



Grupo de Estudo de Desempenho de Sistemas Elétricos-GDS

COMPARAÇÃO ENTRE REGISTROS DE ENERGIZAÇÃO REAIS E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS EXISTENTES DE TRANSFORMADORES E AUTOTRANSFORMADORES E PROPOSTA DE NOVO MODELO

JOÃO PAULO FERNANDES LIMA(1); ANIELA MARIA PEIXOTO MENDES DE MATTOS(1).
ELN(1);

RESUMO

O presente informe técnico realiza a comparação das respostas dos principais modelos de transformadores atualmente disponíveis no programa *Alternative Transients Program (ATP)*, *General Saturable Transformer - SATTRAFO* e *BCTTRAN*, com registros oscilográficos de energização de equipamentos da Eletronorte. Apresenta-se a proposta de um modelo alternativo, o qual representa de forma mais precisa a topologia do núcleo, além de considerar a presença do reator limitador de curto-circuito interno aos equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador, *inrush*, modelo, ATP, energização

1.0 - INTRODUÇÃO

Estudos de energização de transformadores são realizados para quantificar as correntes de fase e neutro, bem como as possíveis sobretensões de manobra. Na etapa de projeto básico, esses estudos são insumo para a especificação do transformador. Possíveis erros na modelagem podem acarretar sobredimensionamento com consequente elevação do custo de fabricação. No horizonte pré-operacional, os estudos de energização possibilitam verificar a existência de possíveis restrições operativas.

A elaboração de diretrizes para o restabelecimento do sistema elétrico após um blecaute é outra aplicação importante para esses estudos. Durante a recomposição, a rede elétrica possui impedância harmônica mais elevada quando comparado à condição normal de operação, tendo em vista o número reduzido de unidades geradoras sincronizadas e também o menor número de linhas de transmissão energizadas. Dessa forma, a corrente de *inrush* fluindo pela elevada impedância harmônica da rede pode resultar em elevadas sobretensões temporárias, as quais podem reduzir a vida útil ou até mesmo danificar equipamentos do sistema.

A correta predição da corrente de *inrush* depende de uma modelagem precisa do transformador. Nesse informe técnico (IT), busca-se verificar as potencialidades e limitações dos principais modelos disponíveis no programa ATP, quais sejam, SATTRAFO e BCTTRAN (1). Considerou-se também um modelo alternativo, elaborado pelos autores, com base na literatura técnica sobre o assunto.

A verificação da acurácia de cada um dos modelos é realizada por meio da comparação entre resultados de simulação no programa ATP e registros oscilográficos da energização de três equipamentos da Eletronorte integrantes da Rede Básica (RB) do Sistema Interligado Nacional (SIN): transformador 230/69/13,8 kV – 30 MVA da subestação (SE) Sorriso – SSTF6-03, autotransformador 230/138/13,8 kV – 100 MVA da SE Barra do Peixe – BPAT6-05, ambos localizados no estado do Mato Grosso, e autotransformador 500/230/13,8 kV –

(*) SCN Quadra 06 Conj. A, Blocos B e C, Entrada Norte 1, Asa Norte - CEP 70.716-901 - Brasília/DF – Brasil
Tel: (+55 61) 3429-8617 – Email: joao.lima@eletronorte.gov.br

450 MVA da SE Miranda II – MRAT7-02, no estado do Maranhão.

2.0 - DADOS DOS EQUIPAMENTOS

A Tabela 1 resume as principais características das unidades transformadoras consideradas nas simulações do presente IT. Ressalta-se que os reatores limitadores descritos nessa tabela são do tipo núcleo de ar, internos aos equipamentos e conectados em série com os respectivos enrolamentos terciários. O dimensionamento desses reatores foi realizado visando limitar a corrente de curto-circuito a valores inferiores à suportabilidade dos equipamentos existentes no setor de 13,8 kV das subestações às quais estão integrados.

TABELA 1 – Dados fornecidos pelos fabricantes

Equipamento	SSTF6-03	BPAT6-05	MRAT7-02
Tipo	Transformador trifásico	Autotransformador trifásico	Banco de autotransformadores
Fabricante	WEG	WEG	WEG
Enrolamentos/Potência	230 kV $\pm 2,5\%$ 230 kV $\pm 8 \times 1,25\%$ / 30 MVA 69 kV / 30 MVA 13,8 kV / 10 MVA	230 kV $\pm 2,5\%$ / 100 MVA 138 kV $\pm 16 \times 1,25\%$ / 100 MVA 13,8 kV / 13,33 MVA	500 kV / 450 MVA 230 $\pm 16 \times 0,625\%$ kV / 450 MVA 13,8 kV / 45 MVA
Núcleo	Envolvido (tipo core)	Envolvido (tipo core)	Unidades monofásicas
Saturação	$X_{ac} = 26,1\%$, base 230 kV / 30 MVA Joelho = 1,24 pu	$X_{ac} = 42,1\%$, base 230 kV / 100 MVA Joelho = 1,21 pu	$X_{ac} = 63,5\%$, base 450 MVA/500 kV Joelho = 1,25 pu
Ensaio a vazio	$I_{excitação} = 0,13\%$, base 30 MVA/230 kV	$I_{excitação} = 0,047\%$, base 100 MVA/230 kV	$I_{excitação} = 0,059\%$, base 450 MVA/500 kV
Ensaio de curto-circuito Sequência positiva -	$X_{ps} = 11,6\%$ / $X_{pt} = 26,9\%$ / $X_{st} = 13,8\%$ base 30 MVA	$X_{ps} = 8,13\%$ / $X_{pt} = 41,18\%$ / $X_{st} = 30,3\%$ base 100 MVA	$X_{ps} = 11,2\%$ / $X_{pt} =$ 142,5% / $X_{st} = 125,6\%$ base 450 MVA
Ensaio de curto-circuito Sequência zero – base 30 MVA	$X_{ps}(zero) = 9,8\%$ / $X_{pt}(zero) =$ 20,6% / $X_{st}(zero) = 11,9\%$	Não disponível	Não disponível
Reator limitador	$X = 6\%$, base 13,8 kV / 30 MVA	$X = 15,13\%$, base 13,8 kV / 100 MVA	$X = 88\%$, base 13,8 kV/150 MVA

3.0 - SE SORRISO

3.1 Energização Real do Transformador

A Tabela 2 sintetiza os principais dados obtidos nos registros da energização real do SSTF6-03 realizada em 17.02.2018. Tais informações foram consideradas na reprodução desse evento no programa ATP.

TABELA 2 – Dados da energização real do SSTF6-03

Tensão pré-manobra (230 kV)	1,01 pu
Instante de energização	A: $\theta = 310^\circ$ / B: $\theta = 190^\circ$ / C: $\theta = 70^\circ$, considerando representação das três tensões por uma função cossenoidal do tipo $v(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta)$
Dispersão entre os polos	C: primeira a fechar / A: 1,7 ms após a C / B: 1,8 ms após a C
Fluxo magnético residual	$I_a = 8,3\%$ / $I_b = 43,6\%$ / $I_c = -56,6\%$
Corrente de <i>inrush</i> (pico)	$I_a = 3,2$ pu / $I_b = 2,3$ pu / $I_c = 5,7$ pu

O instante de energização foi obtido por meio da avaliação da tensão no enrolamento secundário, ou seja, considerou-se como instante de fechamento o momento em que a tensão induzida no enrolamento de 69 kV pode ser vista no registro oscilográfico. A dispersão entre os polos do disjuntor foi obtida por meio das variações digitais referentes ao fechamento do disjuntor disponíveis no registro.

A estimativa do fluxo magnético residual nas três fases do transformador foi feita da seguinte maneira:

- Por meio de programa computacional de análise oscilográfica, calculou-se o fluxo em cada uma das fases dos transformadores, $I(t)$, por meio da integral temporal da tensão secundária (lado 69 kV);
- No instante correspondente ao início da saturação em cada fase, estimou-se o fluxo residual pela diferença entre valor de fluxo no joelho da curva (referido ao lado de 69 kV) e o valor instantâneo do fluxo (medido no mesmo lado). O cálculo é realizado, para cada fase, no instante de tempo em que

ocorre o início da saturação. Dessa forma, o fluxo residual estimado atingiu valores respectivamente iguais a 8,3%, 43,6% e -56,6% para as fases A, B e C.

3.2 Modelagem da rede elétrica

O ajuste do caso de simulação buscou reproduzir da melhor maneira possível a configuração da rede elétrica e os níveis de curto-circuito nos instantes das manobras em campo. Adicionalmente, fluxos de potência nas linhas de transmissão adjacentes e tensões nas barras foram levantados via base histórica do sistema de supervisão. Tais condições também foram consideradas para o ajuste do regime permanente pré-manobra.

3.3 Representação do SSTF6-03 utilizando o modelo SATTRAFO – Transformador saturável

Na modelagem do equipamento utilizando o modelo SATTRAFO (FIGURA 1), as resistências e as reatâncias de dispersão dos enrolamentos foram obtidas por meio dos ensaios de curto-circuito. Para a modelagem das perdas no núcleo, obteve-se o laço de histerese pela rotina *Hysteresis Hevia* (4) com base nas informações contidas no ensaio a vazio (curva de saturação e perdas a vazio). Esse tipo de representação do núcleo permite o ajuste dos fluxos residuais informados na Tabela 1. O último ponto da curva de saturação é acrescentado a partir do último ponto medido no ensaio a vazio, de acordo com os valores de joelho e reatância de núcleo de ar fornecidos pelo fabricante (vide Tabela 1). Dessa forma, a inclinação desse último seguimento da curva é calculada por meio da diferença entre a reatância de núcleo de ar e a reatância do enrolamento primário (2). A representação do núcleo foi realizada por meio da conexão dos indutores não lineares com histerese ao nó interno intitulado *starpoint*.

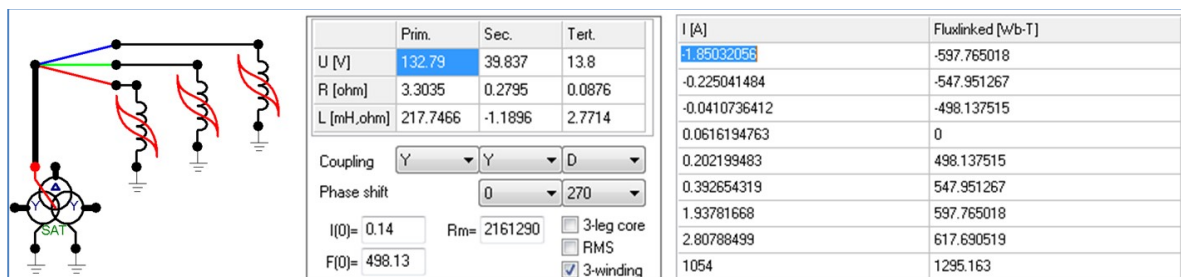


FIGURA 1 – Modelo SATTRAFO.

3.4 Representação do SSTF6-03 utilizando o modelo BCTRAN

A modelagem do equipamento utilizando-se o BCTRAN (FIGURA 2) foi realizada considerando os ensaios de curto-circuito de sequências positiva e zero fornecidos pelo fabricante, conforme apresentado na Tabela 1. Dessa forma, esse modelo considera os acoplamentos indutivos entre os enrolamentos do transformador representando-os de forma matricial (8). A representação do núcleo e da saturação seguiu a mesma metodologia utilizada no modelo SATTRAFO, exceto por dois aspectos:

- A saturação foi representada junto ao terminal da baixa tensão (69 kV);
- A inclinação do último seguimento da curva de saturação foi calculada por meio da diferença entre a reatância de núcleo de ar e a reatância X_p (2).

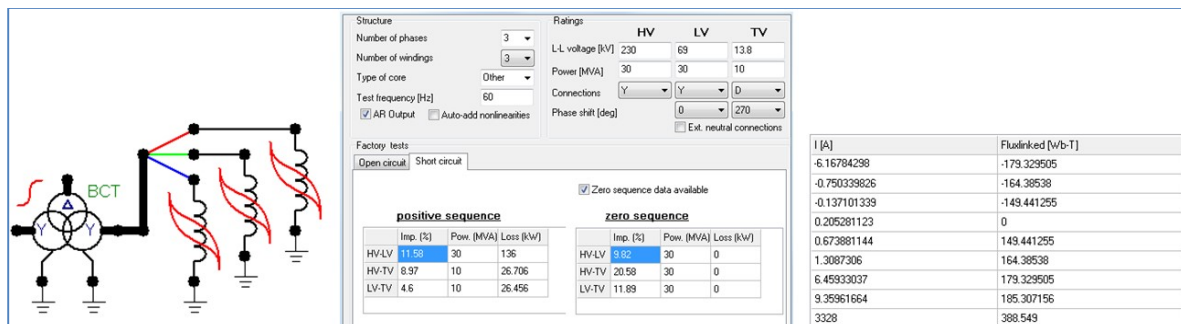


FIGURA 2 – Modelo BCTRAN.

3.5 Representação do SSTF6-03 utilizando o novo modelo proposto

A brochura Cigré intitulada *Transformer Energization in Power Systems: A Study Guide, Working Group C4.307*

$$L_a = \frac{3}{2\pi 60} (X_{ac} - X_{pt}) X_{base} = \frac{3}{2\pi 60} (0,261 - 0,209) \left(\frac{13,8^2}{30} \right) = 2,6mH$$

A rotina disponível no modelo *Hybrid Transformer* do programa ATP determina os parâmetros “a” e “b” nas equações acima, utilizando os valores eficazes de tensão e corrente medidos no ensaio a vazio como insumos. Sendo assim, tais parâmetros são determinados de modo a conseguir o melhor ajuste possível entre a equação de Frolich e a curva medida no ensaio a vazio. Nesse caso, resultam em a = 0,00356 e b = 0,01544.

3.6 Comparação entre simulações e registro real da energização

A FIGURA 5 apresenta a comparação entre o registro oscilográfico da energização do SSTF6-03 e as simulações utilizando-se o SATTRAFO, BCTTRAN e novo modelo proposto. Observa-se que o valor máximo da corrente de *inrush* atingiu 5,7 vezes o valor nominal (fase C).

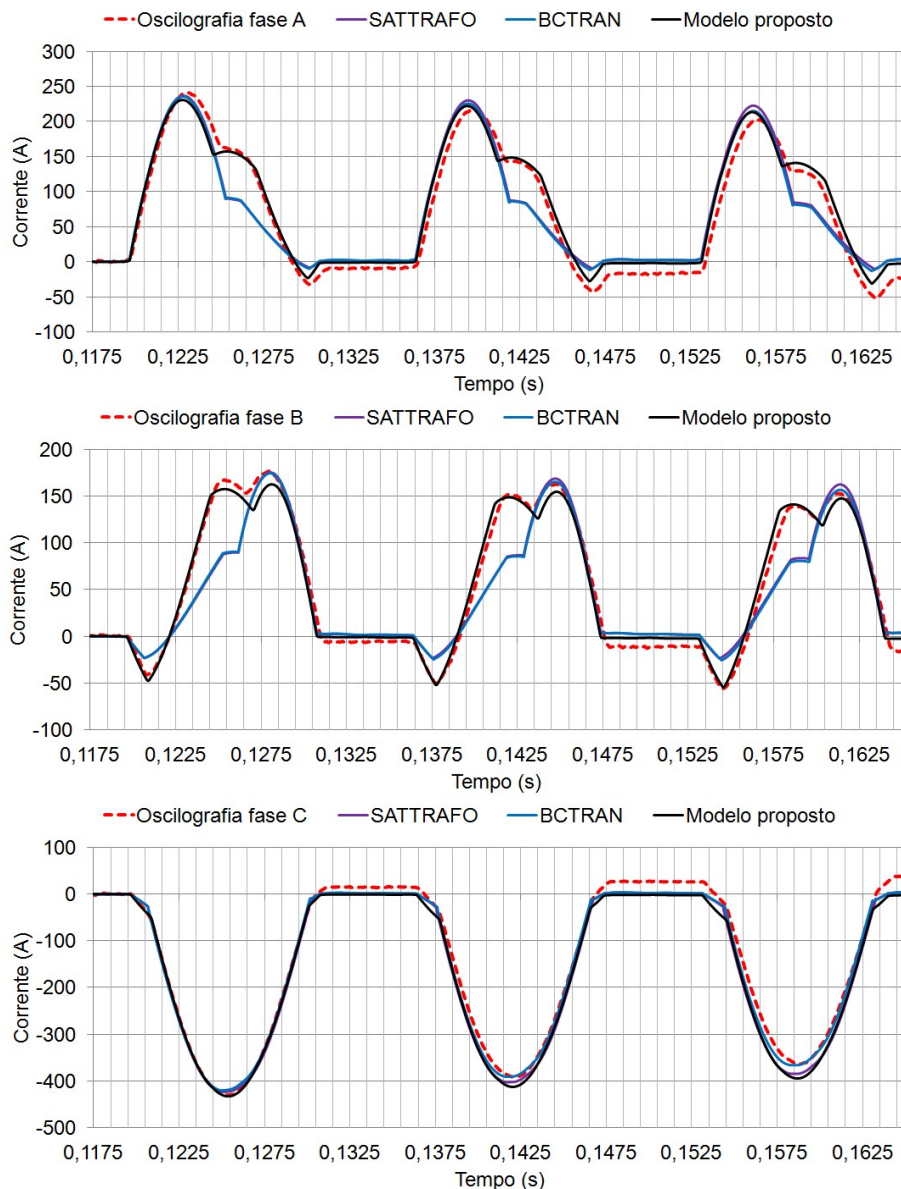


FIGURA 5 – Energização do SSTF6-03 - comparativo registro *versus* simulação.

Observa-se que, dentre os modelos analisados, o proposto possui a maior aderência ao registro real. Atribui-se esse resultado ao fato de que a representação nele utilizada se aproxima mais da topologia do SSTF6-03, com posicionamento correto da representação do núcleo (junto ao terciário), além de se considerar o reator limitador de curto-circuito.

As respostas dos modelos SATTRAFO e BCTRAN são similares, tendo em vista que os valores das reatâncias de sequência positiva e zero são próximos.

4.0 - SE BARRA DO PEIXE

4.1 Energização Real do Autotransformador

Foi selecionada para reprodução a energização real do BPAT6-05 ocorrida em 12.08.2018. As grandezas de interesse para o ajuste do caso de simulação foram auferidas a partir dos registros oscilográficos, conforme detalhado no Item 3.1, e apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3 – Dados da energização real do BPAT6-05

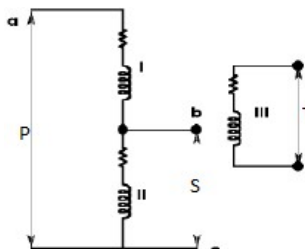
Tensão pré-manobra (230 kV)	1,00 pu
Instante de energização	A: $\theta = 320^\circ$ / B: $\theta = 200^\circ$ / C: $\theta = 95^\circ$, considerando representação das três tensões por uma função cossenoidal do tipo $v(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta)$
Dispersão entre os polos	A e B: fechamento simultâneo / C: 0,7 ms após
Fluxo magnético residual	Ia = 45,6% / Ib = 39,4% / Ic = -85%
Corrente de <i>inrush</i> (pico)	Ia = 1,88 pu / Ib = 1,37 pu / Ic = 3,2 pu

O ajuste do caso de simulação tomou como premissa a mesma metodologia e precisão detalhados no Item 3.2.

4.2 Representação do BPAT6-05 utilizando o modelo SATTRAFO – Transformador saturável

A partir das resistências e reatâncias de dispersão informadas pelo fabricante (Tabela 1), obtidas a partir dos ensaios de curto-circuito, modelou-se o BPAT6-05 similarmente ao apresentado na FIGURA 1. Assim como em 3.3, utilizou-se a rotina *Hysteresis Hevia* para representação das perdas no núcleo.

Uma vez que a aplicação direta do SATTRAFO representa um transformador trifásico com três enrolamentos, realizou-se adicionalmente o modelo do autotransformador em questão como tal. Assim, visando a representação dos enrolamentos comum e série, o modelo de autotransformadores calcula as resistências e reatâncias conforme descrito em (3) e transcritos abaixo:



$$Z_{I,II} = Z_{PS} \left(\frac{V_P}{V_P - V_S} \right)^2$$

$$Z_{II,III} = Z_{ST}$$

$$Z_{I,III} = Z_{PS} \frac{V_P V_S}{(V_P - V_S)^2} + Z_{PT} \frac{V_P}{V_P - V_S} + Z_{ST} \frac{V_S}{V_P - V_S}$$

$$\begin{cases} Z_I = \frac{1}{2}(Z_{I,II} + Z_{I,III} - Z_{II,III}) \\ Z_{II} = \frac{1}{2}(Z_{I,II} + Z_{II,III} - Z_{I,III}) \\ Z_{III} = \frac{1}{2}(Z_{II,III} + Z_{I,III} - Z_{I,II}) \end{cases}$$

Note-se que, para ambas as representações que utilizam o modelo SATTRAFO, a curva de histerese foi conectada ao seu nó interno, intitulado *starpoint*, e modelado como um indutor histerético do tipo 96 (4).

4.3 Representação do BPAT6-05 utilizando o modelo BCTRAN

Conforme detalhado no Item 3.4, o modelo BCTRAN considera os ensaios de curto-circuito de sequências positiva e zero fornecidos pelo fabricante. Devido à não disponibilização dos resultados de sequência zero, não foi possível a realização de simulações utilizando-se o referido modelo.

4.4 Representação do BPAT6-05 utilizando o novo modelo proposto

A FIGURA 6 apresenta o BPAT6-05 representado por meio do novo modelo ora proposto, segundo as premissas apresentadas no Item 3.5. Contudo, devido à ausência dos dados relativos às dimensões físicas do núcleo, realizou-se sua representação simplificada, sem considerar a sua geometria (*legs* e *yokes*). Dessa forma, contemplou-se a representação desacoplada do núcleo, por meio da inclusão de um ramo de magnetização individual para cada fase, sendo sua conexão junto ao enrolamento mais próximo ao núcleo, o terciário, como em 3.5. Cada ramo de magnetização contempla o laço de histerese modelado por indutor tipo

16. O novo modelo considera transformadores ideais conectando os enrolamentos série, comum e terciário. Esse autotransformador é igualmente dotado de reator limitador de curto-circuito, ligado em série com enrolamento terciário.

As reatâncias que representam corretamente a dispersão entre os enrolamentos no novo modelo foram calculadas conforme se segue:

$$X_{pt(novo)} = X_{pt(ensaio)} - X_{reator} = 41,18 - 15,13 = 26,05\%$$

$$X_{st(novo)} = X_{st(ensaio)} - X_{reator} = 30,3 - 15,13 = 15,17\%$$

A partir dos novos valores de X_{pt} e X_{st} , as reatâncias referentes aos enrolamentos série, comum e terciário foram calculadas de acordo com as equações descritas no Item 4.2.

4.5 Comparação entre simulações e registro real da energização

Na FIGURA 7 é possível observar as curvas das simulações considerando as premissas descritas em 4.1 a fim de se reproduzir a energização real do BPAT6-05, mediante os modelos descritos em 4.2 e 4.4. Observa-se que o valor máximo da corrente de *inrush* atingiu 1135 A, na fase C, 3,2 pu da nominal.

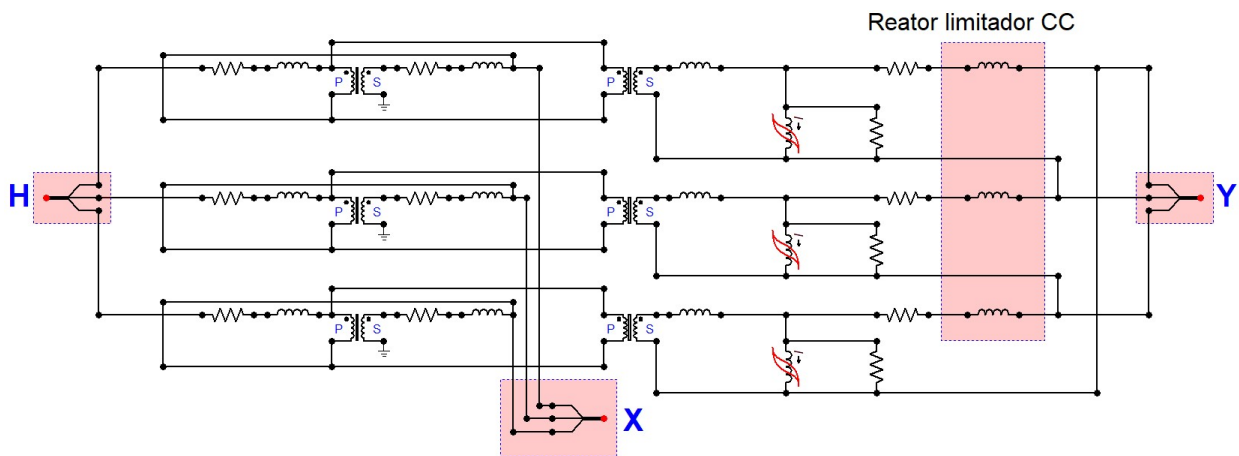


FIGURA 6 – Novo modelo proposto com simplificação da representação do núcleo.

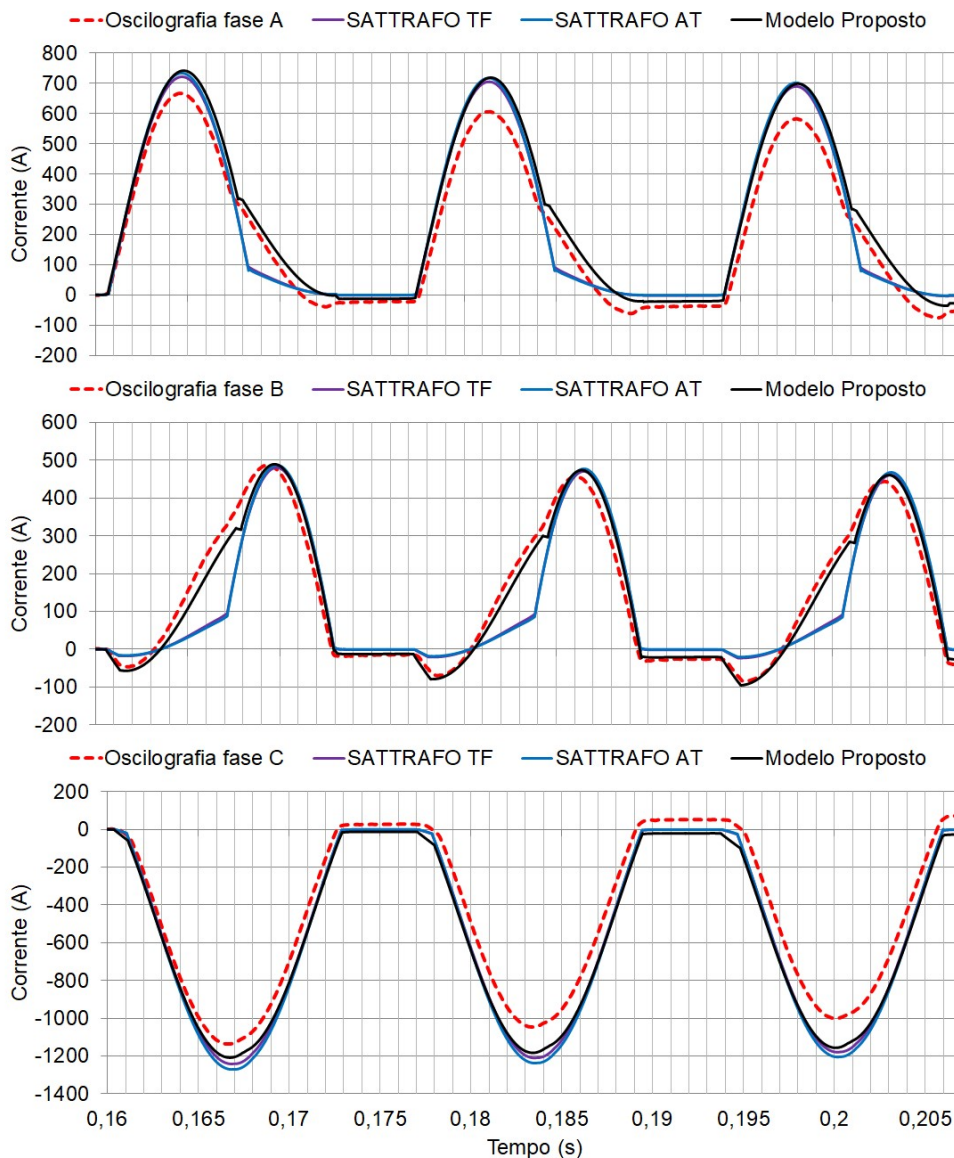


FIGURA 7 – Energização do BPAT6-05 - comparativo registro versus simulação

Da comparação das curvas vê-se que modelo proposto se aproxima com maior precisão das medidas efetivamente auferidas durante a energização real do equipamento, principalmente no que tange ao pico máximo da corrente de *inrush* e à composição harmônica evidente nessa grandeza, decorrente da saturação do núcleo. Vê-se a efetividade da representação do núcleo contíguo ao terciário, conforme disposição construtiva do autotransformador, bem como do respectivo reator limitador de curto-circuito.

Ademais, vê-se que a inclusão da histerese e do fluxo residual aos modelos convencionais de transformador saturável (SATTRAFO), conectados ao nó interno, conferem aos seus resultados uma representação mais próxima da real. Não se observam discrepâncias importantes entre os resultados obtidos a partir de ambas as representações, como transformador e autotransformador, utilizando-se referido modelo.

5.0 - SE MIRANDA II – COMPARAÇÃO ENTRE REGISTROS DE ENERGIZAÇÃO REAIS E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS UTILIZANDO O NOVO MODELO PROPOSTO

A Tabela 4 sintetiza os principais dados obtidos nos registros das duas energizações do MRAT7-02.

TABELA 4 – Dados das energizações do MRAT7-02

	Primeira energização	Segunda energização
--	----------------------	---------------------

Tensão pré-manobra (230 kV)	1,09 pu	1,09 pu
Instante de energização	A: $\theta = 253^\circ$ / B: $\theta = 133^\circ$ / C: $\theta = 13^\circ$ considerando representação das três tensões por uma função cossenoidal do tipo $v(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta)$	A: $\theta = 178,5^\circ$ / B: $\theta = 58,5^\circ$ / C: $\theta = 298,5^\circ$, considerando representação das três tensões por uma função cossenoidal do tipo $v(t) = V_{max} \cos(\omega t + \theta)$
Fluxo magnético residual	$I_a = 61\%$ / $I_b = -48\%$ / $I_c = (\text{sem saturação})$	$I_a = 28\%$ / $I_b = 2\%$ / $I_c = -23\%$
Corrente de <i>inrush</i> (pico)	$I_a = 2,1$ pu / $I_b = 1,5$ pu / $I_c = 0,2$ pu	$I_a = 0,15$ pu / $I_b = 1,1$ pu / $I_c = 0,66$ pu

A FIGURA 8 apresenta o comparativo das duas energizações do MRAT7-02 com as simulações utilizando o novo modelo proposto, o qual foi elaborado utilizando a mesma metodologia apresentada no Item 4.4.

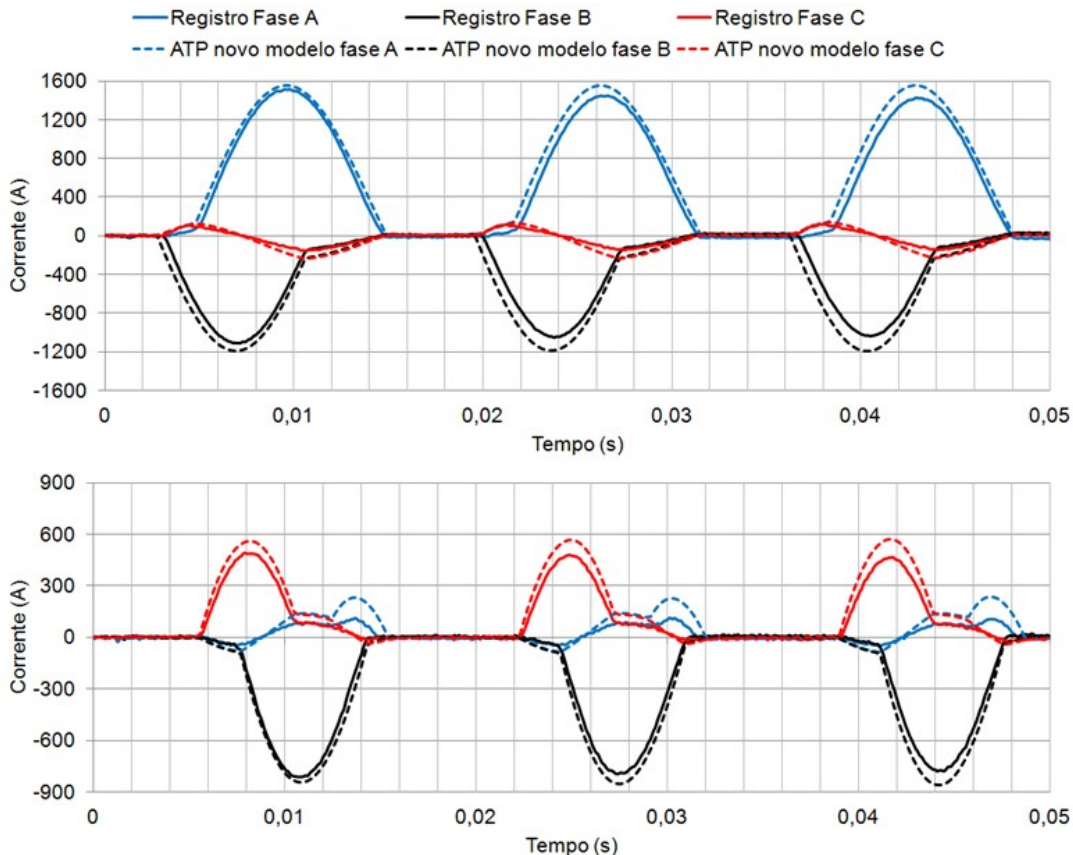


FIGURA 8 – Energizações do MRAT7-02 - comparativo registro *versus* simulação

Observa-se que as energizações são reproduzidas com boa precisão utilizando-se o novo modelo proposto também para o autotransformador 02 da SE Miranda II 500 kV.

6.0 - CONCLUSÃO

Conforme observado na comparação com os respectivos registros oscilográficos, verifica-se que o modelo SATTRAFO reproduz com boa precisão os valores de pico das correntes de *inrush*. No entanto, esse modelo não permite uma fiel reprodução do conteúdo harmônico (forma de onda) das correntes. As respostas dos modelos SATTRAFO e BCTRAN são similares, tendo em vista que os valores das reatâncias de sequência positiva e de sequência zero são muito próximos para o equipamento objeto do presente IT (SSTF6-03). Conclui-se que as fases estão pouco acopladas, podendo-se desprezar o efeito das indutâncias mútuas de dispersão no referido transformador.

Da comparação das curvas, conclui-se que, dentre os modelos analisados, o novo modelo proposto é o que melhor se aproxima das correntes de *inrush* medidas na energização dos equipamentos em campo, reproduzindo com boa precisão o pico máximo e a composição harmônica da corrente de *inrush*. Dessa forma, constata-se a efetividade da representação topologicamente correta do núcleo, bem como sua conexão junto ao



enrolamento terciário, aproximando-se da disposição física dos equipamentos. Adicionalmente, a inserção da representação do reator limitador de curto-circuito contribui para a correta predição das correntes de sequência zero que fluem pelo enrolamento terciário dos equipamentos durante a energização.

Nenhum dos modelos apresentados representa fielmente o amortecimento das correntes de *inrush*, que se apresentam menos amortecidas nas simulações quando comparadas aos registros reais. Tal característica decorre do fato de que o efeito das perdas dos equipamentos nos modelos analisados é representado de forma minorada em relação ao que ocorre na prática.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DOMMEL, H., "Electromagnetic Transients Program-Rule Book," *Oregon, USA*, 1984.
- (2) CIGRE Working Group C4.307, "Transformer energization in power systems: a study guide," CIGRE, Tech. Bro. TB-568, Feb. 2014.
- (3) DOMMEL, H. W., Electromagnetic Transients Program (EMTP Theory Book), OR, Portland: Bonneville Power Administration, 1986.
- (4) HEVIA, O. P., "HYSTERESIS HEVIA: a new routine to generate input data for inductors with hysteresis", *EEUG News*, vol. 6, no. 1–2, February–May 2000.
- (5) OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS, "Submódulo 23.3 - Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos", 2016. [Online <http://www.ons.org.br/>].
- (6) B. A. Mork, F. Gonzalez, D. Ishchenko, D. L. Stuehm, and J. Mitra, "Hybrid transformer model for transient simulation: Part I: development and parameters," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 22, no. 1, pp. 248–255, Jan. 2007.
- (7) H. K. Høidalen, N. Chiesa, A. Avendano, and B. A. Mork, "Developments in the hybrid transformer model – Core modeling and optimization," in *IPST'2011*, 2011.
- (8) V. Brandwajn, H. W. Dommel, and I. I. Dommel, "Matrix representation of three-phase n-winding transformers for steady-state and transient studies," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-101, no. 6, pp. 1369–1378, June 1982.
- (9) H. K. Høidalen, B. A. Mork, F. Gonzalez, D. Ishchenko, and N. Chiesa, "Implementation and verification of the hybrid transformer model in ATPDraw," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 79, no. 3, pp. 454 – 459, Mar. 2009, special Issue: Papers from the 7th International Conference on Power Systems Transients (IPST).

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

	<p>João Paulo Fernandes Lima, natural de Goiânia-GO, graduou-se em engenharia elétrica em 2003 pela Universidade Federal de Goiás, tendo recebido o título de mestre pela mesma instituição em 2005. É engenheiro de operação da Eletrobras Eletronorte desde 2011, com atuação na área de estudos elétricos da operação de sistemas. Atualmente, desenvolve estudos operacionais e para os sistemas elétricos da empresa, contemplando as análises de fluxo de potência, estabilidade eletromecânica, curto-circuito e transitórios eletromagnéticos, com particular interesse em estudos de energização de transformadores.</p>
	<p>Anieli Maria Peixoto Mendes de Mattos, natural de Brasília, graduou-se em engenharia elétrica pela Universidade de Brasília (2006). Recebeu título de mestre pela Universidade Estadual de Campinas. Trabalha no Departamento de Planejamento da Operação, Estudos Elétricos e Energéticos da Eletrobras Eletronorte como Engenheira de Operação, atuando principalmente nos seguintes temas: sistemas de transmissão de alta tensão, estudos de fluxo de potência, transitórios eletromagnéticos e transitórios eletromecânicos.</p>