



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

GPC 07
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA – GPC

O USO DA SIMULAÇÃO DIGITAL EM TEMPO REAL PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS PROTEÇÕES DE DISTÂNCIA E DIFERENCIAL EM LINHAS DE TRANSMISSÃO CURTAS

André Luiz Pereira de Oliveira *

SIEMENS Ltda.

RESUMO

O objetivo deste informe técnico é apresentar a avaliação do desempenho das proteções numéricas de distância e diferencial instaladas em linhas de transmissão do Sistema de Transmissão da CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista. As proteções analisadas foram instaladas nas linhas de transmissão classificadas como curtas de tensão nominal de 345 kV entre as subestações de Guarulhos – Anhanguera (21,5 km de extensão) e Anhanguera – Milton Fornasaro (4,5 km de extensão) e de tensão nominal de 230 kV entre as subestações Centro – Anhanguera (6,1 km de extensão) e Anhanguera – Edgard de Souza (15,5 km de extensão). O informe técnico apresenta a análise do desempenho das mesmas proteções numéricas de distância e diferencial utilizadas nestas linhas de transmissão curtas, através dos resultados obtidos com o uso da Simulação Digital em Tempo Real.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção Numérica de Distância, Proteção Numérica Diferencial, Simulação Digital, Linhas de Transmissão.

1.0 - INTRODUÇÃO

A Proteção de Linhas de Transmissão tem sido um dos campos da engenharia elétrica mais pesquisados em todos os tempos, e isto se deve a importância deste elemento no Sistema Elétrico Brasileiro. As linhas de transmissão são responsáveis pelo escoamento da energia elétrica, ligando as gerações aos centros consumidores. A preocupação cada vez maior com este tema tem estimulado as empresas transmissoras de energia a se utilizarem da Simulação Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) para obterem melhores desempenhos das proteções que serão instaladas em suas Linhas de Transmissão [1].

A Simulação Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) visa comprovar a estabilidade dos algoritmos dos sistemas de proteção propostos frente a transitórios decorrentes de manobras e de faltas externas e internas às linhas de transmissão de 345 kV e 230 kV. Foram realizadas simulações de condições de falta idênticas as que as proteções numéricas serão submetidas em sua aplicação real, através da parametrização e configuração dos equipamentos de simulações e testes (*RTDS™*) com os dados reais do sistema de transmissão.

As simulações digitais apresentadas no informe técnico foram realizadas em todas as Linhas de Transmissão e seus resultados serão apresentados em conjunto, possibilitando uma avaliação do desempenho para todas as linhas onde as proteções numéricas diferenciais (proteção principal - 87L) e proteções numéricas de distância (proteção alternada – 21/21N) foram instaladas.

A CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista foi responsável pelo fornecimento dos dados das Linhas de Transmissão para modelagem da Simulação Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*), possibilitando a realização dos testes e ensaios com grande fidelidade ao sistema existente onde as proteções numéricas foram instaladas.

2.0 - A PROTEÇÃO NUMÉRICA DE DISTÂNCIA

A proteção de distância é caracterizada como uma proteção universal contra curto-circuitos. O seu modo de operação é baseado na medição e avaliação da impedância de curto-circuito, a qual é proporcional a distância da falta no caso clássico de avaliação [2]. A mesma é responsável pela base da proteção de redes de transmissão e distribuição, porém podendo ser aplicada na proteção de qualquer elemento do sistema elétrico como barramentos e geradores.

A Proteção Numérica de Distância é mais rápida e seletiva que proteções de sobrecorrente, além de menos susceptível a alterações no sistema elétrico. Além disto, outra grande vantagem é a incorporação da localização da falta no sistema onde está aplicada. O seu tempo de comando de *trip* é de aproximadamente um ou dois ciclos (16 ms a 32 ms) para defeitos em sua primeira zona de proteção. Através da utilização de um canal de comunicação (fio piloto, *carrier*, sistema de rádio ou fibra óptica) a proteção numérica de distância pode ser utilizada como um sistema de comparação com seletividade absoluta. Esta utilização propicia tempos de comandos de *trip* rápidos em 100% da linha, de maneira similar a proteção numérica diferencial, proporcionando ainda proteção de retaguarda a outras partes do sistema de transmissão.

Apesar de ainda serem encontrados muitos relés eletromecânicos e estáticos com a função de distância, o estado da arte da proteção de distância hoje utiliza-se de relés numéricos multifuncionais baseados em microprocessadores. As Proteções Numéricas de Distância se comunicam com sistemas e unidades centrais de controle e podem ser operadas local e remotamente.

3.0 - A PROTEÇÃO NUMÉRICA DIFERENCIAL

A proteção diferencial calcula a soma de todas as correntes que entram e saem do dispositivo protegido. Com exceção das correntes de magnetismo e correntes capacitivas de carregamentos, esta somatória de correntes deverá ser igual a zero caso o dispositivo protegido não esteja em condição de falta. Assim, as faltas internas são detectadas através do surgimento de correntes diferenciais [3]. A estabilidade desta proteção é adequada a grandeza do fluxo de corrente do sistema, assim como sua sensibilidade é ajustada de acordo com os níveis de curto-circuito.

Na proteção de Linhas de Transmissão as correntes medidas devem ser transmitidas por longas distâncias até o lado oposto da linha, onde a comparação então é realizada. A Proteção Numérica Diferencial através da comunicação digital utilizando fibras ópticas pode ser aplicada para a proteção de Linhas de Transmissão de mais de 100 km de extensão. A operação da Proteção Numérica Diferencial é extremamente rápida, com seu tempo de comando de *trip* sendo menor que um ciclo (16 ms). A utilização de fibra óptica como canal de comunicação garante a velocidade na eliminação de defeitos.

Assim como para a proteção de distância também ainda são encontrados muitos relés eletromecânicos e estáticos com a função diferencial, mas o estado da arte da proteção diferencial hoje utiliza-se de relés numéricos multifuncionais baseados em microprocessadores. As Proteções Numéricas Diferenciais também se comunicam com sistemas e unidades centrais de controle e podem ser operadas local e remotamente.

4.0 - O SIMULADOR DIGITAL EM TEMPO REAL (*REAL TIME DIGITAL SIMULATOR - RTDS™*)

O Simulador Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) é um equipamento para utilização na simulação de Sistemas Elétricos de Potência com capacidade de operação contínua em tempo real. O seu funcionamento é como um TNA digital, flexível, preciso, com grande capacidade de representação de um Sistema Elétrico e dos inúmeros equipamentos que o compõe [4].

A conexão dos relés numéricos de proteção ao sistema do Simulador Digital em Tempo Real (*RTDS™*) é realizada com o uso de amplificadores de corrente e tensão. A realização dos comandos de *trip* foi de fase segregada, possibilitando comandos de *trip* monopolar para simulação de situações de religamento automático. A Figura 1 apresenta um exemplo de um *rack* do *RTDS™* (as simulações utilizam mais de um *rack*, com a quantidade variando conforme o tamanho do sistema em simulação).

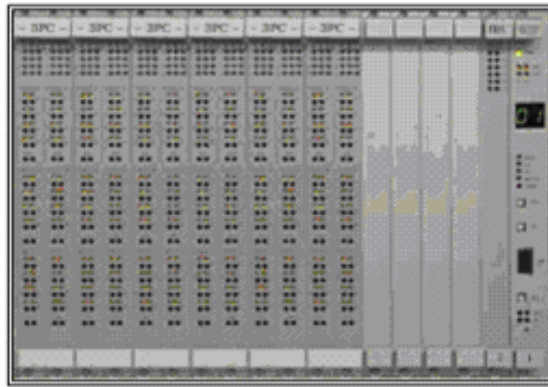


Figura 1 – Exemplo de um rack do Simulador Digital em Tempo Real (Real Time Digital Simulator - RTDS™)

A Figura 2 apresenta a documentação gerada pelas simulações, a qual consiste de arquivos contendo todos os registros das faltas e alarmes, além dos comandos e reações dos relés numéricos de proteção através do envio e recebimento de sinais. Além disso, os sinais analógicos de corrente e tensão foram registrados juntamente com as entradas e saídas binárias dos relés de proteção, fornecendo os tempos de detecção de falta e comando de *trip*.

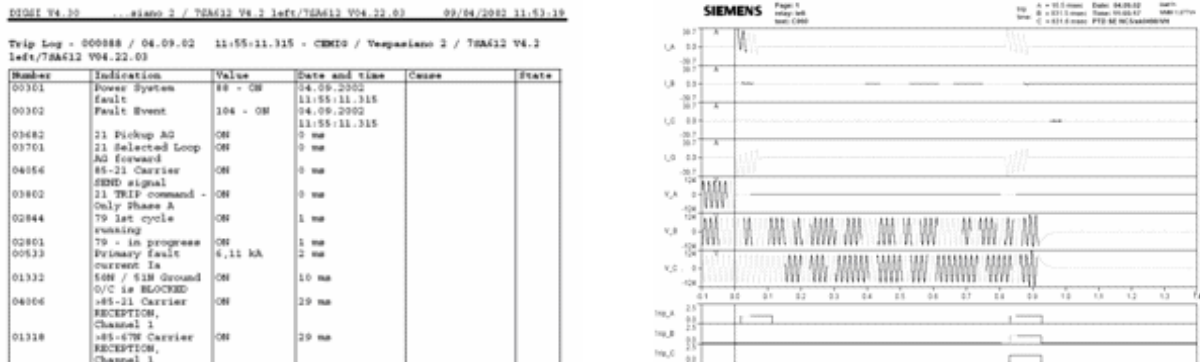


Figura 2 – Exemplo de Seqüência de Eventos e Oscilografia de uma Falta Simulada no Simulador Digital em Tempo Real (Real Time Digital Simulator - RTDS™)

5.0 - AS LINHAS DE TRANSMISSÃO DE 345 KV E 230 KV

As Linhas de Transmissão onde foram instaladas as proteções numéricas de distância e diferencial, todas classificadas como curtas pela literatura técnica, são apresentadas a seguir:

- Linha de Transmissão 345 kV SE Guarulhos – SE Anhanguera: extensão de 21,5 km;
- Linha de Transmissão 345 kV SE Anhanguera – SE Milton Fornasaro: extensão de 4,5 km;
- Linha de Transmissão 230 kV SE Centro – SE Anhanguera: extensão de 6,1 km;
- Linha de Transmissão 230 kV SE Anhanguera – SE Edgard de Souza: extensão de 15,5 km.

Estas linhas fazem parte do Sistema de Transmissão da CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista. A instalação das proteções numéricas de distância e diferenciais fazem parte do Projeto Complexo Anhanguera, o qual inclui a expansão das Subestações Guarulhos e Anhanguera, além da instalação de uma linha de transmissão entre estas duas subestações. Este empreendimento visa atender o aumento do consumo de energia e reforçar a confiabilidade do sistema de transmissão do Estado de São Paulo, A Subestação Anhanguera 362/230/145 kV compreende 01 (um) um banco de autotransformadores 345/230 kV com 500 MVA, 02 (dois) bancos de transformadores 345/88 kV com 400 MVA cada e 01 (uma) fase reserva de 133 MVA, conjuntos blindados a gás SF6 com mais de 40 vãos em 03 (três) níveis de tensão (362 kV, 245 kV e 145 kV) e sistemas de proteção, controle e supervisão.

A CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista é responsável por mais de 11.780 km de Linhas de Transmissão, equivalente a cerca de 30% do total de linhas do Brasil. Desde 26 de Julho de 2006 a CTEEP deixou de ser controlada pelo Governo do Estado de São Paulo e teve seu controle acionário assumido pela Interconeción Eléctrica S.A. (ISA) da Colômbia.

6.0 - AS PROTEÇÕES NUMÉRICAS AVALIADAS NAS SIMULAÇÕES DIGITAIS EM TEMPO REAL

Os sistemas de proteção a serem instalados no Sistema Elétrico Brasileiro devem seguir os Requisitos Mínimos dos Sistemas de Proteção, Supervisão/Controle e de Telecomunicações do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS [5]. As proteções numéricas de distância e diferencial avaliadas neste informe técnico e instaladas nas Linhas de Transmissão de 345 kV e 230 kV foram 7SA61 (distância) e 7SD52 (diferencial).

6.1 O Proteção Numérica de Distância 7SA61

A Proteção Numérica de Distância 7SA61 (Figura 3) é não chaveada incorporando todas as funções de proteção para Linhas e Cabos de Transmissão para níveis de tensão de 5 a 765kV [6].



Figura 3 – Proteção Numérica de Distância 7SA61

Todos os métodos de conexão do ponto de neutro (aterramento ressonante, isolado, solidamente aterrado ou aterramento com baixa impedância) são tratados de maneira confiável. A unidade pode trabalhar com *trip* mono ou tripolar assim como comandos de fechamento. Conseqüentemente, religamentos múltiplos mono ou tripolares são possíveis. Funções de teleproteção assim como proteção contra falhas a terra e detecção sensível para falhas a terra são inclusas. Detecção de oscilações de potência são detectadas de maneira confiável e *trips* não seletivos são evitados.

A Proteção Numérica de Distância 7SA61 é equipada com um processador de alta performance. Este processa todas as tarefas de forma digital, desde a aquisição dos valores medidos até o envio de comandos para os disjuntores. Estão disponíveis vários protocolos para comunicação com sistemas supervisórios.

A Proteção Numérica de Distância 7SA61 utilizada nas linhas curtas do sistema de transmissão da CTEEP possuem as seguintes características:

- Utilização: Proteção Alternada;
- MLFB Completo: 7SA6135-5AB32-4PP4+L0S;
- Funções de Proteção: 21/21N; 67N; 50/51N; 50/51; 27/59; 25/79; 85; *Trip* mono/tripolar;
- Interfaces de Comunicação: IEC-61850 com anel de fibra óptica.

6.2 A Proteção Numérica Diferencial 7SD52

A Proteção Numérica Diferencial 7SD52 (Figura 4) proporciona a proteção diferencial completa e incorpora todas as funções usualmente requeridas para proteção de Linhas de Transmissão de todos os níveis de tensão [7].



Figura 4 – Proteção Numérica Diferencial 7SD52

Esta proteção é projetada para prover eliminação da falta de forma rápida e seletiva, utilizando cabos de fibra óptica ou redes de comunicação digital para trocar mensagens, incluindo características especiais para o uso em redes de comunicação multiplexadas. Fios pilotos e conexões ISDN também podem ser utilizados com um conversor externo. Isto contribui para aumentar a confiabilidade e disponibilidade do sistema elétrico. Podem ser aplicados *trips* mono ou tripolares para 2 até 6 terminais. Transformadores e reatores também podem ser inclusos na zona de proteção. As Proteções Numéricas Diferenciais 7SD52 podem ser empregadas em Linhas de Transmissão com qualquer tipo de aterramento, provendo como opcional um esquema completo e não chaveado de proteção de distância como retaguarda. Vários esquemas de teleproteção garantem seletividade máxima e *trips* de alta velocidade.

A Proteção Numérica Diferencial 7SD52 é equipada com um processador de alta performance. Este processa todas as tarefas de forma digital, desde a aquisição dos valores medidos até o envio de comandos para os disjuntores. Estão disponíveis vários protocolos para comunicação com sistemas supervisórios.

A Proteção Numérica Diferencial 7SD52 utilizada nas linhas curtas do sistema de transmissão da CTEEP possuem as seguintes características:

- Utilização: Proteção Principal;
- MLFB Completo: 7SD5225-5AB39-2CJ0;
- Funções de Proteção: 87L; 21/21N; 67N; 50/51N; 50/51; 27/59; 85; 25/79; *Trip* mono/tripolar;
- Interfaces de Comunicação: IEC-61850 com anel de fibra óptica; Interface de comunicação relé-relé para proteção diferencial.

7.0 - AS SIMULAÇÕES REALIZADAS E OS RESULTADOS OBTIDOS

As simulações digitais foram realizadas nos meses de Março e Abril de 2006, nas instalações da SIEMENS AG em Erlangen (Alemanha). Foi utilizado um Simulador Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) para os ensaios e testes realizados em *loop* fechado, com os comandos de *trip*, abertura e fechamento dos disjuntores sendo enviados diretamente ao simulador. Através dos comandos corretos foram realizadas simulações de seqüências de chaveamentos complexos, como por exemplo, religamentos automáticos.

As faltas (curto-circuitos) foram simuladas utilizando valores de resistência que podem variar de valores baixos até muito altos. Devido a impossibilidade da utilização de um valor nulo de resistência de faltas, o valor de 0,04 Ω foi utilizado para a simulação de faltas francas [1]. Os seguintes tipos de faltas internas (linhas de transmissão) e externas (barramentos) foram realizadas:

- Falta Monofásica para Terra (FT);
- Falta Bifásica (2F);
- Falta Bifásica para Terra (2FT);
- Falta Trifásica (3F);
- Falta Trifásica para Terra (3FT);

As análises dos resultados foram realizadas com base nas oscilografias, nas seqüências dos eventos e nos tempos de comando de *trip*/eliminação dos defeitos. Foram realizadas 200 simulações no total, presentes em um relatório específico [8]. Os resultados mais significativos serão apresentados, com faltas internas às linhas de transmissão (Posição da Falta na LT (%): valor percentual do comprimento da linha de transmissão a partir da Fonte Forte em direção à Fonte Fraca, variando em cada LT) e faltas nos barramentos da direita (BAR-DIR) e da esquerda (BAR-ESQ), validando todo o restante do trabalho realizado. A Tabela I apresenta a denominação das proteções numéricas quando da apresentação dos tempos de eliminação dos defeitos.

Tabela I – Denominação das Proteções Numéricas das Subestações de 345 kV e 230 kV

Subestação onde as Proteções Numéricas estão Localizadas Fisicamente	Proteção Numérica de Distância (21/21N)	Proteção Numérica Diferencial (87L)
Subestação Guarulhos 345 kV	GRU 21	GRU 87L
Subestação Anhanguera 345 kV e 230 kV	ANH 21	ANH 87L
Subestação Milton Fornasaro 345 kV	MFO 21	MFO 87L
Subestação Centro 230 kV	CTT 21	CTT 87L
Subestação Edgard de Souza 230 kV	ESO 21	ESO 87L

7.1 Faltas Francas Internas às Linhas de Transmissão

- Condições das simulações: Sem Comunicação (Diferencial e Teleproteção Bloqueadas); Faltas Francas ($R_F = 0,04 \Omega$); Ângulos de Incidência das Faltas (0°).
- Objetivos das simulações: Testar a precisão dos ajustes das Proteções Numéricas de Distância (21/21N) através da aplicação de defeitos no limite de $Z1 +$ ou $5\% / T1$ (0,0 s), observando: Comportamento da Proteção de Distância, Seleção de Fase e Zona de Proteção e Tempo de Comando de *Trip* (em milissegundos) nas zonas $Z1 / T1$ (0,0 s), $Z1b / T1b$ (0,0 s) e $Z2 / T2$ (0,4 s).

Tabela II – Simulações de Faltas Francas Internas às Linhas de Transmissão para testar a Precisão das Proteções Numéricas de Distância

Faltas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator (RTDS™)</i>			Proteção Numérica de Distância (21/21N)	
Linha de Transmissão e Tensão Nominal	Ajuste de Z1 (% da LT)	Falta e Posição (% da LT / F. Forte)	Comando de <i>Trip</i> (em ms)	Comando de <i>Trip</i> (em ms)
GRU – ANH 345 kV	65% da LT	B-C (60%/GRU)	GRU 21 = 30,1 ms	ANH 21 = 15,5 ms
GRU – ANH 345 kV	65% da LT	B-C (70%/GRU)	GRU 21 = 425,4 ms	ANH 21 = 15,9 ms
ANH – MFO 345 kV	55% da LT	A-C-T (50%/ANH)	ANH 21 = 27,1 ms	MFO 21= 27,7 ms
ANH – MFO 345 kV	55% da LT	A-C-T (60%/ANH)	ANH 21 = 80,9 ms	MFO 21= 27,7 ms
CTT – ANH 230 kV	70% da LT	A-T (65%/ANH)	CCT 21 = 27,5 ms	ANH 21 = 16,9 ms
CTT – ANH 230 kV	70% da LT	A-T (75%/ANH)	CCT 21 = 103,2 ms	ANH 21 = 14,5 ms
ANH – ESO 230 kV	69% da LT	A-B-C–T (64%/ESO)	ANH 21 = 30,7 ms	ESO 21 = 18,2 ms
ANH – ESO 230 kV	69% da LT	A-B-C–T (74%/ESO)	ANH 21 = 424,6 ms	ESO 21 = 15,7 ms

7.2 Faltas Francas Externas às Linhas de Transmissão

- Condições das simulações: Sem Comunicação (Diferencial e Teleproteção Bloqueadas); Faltas Francas ($R_F = 0,04 \Omega$); Ângulos de Incidência das Faltas (0°).
- Objetivos das simulações: Testar a estabilidade das Proteções Numéricas de Distância (21/21N) através da aplicação de defeitos nos barramentos da esquerda (63 Hz) e da direita (57 Hz) observando: Comportamento da Proteção de Distância, Seleção de Fase e Zona de Proteção e Tempo de Comando de *Trip* (em milissegundos) na zona $Z2 / T2$ (0,4 s).

Tabela III – Simulações de Faltas Francas Externas às Linhas de Transmissão para testar a Estabilidade das Proteções Numéricas de Distância

Faltas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator (RTDS™)</i>			Proteção Numérica de Distância (21/21N)	
Linha de Transmissão e Tensão Nominal	Ajuste de Z2 (% da LT)	Falta e Posição (% da LT / F. Forte)	Comando de <i>Trip</i> (em ms)	Comando de <i>Trip</i> (em ms)
GRU – ANH 345 kV	125% da LT	B-C (BAR-GRU)	GRU 21 = ----- ms	ANH 21 = 439,3 ms
GRU – ANH 345 kV	125% da LT	B-C (BAR-ANH)	GRU 21 = 438,7 ms	ANH 21 = ----- ms
ANH – MFO 345 kV	229% da LT	A-C-T (BAR-ANH)	ANH 21 = ----- ms	MFO 21= 426,0 ms
ANH – MFO 345 kV	229% da LT	A-C-T (BAR-MFO)	ANH 21 = 422,3 ms	MFO 21= ----- ms
CTT – ANH 230 kV	130% da LT	A-T (BAR-CCT)	CCT 21 = ----- ms	ANH 21 = 440,6 ms
CTT – ANH 230 kV	130% da LT	A-T (BAR-ANH)	CCT 21 = 448,5 ms	ANH 21 = ----- ms
ANH – ESO 230 kV	172% da LT	A-B-C–T (BAR-ANH)	ANH 21 = ----- ms	ESO 21 = 434,1 ms
ANH – ESO 230 kV	172% da LT	A-B-C–T (BAR-ESO)	ANH 21 = 433,9 ms	ESO 21 = ----- ms

7.3 Alcance Resistivo em Falhas de Alta Impedância Internas às Linhas de Transmissão

- Condições das simulações: Falhas de Alta Impedância ($R_F = 10,0 \Omega$, e $30,0 \Omega$);
Ângulos de Incidência das Falhas (0°).
- Objetivos das simulações: Testar o efeito da impedância de falta nas Proteções Numéricas Diferenciais (87L) através da aplicação de defeitos nas extremidades das linhas de transmissão observando: Comportamento da Proteção Diferencial e Tempo de Comando de *Trip* (em milissegundos).

Tabela IV – Simulações de Falhas de Alta Impedância Internas às Linhas de Transmissão para testar o Alcance Resistivo das Proteções Numéricas Diferenciais

Falhas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator (RTDS™)</i>			Proteção Numérica Diferencial (87L)	
Linha de Transmissão e Tensão Nominal	Resistência de Falta (Ω)	Falta e Posição (% da LT / F. Forte)	Comando de <i>Trip</i> (em ms)	Comando de <i>Trip</i> (em ms)
GRU – ANH 345 kV	10,0 Ω	A-T (1,1%/GRU)	GRU 87L = 17,9 ms	ANH 87L = 17,5 ms
GRU – ANH 345 kV	30,0 Ω	A-T (1,1%/GRU)	GRU 87L = 19,6 ms	ANH 87L = 19,8 ms
ANH – MFO 345 kV	10,0 Ω	A-T (1,1%/ANH)	ANH 87L = 15,7 ms	MFO 87L = 15,7 ms
ANH – MFO 345 kV	30,0 Ω	A-T (1,1%/ANH)	ANH 87L = 15,5 ms	MFO 87L = 14,8 ms
CTT – ANH 230 kV	10,0 Ω	A-T (1,1%/ANH)	CCT 87L = 16,3 ms	ANH 87L = 15,7 ms
CTT – ANH 230 kV	30,0 Ω	A-T (1,1%/ANH)	CCT 87L = 15,5 ms	ANH 87L = 15,5 ms
ANH – ESO 230 kV	10,0 Ω	A-T (1,1%/ESO)	ANH 87L = 15,2 ms	ESO 87L = 14,8 ms
ANH – ESO 230 kV	30,0 Ω	A-T (1,1%/ESO)	ANH 87L = 16,6 ms	ESO 87L = 16,0 ms

7.4 Falhas Evolutivas Internas às Linhas de Transmissão

- Condições das simulações: Falhas Monofásicas de Alta Impedância (A-T / 25,0 Ω) evoluem para Falhas Bifásicas Francas (AB / 0,04 Ω) aplicadas na mesma posição nas linhas de transmissão (50% das LTs) após tempo de 33 ms e 166 ms;
Ângulos de Incidência das Falhas (0°).
- Objetivos das simulações: Testar o efeito da ocorrência de falhas evolutivas nas Proteções Numéricas Diferenciais (87L) através da aplicação de falhas evolutivas no meio das linhas de transmissão após tempo de *delay* entre os mesmos, observando: Comportamento da Proteção Diferencial e Tempo de Comando de *Trip* (em milissegundos).

Tabela V – Simulações de Falhas Evolutivas Internas às Linhas de Transmissão para testar o Comportamento e Desempenho das Proteções Numéricas Diferenciais

Falhas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator (RTDS™)</i>		Proteção Numérica Diferencial (87L)	
Linha de Transmissão e Tensão Nominal	Falhas Evolutivas no Meio das LTs (50%) após Tempo de <i>Delay</i> (ms)	Comando de <i>Trip</i> (em ms)	Comando de <i>Trip</i> (em ms)
GRU – ANH 345 kV	A-T (25,0 Ω) + 33 ms = A-B (0,04 Ω)	GRU 87L = 17,9 ms	ANH 87L = 17,5 ms
GRU – ANH 345 kV	A-T (25,0 Ω) + 166 ms = A-B (0,04 Ω)	GRU 87L = 17,4 ms	ANH 87L = 17,4 ms
ANH – MFO 345 kV	A-T (25,0 Ω) + 33 ms = A-B (0,04 Ω)	ANH 87L = 17,3 ms	MFO 87L = 17,1 ms
ANH – MFO 345 kV	A-T (25,0 Ω) + 166 ms = A-B (0,04 Ω)	ANH 87L = 18,6 ms	MFO 87L = 18,1 ms
CTT – ANH 230 kV	A-T (25,0 Ω) + 33 ms = A-B (0,04 Ω)	CCT 87L = 16,8 ms	ANH 87L = 17,7 ms
CTT – ANH 230 kV	A-T (25,0 Ω) + 166 ms = A-B (0,04 Ω)	CCT 87L = 18,5 ms	ANH 87L = 18,1 ms
ANH – ESO 230 kV	A-T (25,0 Ω) + 33 ms = A-B (0,04 Ω)	ANH 87L = 16,9 ms	ESO 87L = 16,5 ms
ANH – ESO 230 kV	A-T (25,0 Ω) + 166 ms = A-B (0,04 Ω)	ANH 87L = 16,2 ms	ESO 87L = 16,1 ms

8.0 - CONCLUSÃO

A utilização da Simulação Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) para avaliar o desempenho das proteções numéricas de distância e diferencial mostrou-se uma ferramenta muito poderosa, possibilitando a simulação de várias situações do sistema elétrico em que as proteções foram instaladas. Através da mesma foi possível certificar os esquemas e ajustes das proteções numéricas de distância e diferencial para a aplicação no sistema de transmissão, garantindo o desempenho necessário para a eliminação dos defeitos no menor tempo possível.

Para todas as simulações realizadas os tempos de comandos de *trip* obtidos pelas proteções numéricas foram satisfatórios, observando-se que os mesmos adicionados aos tempos de abertura dos Disjuntores de Alta Tensão ficaram abaixo dos 100 ms estabelecidos no Submodulo 2.5 do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS [5].

Nos resultados das simulações não foram observadas diferenças significativas nos desempenhos e comportamentos das proteções numéricas de distância e diferenciais nas 04 (quatro) linhas do Sistema de Transmissão da CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista para as mesmas situações simuladas, demonstrando a grande versatilidade das proteções.

Fica recomendada a realização da Simulação Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) para avaliação do desempenho de proteções numéricas a serem utilizadas em empreendimentos da rede básica de transmissão de energia, visando proporcionar maiores confiabilidade e segurança ao Sistema Elétrico Brasileiro.

9.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. L. P. de Oliveira, “Análise do Desempenho da Proteção Numérica de Linhas de Transmissão através da Simulação Digital em Tempo Real”, *Monografia do CEPSE - Curso de Especialização em Proteção dos Sistemas Elétricos – Universidade Federal de Itajubá*, Itajubá-MG, Brasil, 2003.

[2] G. Ziegler, *Numerical Distance Protection – Principles and Applications*, Publicis MCD (Berlin and Munich): Siemens AG, 1999.

[3] G. Ziegler, *Numerical Differential Protection – Principles and Applications*, Publicis MCD (Munich and Erlangen): Siemens AG, 2005.

[4] A. L. P. de Oliveira, P. M. da Silveira, “Analysis of Numeric Distance Relays applied on Series Compensated Transmission Lines using Real Time Digital Simulation”, *15th PSP – International Conference on Power System Protection*, Bled-Slovenia, 2006.

[5] Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, “Submodulo 2.5 - Requisitos Mínimos dos Sistemas de Proteção, Supervisão/Controle e de Telecomunicações – Rev.01”, *Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS*, Brasil, 2002.

[6] SIEMENS AG, “SIPROTEC 4– Distance Protection 7SA6 – Catalog”, Germany, 2003.

[7] SIEMENS AG, “SIPROTEC 4 – Multi–End Differential Protection 7SD52 – Catalog”, Germany, 2003.

[8] V. Henn, “System Planning CTEEP TNA Test”, SIEMENS AG, Erlangen, Germany, 2006.

10.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



André Luiz Pereira de Oliveira nasceu em São José do Rio Preto/SP em 1978. Engenheiro Eletricista pela EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá (Itajubá - MG) desde 2001. Obteve os títulos de Especialista em Proteção de Sistemas Elétricos e Mestre em Ciências (MSc) pela Universidade Federal de Itajubá (Itajubá - MG) em 2003 e 2006 respectivamente. Certificado pelo *Project Management Institute® - PMI®* dos Estados Unidos da América (USA) como *Project Management Professional (PMP®)* em 2004. Trabalha desde 2001 na SIEMENS Ltda. na área PTD H (*Power Transmission and Distribution – High Voltage*) como *Project Manager (PM)*. É responsável pelo fornecimento “*turn-key*” de Subestações de Alta Tensão e Sistemas de Compensação de Reativos gerenciando contratos com empresas industriais e concessionárias

do setor elétrico.