alternativa para conhecimento do fluxo residual. Para tanto duas técnicas podem ser adotadas, as quais estão abordadas com detalhadamente na sequência.

A primeira, mais empírica e citada por (1), seria gravar a forma de onda da corrente de *inrush* durante a energização do transformador e calcular o fluxo em cada intervalo de tempo, assumindo como zero o fluxo residual. Para a corrente de magnetização  $i_k$ , dois valores de fluxos são obtidos no primeiro ciclo e, então, é calculada a média destes ( $\phi_{med}$ ). O valor do primeiro fluxo é calculado quando a corrente que atinge  $i_k$  está subindo, e a segunda quando a corrente que atinge  $i_k$  está diminuindo. Desta forma, o fluxo residual  $\phi_0$  é igual a  $\phi_k - \phi_{med}$ . Graficamente, este processo corresponde a um deslocamento vertical da curva de saturação obtida considerando-se o fluxo residual igual a zero.

A outra maneira de se calcular o fluxo residual é proposta em (8). Tal técnica utiliza a medição da tensão de desenergização do transformador. De posse da oscilografia da tensão de desenergização utiliza-se de ferramenta matemática para cálculo da integral do referido sinal, o qual corresponderá ao fluxo magnético. Está foi a técnica escolhida para ser adotada no Saturômetro visto que, é a que melhor atende aos objetivos do projeto.

No caso desta metodologia, torna-se necessário investigar uma sequência de eventos. Tal sequência compreende desde as situações pré-desenergização, que define as condições de magnetização do transformador em regime permanente, anterior ao seu desligamento, até a situação transitória pós-desenergização. Esta última é associada aos fenômenos transitórios, os quais envolvem altas frequências de oscilação de tensão, relacionadas à eventuais cortes de corrente indutiva.

## 5.0 - ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Com o intuito de apresentar os resultados preliminares da metodologia proposta para medição da curva de saturação de transformadores de potência, optou-se por realizar ensaios laboratoriais em um transformador de distribuição trifásico, com potência nominal de 15 kVA e classe de tensão 220/220/127V.

Para coleta e armazenamento dos sinais de tensão e corrente foi utilizado o oscilógrafo da Yokogawa DL750/ScopeCorder de 16 canais. Tal equipamento foi configurado com taxa de amostragem de 20kHz.

Foram aplicados diferentes deligamentos seguidos de energizações, com o objetivo de caracterizar o fluxo residual (desligamento) e a curva de saturação (energização). A Figura 5 mostra um dos resultados obtidos nesses ensaios. Convém ressaltar que o fluxo residual obtido nesse caso foi de 0,04 Wb.

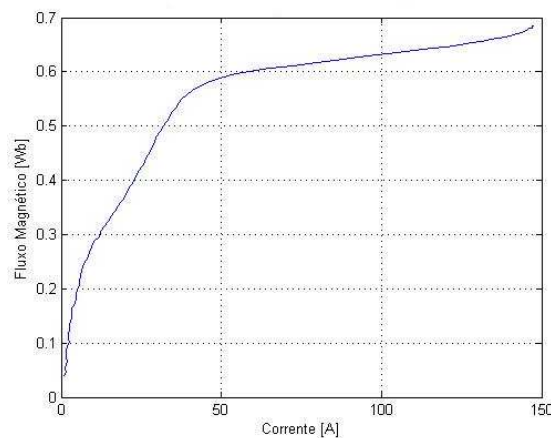


FIGURA 5 – Curva de saturação medida em laboratório para um transformador trifásico – 15 kVA

## 6.0 - CONCLUSÕES

A estimação da curva de saturação de transformadores empregados em sistemas elétricos de potência vem sendo estudada a décadas com vistas a refinar os modelos eletromagnéticos empregados em estudos de transitórios eletromagnéticos. Todavia, a busca por um método que possibilite a maior precisão possível na medição dessa curva em equipamentos já instalados em campo sem a necessidade de deslocá-los para laboratórios de pesquisas ou empregar qualquer instrumentação externa às subestações, é um desafio constante para diversos grupos de pesquisa em todo o mundo.

Neste particular, a maioria dos métodos empregados até hoje concentraram-se essencialmente na utilização de técnicas “off-line” como o emprego de fontes de corrente contínua para o levantamento dos parâmetros eletromagnéticos dos equipamentos sob ensaio. Porém, tal técnica não pode ser empregada na maioria das subestações de transmissão, uma vez que seria necessário deslocamento de grandes fontes a estes locais, onde, muitas vezes a questão de espaço é bastante complicada.

Neste contexto, o presente artigo propõe uma metodologia para ser utilizada no levantamento da curva de saturação de transformadores de alta tensão a partir de registros das tensões e correntes de energização do mesmo, que inclui a medição do fluxo residual presente no equipamento antes de sua energização.

Na sequência desse trabalho, pretende-se validar a metodologia aqui apresentada, utilizando como referência os outros métodos convencionais para levantamento da curva de saturação, sendo o objetivo final do trabalho o desenvolvimento de um equipamento para levantar automaticamente as curvas de transformadores de potência em operação, através do monitoramento de tensão e corrente durante as manobras de desligamento e energização desses equipamentos.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DICK, E. P.; WATSON, W. Transformer Models for Transient Studies Based on Field Measurements. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-100, p. 409-419, jan. 1981.
- (2) CALABRO, S.; COPPADORO, F.; CREPAZ, S. The Measurement of the Magnetization Characteristics of Large Power Transformers and Reactors through D.C. Excitation. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 01, n. 4, p. 224-234, out. 1986.
- (3) GOKHALE, S. L. Saturation Parameter. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, v. 47, n. 2, p. 423-427, abr. 1928.
- (4) LIN, C. E.; CHENG, C. L.; HUANG, C. L. Hysteresis Characteristic Analysis of Transformer Under Different Excitations Using Real Time Measurement. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 6, n. 2, p. 873-879, abr. 1991.
- (5) FEYZI, M.R.; SABAH, M. Online Dynamic Parameter Estimation of Transformer Equivalent Circuit. 42nd International Universities Power Engineering Conference, Shanghai, v.2, p. 01-05, 2007.
- (6) FERREIRA, A. G.; CASTRO, V. D.; ALCANTRA, L. P. Levantamento da Curva de Saturação em Transformadores. GCOI, 1982.
- (7) ABDULSALAM, S. G. et al. Estimation of Transformer Saturation Characteristics From Inrush Current Waveforms. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 21, n. 1, p. 170-177, jan. 2006.
- (8) APOLÔNIO, Roberto. Modelagem e Chaveamento Controlado de Transformadores: Análise Computacional e Validação Experimental. 2004. Tese de Doutorado – Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.
- (9) YACAMINI, R.; BRONZEADO, H. Transformer inrush calculations using a coupled electromagnetic model. IEEE Proceedings – Science, Measurement and Technology, v. 141, n. 6, p. 491-498, nov. 1994.



## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

### **Mateus Duarte Teixeira**

Mateus é nascido em Viçosa (MG) em 15/08/1977. Graduado em Engenharia Industrial Elétrica pela Universidade Federal de São João del-Rei (2001) e mestre em Qualidade de Energia pela Universidade Federal de Uberlândia (2003). Atualmente é pesquisador do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC e professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR. Têm atuado em projetos de P&D, estudos técnicos e consultorias que envolvam qualidade de energia elétrica, proteção de sistemas de potência, modelagem de componentes elétricos, aplicação de filtros harmônicos e fontes renováveis. Ele também é membro do Comitê de Estudos C4 do Cigré Brasil.

### **Alexandre Rasi Aoki**

Alexandre nasceu em Bauru em Obteve sua graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá, respectivamente em 1996, 1999 e 2003. Atualmente é Pesquisador Sênior na Divisão de Sistemas Elétricos do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC e Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná – UFPR. Seus interesses de pesquisa incluem aplicações de sistemas inteligentes para sistemas de potência e smart grids. Ele também é membro do Comitê de Estudos C6 – Sistemas de Distribuição e Geração Distribuída do Cigré Brasil.

### **André Eugênio Lazzaretti**

André é nascido em Pato Branco/PR em 13/02/1985. Possui graduação em Engenharia Industrial Elétrica - Eletrotécnica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2007) e mestrado pela mesma instituição (2010). Atualmente é pesquisador do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e realiza o curso de Doutorado em Informática Industrial na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

### **Luiz Felipe R. B. Toledo**

Luiz Felipe é nascido em São Paulo (SP) em 12/12/1983. É graduado em Engenharia Industrial Elétrica, com ênfase em Eletrotécnica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2007) e Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, com ênfase em Telemática pela mesma Universidade (2010). Atualmente trabalha como pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Lactec, onde desenvolve projetos de P&D. Tem experiência em sistemas de potência, equipamentos e medição de alta tensão, simulação de sistemas de potência, descargas atmosféricas, processamento de sinais e instrumentação óptica.

### **Marcio Rot Sans**

Marcio nasceu em Curitiba em é mestrando de Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Paraná. Possui especialização em Gestão de Projetos pela FAE Business School (2009) e graduação em Engenharia da Computação pelo Centro Universitário Positivo (2004). Atualmente é pesquisador do Departamento de Eletricidade do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, trabalhando nas áreas de ensaios de alta tensão, sensores ópticos aplicados em sistemas de potência, medição de grandezas elétricas em circuitos de potência e automação de sistemas.

### **Arthur Fernando Bonelli**

Arthur nasceu em Ribeirão Preto em 09/02/1985. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia em 2008 e mestrado em Qualidade da Energia Elétrica pela mesma instituição em 2010. Atualmente é pesquisador do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC. Têm atuado em diversos projetos de P&D, estudos técnicos e consultorias. Têm experiências em qualidade da energia elétrica, geração eólica, máquinas elétricas, conversores de potência, modelagens de equipamentos na plataforma ATP, entre outros.

**Janaina Mirses de Sousa Cruz Costa**, nascida em Recife-PE, 1972, é engenheira eletricista formada em 2002, pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Em 2009, obteve especialização em sistemas elétricos, com ênfase em transmissão, pela UNIFEI. Trabalha na Chesf desde 2002, onde atualmente realiza estudos elétricos da Operação. Sua principal área de interesse é transitórios eletromagnéticos. Leciona no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), desde 1994.