

**XII SEPOPE**  
20 a 23 de Maio 2012  
May – 20<sup>th</sup> to 23<sup>rd</sup> – 2012  
RIO DE JANEIRO (RJ) -  
BRASIL

**XII SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA  
OPERAÇÃO E EXPANSÃO ELÉTRICA**

**XII SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL  
AND EXPANSION PLANNING**

## **Simulador de Redes de Distribuição Ativas com Modelagem Monofásica/Trifásica**

**G. N. TARANTO<sup>1\*</sup>, J. M. T. MARINHO<sup>1</sup>, D. M. FALCÃO<sup>1</sup>, T. M. L. ASSIS<sup>1</sup>,  
S. L. ESCALANTE<sup>1</sup>, J. I. R. RODRIGUEZ<sup>1</sup>, C. E. V. PONTES<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>COPPE/UFRJ**

**<sup>2</sup>Light S.E.S.A.**

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta as características de um simulador de redes de distribuição com geração distribuída (GD), chamado Simulight. O simulador é fruto de uma sequência de projetos P&D Aneel desenvolvidos com a concessionária de distribuição Light S.E.S.A.

Este artigo apresenta também de forma mais detalhada os resultados de simulação de uma modelagem inovadora que foi implementada no Simulight. A nova modelagem híbrida monofásica/trifásica, chamada de modelagem MonoTri, possibilita que apenas parte da rede elétrica em análise seja modelada com representação trifásica, estando o restante da rede com representação em sequência positiva (ou monofásica equivalente). No SEPOPE anterior essa mesma modelagem foi apresentada para um problema de fluxo de potência. Esse artigo aplica a modelagem MonoTri no problema de simulação no tempo para estudos de estabilidade eletromecânica em redes de distribuição desbalanceadas.

A avaliação do impacto da GD nos sistemas de distribuição e sub-transmissão está cada vez mais importante, visto que além de estarmos testemunhando o aumento da penetração da GD, também notamos um incentivo por parte do governo para que o percentual de GD aumente na matriz energética do Brasil. Para que os estudos do impacto da GD tenham uma validade e um alcance maior, é necessário que os programas de análise se especializem para esse novo cenário. O artigo apresenta algumas características que passam a ser importantes nesses programas computacionais.

### **KEYWORDS**

Geração Distribuída, Modelagem Híbrida Monofásica/Trifásica, Sistema de Distribuição, Simulação trifásica, Fluxo de Potência Trifásico.

\* COPPE/UFRJ – Centro de Tecnologia, Sala H-343, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ

## 1. Introdução

Com a tendência mundial da busca de soluções para o problema de escassez de energia somada ao processo de desregulamentação do setor elétrico com pesados incentivos à adição de produtores independentes, a geração distribuída (GD) vem ganhando destaque no cenário energético. As tecnologias aplicadas em GD compreendem pequenas centrais hidrelétricas (PCH), pequenas turbinas a gás, células a combustível, geradores eólicos, energia solar, entre outras. Quando instalada ao sistema de distribuição, a GD pode fornecer benefícios tanto para os consumidores como para as empresas fornecedoras, especialmente em locais onde a geração central é impraticável ou existe deficiência do sistema de transporte de energia.

O comportamento dos sistemas elétricos com alto grau de penetração de GD pode apresentar modificações significativas. Os estudos de planejamento e operação das redes elétricas devem considerar a presença da geração distribuída, garantindo a confiabilidade e a segurança dos sistemas. Neste contexto, o desenvolvimento de ferramentas de análise de sistemas elétricos capazes de estudar os diferentes tipos de fenômenos, contemplando a presença de geração distribuída é fundamental.

Este artigo apresenta uma modelagem inovadora que foi implementada num simulador de redes de distribuição com a presença de geração distribuída (GD). A nova modelagem híbrida monofásica/trifásica, a qual passaremos a nos referir como MonoTri, possibilita que apenas parte da rede elétrica em análise seja modelada com representação trifásica, estando o restante da rede com representação em sequência positiva (ou monofásica equivalente). No SEPOPE anterior essa mesma modelagem foi apresentada para um problema de fluxo de potência [1]. Esse artigo aplica a modelagem MonoTri no problema de simulação no tempo para estudos de estabilidade eletromecânica em redes de distribuição desbalanceadas [2-3].

A avaliação do impacto da GD nos sistemas de distribuição e sub-transmissão está cada vez mais importante, visto que além de estarmos testemunhando o aumento da penetração da GD, também notamos um incentivo por parte do governo para que o percentual de GD aumente na matriz energética do Brasil. Para que os estudos do impacto da GD tenham uma validade maior, é necessário que os programas de análise se especializem para esse novo cenário. Este trabalho apresenta as características de um simulador de redes de distribuição com geração distribuída (GD), chamado Simulight. O simulador é fruto de uma sequência de projetos P&D Aneel desenvolvidos com a concessionária de distribuição Light S.E.S.A. [4-6].

Destaca-se como uma característica importante a possibilidade de simulação simultânea de múltiplas ilhas elétricas no decorrer de um estudo de estabilidade eletromecânica. Essa característica é motivada pela possibilidade de formação das chamadas microrredes que podem operar de forma isolada do sistema principal, e se reconectar ao mesmo de forma automática. Para isso é necessário, por exemplo, que o relé de verificação de sincronismo seja modelado (Relé 25). Outro aspecto importante nos estudos de GD é a avaliação dos esforços torcionais nos eixos dos pequenos geradores síncronos. Essa avaliação deve ser feita de forma eficaz nos estudos de reconexão das microrredes.

## 2. Características do Simulight

No programa Simulight um considerável esforço de desenvolvimento foi investido no sentido de oferecer ao usuário uma ferramenta de fácil manipulação em que toda estrutura topológica da rede elétrica fosse acessada de forma simples e direta, sendo todo o gerenciamento dos dados e ferramentas feito diretamente na interface gráfica, sem a utilização de programas ou módulos adicionais [7].

O Simulight tem uma interface com o sistema computacional cooperativo da Light S.E.S.A. (chamado SGD), possibilitando, por exemplo, que parâmetros elétricos de alimentadores que estejam no banco de dados da empresa possam ser transferidos, via arquivo, para a base de dados do Simulight. Dessa forma, a montagem de casos que envolvam simultaneamente as redes de transmissão, subtransmissão e distribuição, é feita em muito menos tempo e livre de erros de digitação.

Outra característica importante e eficaz do Simulight é a estrutura modular de sua programação. Os aplicativos de fluxo de potência (análise estática) e estabilidade transitória (análise dinâmica) foram

projetados para operar de maneira integrada, compartilhando uma única base de dados, o que facilita gerenciá-los através de uma única interface gráfica. Essa característica também é responsável pelo ganho de produtividade de seus usuários e pela melhoria na qualidade de resultados obtidos. Outra funcionalidade atraente do Simulight que provém de sua estrutura modular é a criação de novos modelos de equipamentos definidos pelo usuário.

O Simulight é capaz de simular diversas ilhas elétricas que surjam ou desapareçam ao longo de uma simulação no tempo, devido à atuação da proteção. Essa característica além de ser fundamental nos estudos de GD, é também inovadora.

A modelagem dos relés de proteção é feita no Simulight. A proteção pode ser representada no modo Monitoração ou no modo Ativo. Como o próprio nome sugere no modo Monitoração os relés apenas observam o sistema e criam um *log* de saída dos eventos. Já no modo Ativo, os relés atuam abrindo e fechando disjuntores. Os seguintes relés se encontram modelados no Simulight: 25, 27, 32, 50/51, 59, 59g, 67, 810/U e 21.

O Simulight conta com uma interface gráfica, padrão Windows, que contém diversas funcionalidades. Através da interface gráfica, o usuário pode manipular dados topológicos, simular eventos na rede, visualizar resultados, entre outros. Assim, não é necessária a manipulação de arquivos para realizar estudos e montar novos casos de análise com o programa.

### 3. Modelagem Híbrida Monofásica/Trifásica

A formulação matemática do problema de fluxo de potência trifásico utilizado para inicializar o problema de simulação dinâmica trifásico foi apresentada em [1-3]. A formulação matemática do problema de simulação dinâmica trifásica em nada difere da formulação convencional de sequência positiva. No entanto, modelos trifásicos para os dispositivos dinâmicos, e em especial a sua interface com a rede elétrica na representação em componentes de fase, ainda não estão consolidados na literatura. Neste artigo, foram implementados os modelos desenvolvidos em [3]. Por exemplo, a Figura 1 apresenta o modelo de gerador síncrono trifásico que é utilizado no programa desenvolvido. A região demarcada pela linha tracejada representa o gerador síncrono onde se pode observar a equação eletromecânica do balanço dos torques e a representação por equivalente Norton com as injeções de corrente em componentes de fase.

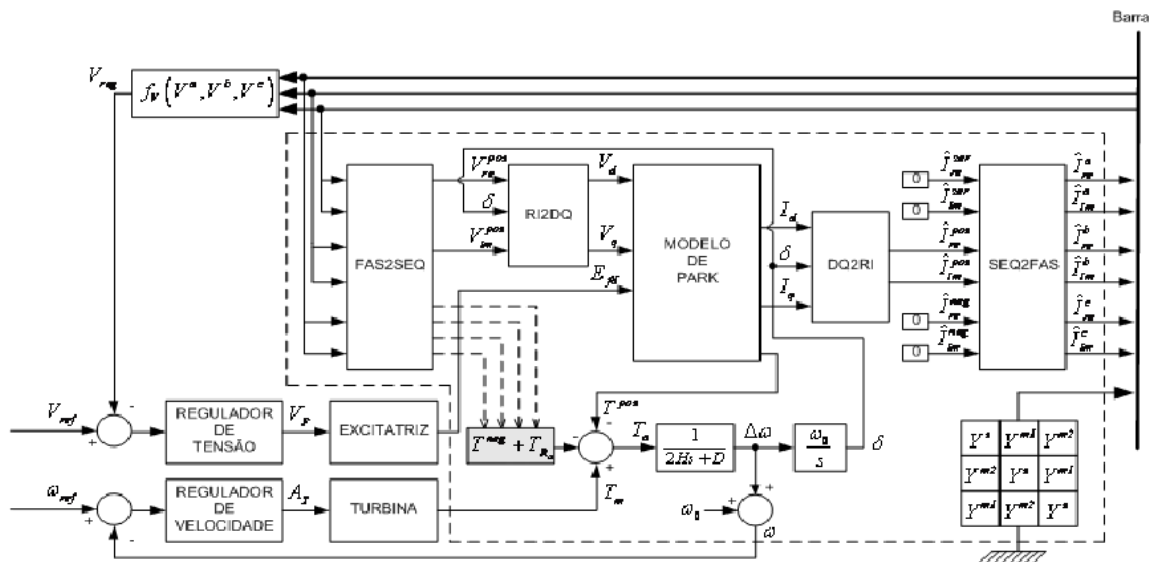


Figura 1 – Modelo Dinâmico para o Gerador Síncrono Trifásico [3]

A modelagem MonoTri de um sistema elétrico é adequada na seguinte situação:

- 1) Existe apenas uma base de dados em componentes de sequência positiva do sistema de geração, transmissão e subtransmissão;
- 2) Deseja-se analisar o sistema de distribuição com a presença de GD e com desbalanço entre fases. Portanto, deve existir uma base de dados trifásicos na rede de distribuição ativa.

A modelagem MonoTri passa a ser conveniente pois basta agregar as duas bases em uma única base de dados, mantendo-se a modelagem “monofásica” nos sistemas de geração, transmissão e subtransmissão, e modelando o sistema de distribuição, inclusive a GD, de forma trifásica.

Os elementos de fronteira entre os sistemas monofásicos e trifásicos passam a ser elementos chave na modelagem MonoTri. Detalhes da modelagem dos elementos de fronteira podem ser obtidos em [3].

#### 4. Resultados de Simulação

Para as simulações dinâmicas foi utilizado um sistema teste bastante conhecido na literatura e mostrado na Figura 2.

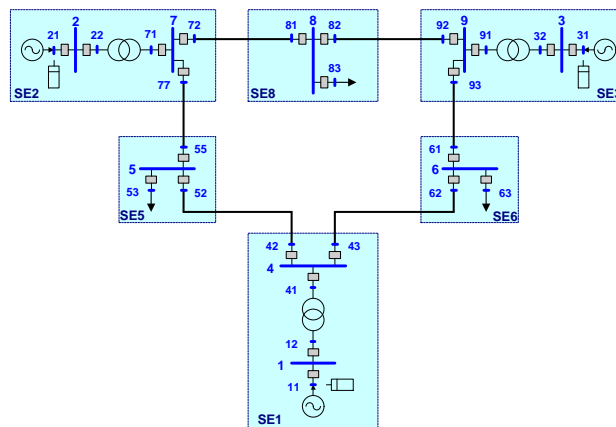


Figura 2 – Sistema Teste de 9 barras (Sistema WSCC [8])

##### Curto-Circuito com representação Monofásica

Primeiramente será aplicado um curto-circuito na linha de transmissão ligando as Barras 7 e 5 (Figura 3), em  $t = 100$  ms com abertura da linha e extinção do curto circuito em  $t = 200$  ms. O fechamento dos disjuntores para reposição da linha ocorre em  $t = 1,2$  s. Neste caso de análise convencional por representação monofásica (sequencia positiva), é possível estimar o efeito de um curto-circuito fase-terra com a aplicação do defeito através de uma impedância equivalente a ser inserida no ponto de curto. Neste exemplo, um valor de 10000 pu foi utilizado para a admitância equivalente de curto-circuito (Figura 4), o que corresponde aproximadamente a um curto-circuito trifásico sólido. Além disto, na modelagem de sequência positiva a abertura da linha por meio de seus disjuntores terminais equivale a uma abertura total das três fases.

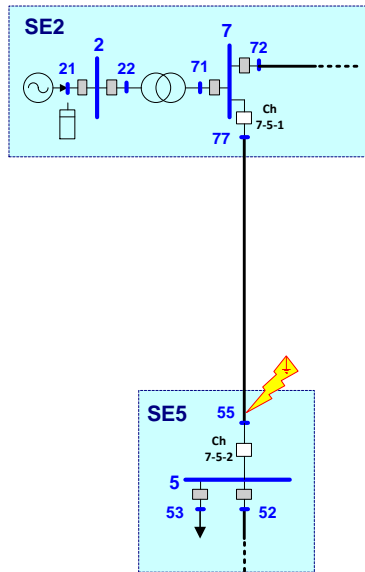


Figura 3 – Curto-circuito Trifásico em Linha de Transmissão

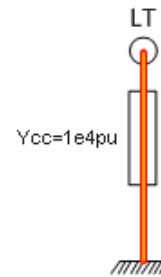


Figura 4 – Representação do evento de curto-circuito.

A Figura 5 mostra as tensões nas Barras 1, 2 e 5, e a Figura 6 mostra as velocidades dos rotores dos Geradores 1, 2 e 3 em valores por unidade.

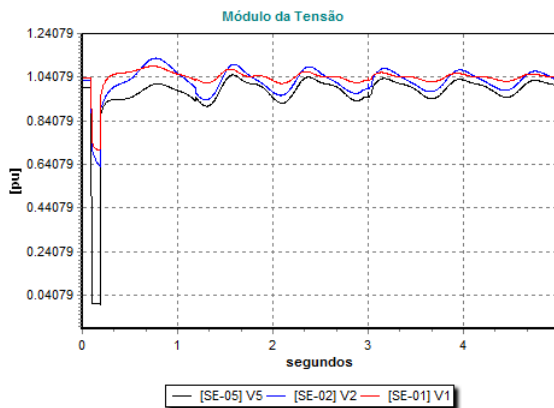


Figura 5 – Módulo da tensão em pu.

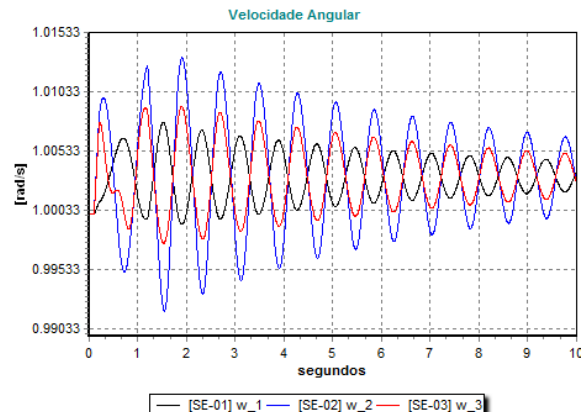


Figura 6 – Velocidade angular nos geradores em pu.

### Curto-Circuito com representação Trifásica

A mesma sequência de eventos será aplicada, isto é, curto-circuito no terminal da linha de transmissão em  $t = 100$  ms, abertura da linha em  $t = 200$  ms e extinção do curto-circuito, seguida do fechamento dos disjuntores para repor a linha, em  $t = 1,2$  s. Com a modelagem trifásica, não é necessário inserir impedâncias equivalentes no ponto de defeito para representar o tipo de curto-circuito. Somente as impedâncias reais do defeito (curto-circuito sólido ou com arco elétrico) precisam ser definidas. Além disto, é possível realizar desligamentos por fase na linha de transmissão. Assim, será aplicado agora um curto-circuito fase-terra na Fase “a”, e o desligamento da linha de transmissão será monopolar, isto é, somente a Fase “a” será desligada nos dois terminais da linha (nós 77a e 55a na Figura 7). A Figura 8 ilustra a configuração de impedâncias de defeito para um curto-circuito sólido ( $Z_{cca} = Z_{ccg} = 0$ ) da Fase “a” para a terra.

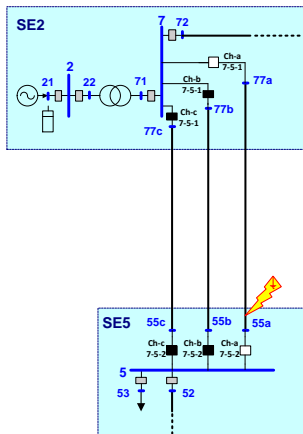


Figura 7 – Representação do evento de curto circuito trifásico.

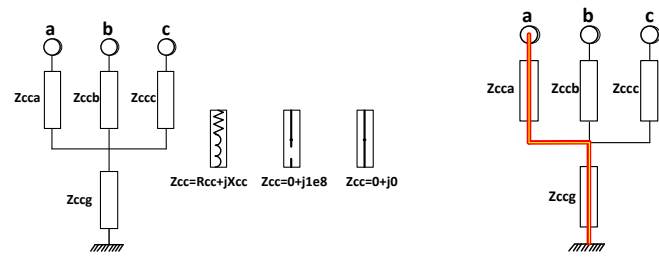


Figura 8 – Modelo trifásico do curto-circuito.

A sequência de gráficos mostrados nas Figuras 9 a 14 são os resultados da simulação dinâmica do curto-circuito monofásico na Fase “a” para terra, com o sistema na representação trifásica. A Figura 9 mostra o módulo das tensões na Fase “a” das Barras 2, 5 e 7. Conforme esperado, a tensão na Fase “a” da Barra 5 vai a zero durante o curto monofásico (curva em azul).

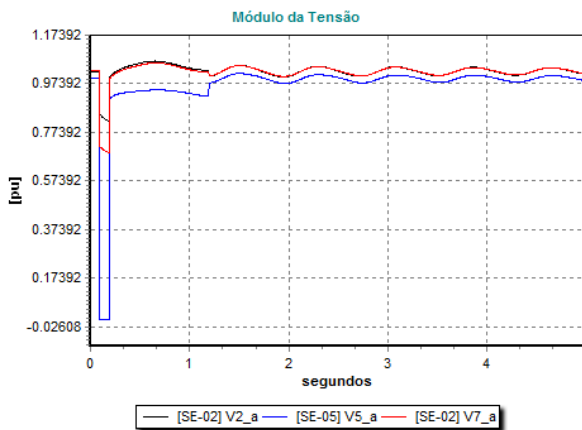


Figura 9 – Módulo da tensão na fase “a” das Barras 2, 5 e 7

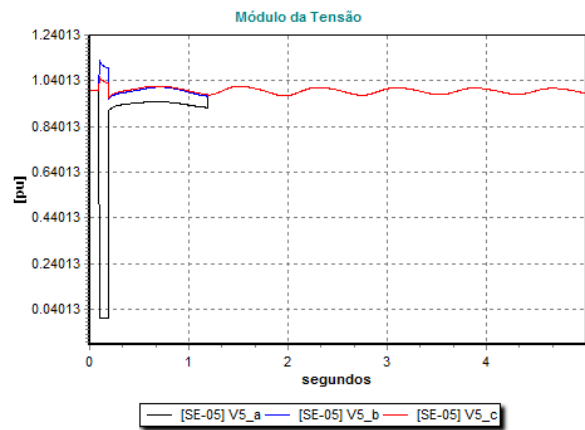


Figura 10 – Módulo da Tensão nas três fases da Barra 5.

A Figura 10 mostra os módulos das tensões nas três fases da Barra 5. Nota-se também como esperado, que para o curto-circuito monofásico na Fase “a”, as tensões nas fases sãs se elevam durante o curto-circuito. Apesar de a modelagem trifásica ser feita em componentes de fase, com uma simples transformação matemática é possível calcular as variáveis do sistema em componentes de sequência. A Figura 11 mostra as componentes de sequência positiva, negativa e zero do módulo da tensão na Barra 5.

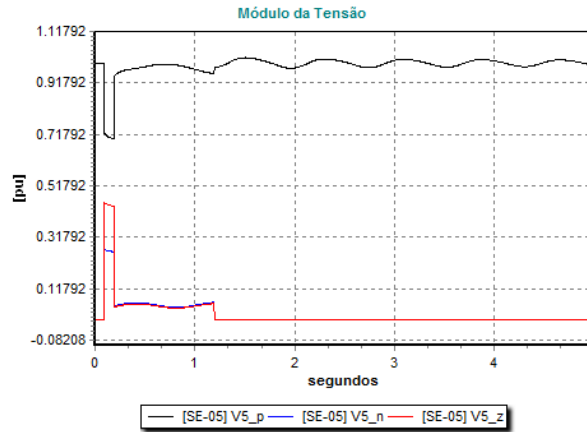


Figura 11 – Componentes de sequência positiva, negativa e zero do módulo da tensão na Barra 5

A seguir, as Figuras 12 e 13 mostram a tensão de acoplamento que surge na Fase “a” da linha de transmissão durante o intervalo de tempo do desligamento monopolar (de 0,2 s a 1,2 s), com valor em torno de 0,2 pu. Esta tensão é devida ao acoplamento capacitivo e indutivo que ainda existe entre a Fase “a”, desligada em ambos os terminais da linha, e as Fases “b” e “c” que permanecem energizadas.

Nessa simulação tanto a rede (assume-se transposição das linhas de transmissão) quanto as cargas estão balanceadas. O único desbalanço do sistema é proveniente do curto-circuito monofásico. Por isso, quando o sistema é restabelecido em 1,2 s, os módulos das três fases se coincidem numa única curva, conforme visto nas Figuras 12 e 13.

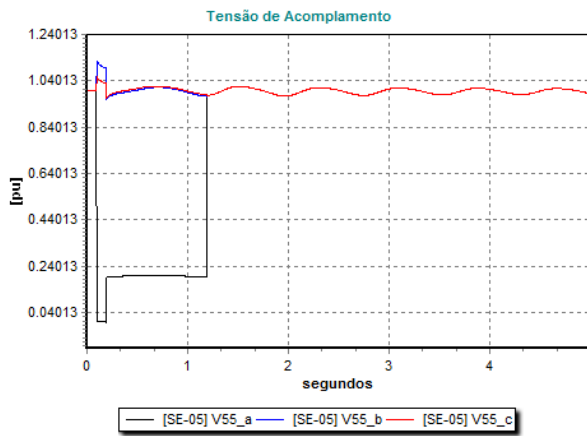


Figura 12 – Módulo da tensão nas três fases do nó 55 (conforme Figura 7)

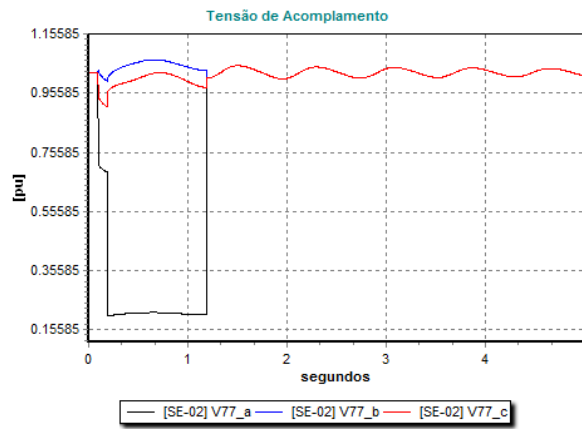


Figura 13 – Módulo da tensão nas três fases do nó 77 (conforme Figura 7)

A Figura 14 mostra o torque de sequência negativa desenvolvido nos Geradores 1, 2 e 3 durante o defeito desbalanceado. O valor é mais elevado durante o curto-circuito, e maior no gerador mais próximo eletricamente da barra sob defeito (Gerador 1) e menor no gerador mais afastado eletricamente do defeito (Gerador 3).

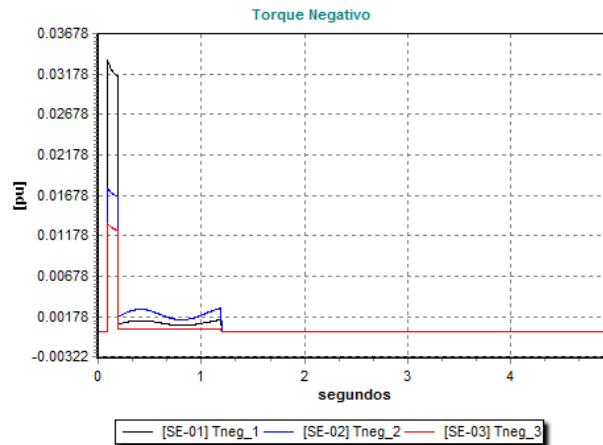


Figura 14 – Torque de sequência negativa dos geradores.

#### 4.1. Modelagem da Proteção

A representação dos sistemas de proteção automáticos do sistema elétrico e dos geradores deve ser feita em detalhes, a fim de se obter uma simulação mais realista e confiável. A implementação dos relés de proteção no programa Simulight foi orientada pelo relatório [9]. Quando se aplica modelagem trifásica, correntes e tensões por fase ou sequência estão disponíveis para os relés de proteção. Em [9], são definidas as funções mínimas de proteção para um gerador conectado à rede de distribuição da Light, e já implementados no programa.

*Função 50/51 – Sobrecorrente instantânea e temporizada.*

*Função 67 – Sobrecorrente direcional de fases.*

*Função 59g – Proteção para sobretensão residual, temporizada.*

*Função 27 – Proteção para subtensão de fases, temporizada.*

*Função 59 – Proteção para sobretensão de fases, temporizada.*

*Função 32 – Reversão de potência de fases, temporizada.*

*Função 81 O/U – Proteção para sobre e subfrequência.*

*Função 25 – Proteção de verificação de sincronismo.*

*Função 21 – Proteção de distância.*

A proteção pode ser representada no modo Monitoração ou no modo Ativo. Como o próprio nome sugere, no modo Monitoração, os relés apenas observam o sistema e criam um *log* de saída dos eventos informando uma eventual sensibilização. Já no modo Ativo, os relés atuam efetivamente abrindo ou fechando disjuntores.

##### 4.1.1. Proteção de Neutro dos Geradores Distribuídos

Conforme especificado em [9] uma das funções de proteção exigidas pela Light aos acessantes diz respeito às proteções de neutro da GD. A modelagem dos relés de neutro só é possível na representação trifásica do sistema e do gerador.

Será ilustrada a modelagem e operação dos relés de proteção de neutro de geradores. Para isto, um resistor de neutro no valor de 50 pu foi inserido no neutro do Gerador 1 do sistema teste mostrado na Figura 2. Além disto, relés 51g (sobrecorrente de neutro) e 59g (sobretensão de neutro) foram instalados no neutro deste gerador.

O relé 51g é um relé de corrente de tempo inverso com *pickup* ajustado em 0,005 pu de corrente (na base do Gerador 1) e constante de tempo de 50 ms. O relé 59g é um relé de tensão de tempo definido, com *pickup* ajustado em 0,5 pu de tensão e tempo de operação de 80 ms. Os relés foram configurados somente para monitoração, ou seja, não irão desligar o disjuntor “DJ-G-01” em caso de atuação.

A mesma sequência de eventos já descritos anteriormente será aplicada, isto é, curto-circuito fase-terra na Fase “a” da linha de transmissão com desligamento monopolar e posterior religamento. As Figuras



15 e 16 mostram as curvas de corrente de neutro  $I_{ntr}$  e tensão de neutro  $V_{ntr}$  do Gerador 1, respectivamente.

O curto-circuito fase-terra foi aplicado em  $t = 100$  ms, e no passo de integração seguinte ( $t = 105$  ms), os relés 51g e 59g foram sensibilizados, indicando que corrente e tensão no neutro do Gerador 1 atingiram o valor de *pickup* ajustado. Em  $t = 150$  ms, o relé de sobrecorrente temporizado 51g atingiu a condição de atuação, enquanto que o relé de sobretensão de tempo definido 59g atingiu somente em  $t = 180$  ms, valores coerentes com seus ajustes de curva de tempo inverso e tempo definido, respectivamente.

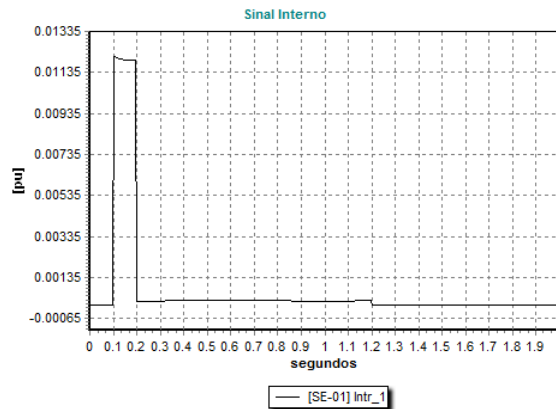


Figura 15 – Corrente de neutro do Gerador 1

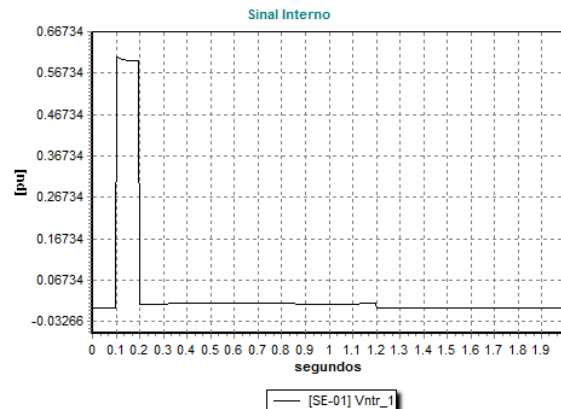


Figura 16 – Tensão de neutro do Gerador 1

Para demonstrar a ação de *reset* dos relés de tempo definido, a simulação foi repetida, com o relé 59g tendo seu ajuste de *pickup* aumentado de 0,5 pu para 0,6 pu. No gráfico mostrado na Figura 17, com ampliação no instante de defeito, pode ser observado que a tensão de neutro do Gerador 1 ultrapassa o valor de *pickup*. No entanto, devido ao decaimento subtransitório da corrente de curto-circuito dos geradores, a tensão de neutro cai a valores abaixo de 0,6 pu antes do tempo definido para a atuação, que é de 80 ms. O relé 59g foi sensibilizado em 105 ms, mas não atingiu condição de atuação em 180 ms, isto é, sofreu um *reset* com decaimento da tensão.

Essa última simulação mostra a maior precisão de análise nos estudos de curto-circuito quando se leva em consideração a representação dinâmica dos geradores e suas malhas de regulação. Em um estudo de curto-circuito convencional onde não se representa a dinâmica das máquinas, esse último resultado obtido induziria a uma conclusão errônea de que o relé 59g atuaria eliminando o defeito. O aumento do valor da impedância operacional, capturado na modelagem dinâmica da máquina síncrona, impede naturalmente a operação do relé 59g nesse exemplo estudado.

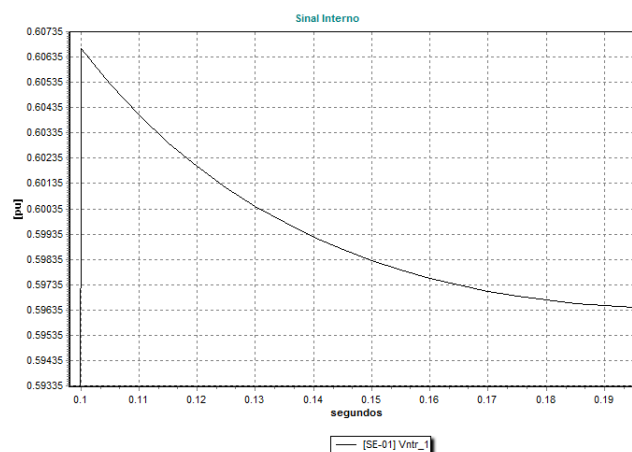


Figura 17 – Tensão de neutro do gerador G-01 (ampliação)

## 4.2. Exploração da Interface MonoTri

Esta seção apresenta resultados de simulação com exploração da interface MonoTri descrita na Seção 3. Ou seja, parte da rede é modelada da forma convencional utilizando apenas a sequência positiva e, outra parte tem modelagem trifásica. A Figura 18 mostra o diagrama do sistema simulado, onde estão destacadas a rede com modelagem monofásica (sequência positiva), a rede com modelagem trifásica e o elemento de interface MonoTri. Neste caso, o elemento de interface MonoTri é o transformador que liga a Barra 6 à Barra 10, cuja conexão é delta-estrela aterrada e seu modelo é trifásico.

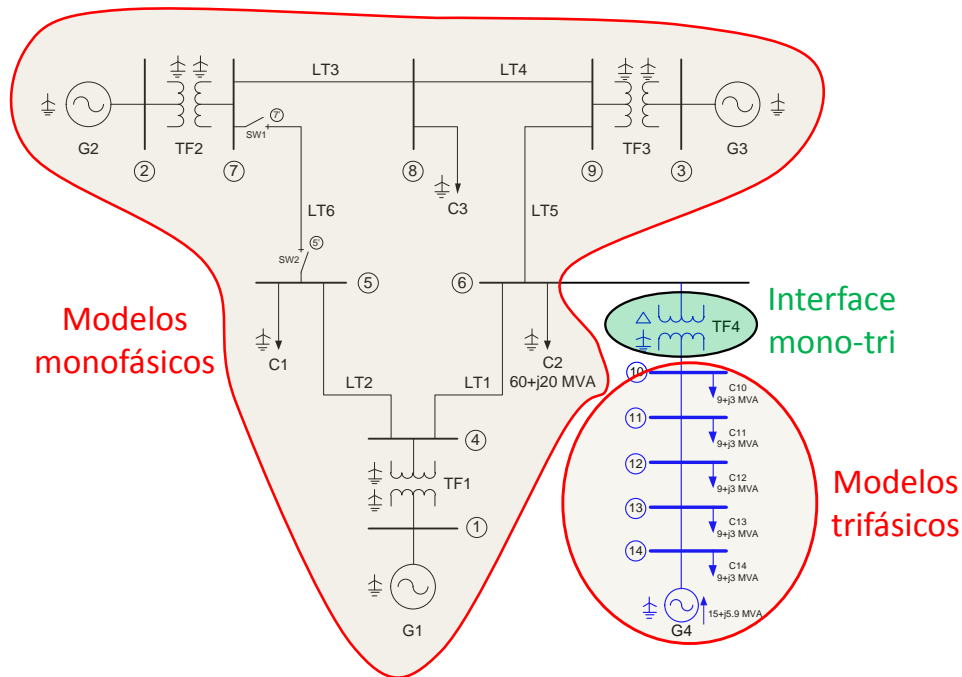


Figura 18 – Sistema com a interface MonoTri

A parte da rede com modelagem trifásica representa, por exemplo, um alimentador de distribuição com a presença de um gerador síncrono. A parte do sistema com modelagem convencional (monofásica) representa, por exemplo, o sistema de transmissão de extra-alta tensão. Por definição, o sistema com representação monofásica é perfeitamente equilibrado. Por outro lado, a parte da rede com modelagem trifásica pode conter desbalanços de carga ou desbalanços na própria rede. Além disso, este tipo de modelagem permite a simulação de defeitos desbalanceados, como um curto-circuito fase-terra.

### 4.2.1. Análise Estática

A Figura 19 mostra o relatório do Simulight com o resultado do fluxo de potência. São apresentadas apenas as barras da subestação SE-06, onde a Barra 6 tem modelagem monofásica e as demais, tem modelagem trifásica. Para cada barra com representação trifásica, são apresentados os valores de sequência positiva e ainda os valores das fases a, b e c. Note-se que, como o sistema está equilibrado, os ângulos das tensões de fase em todas as barras com modelagem trifásica estão defasados de  $120^\circ$  entre si.

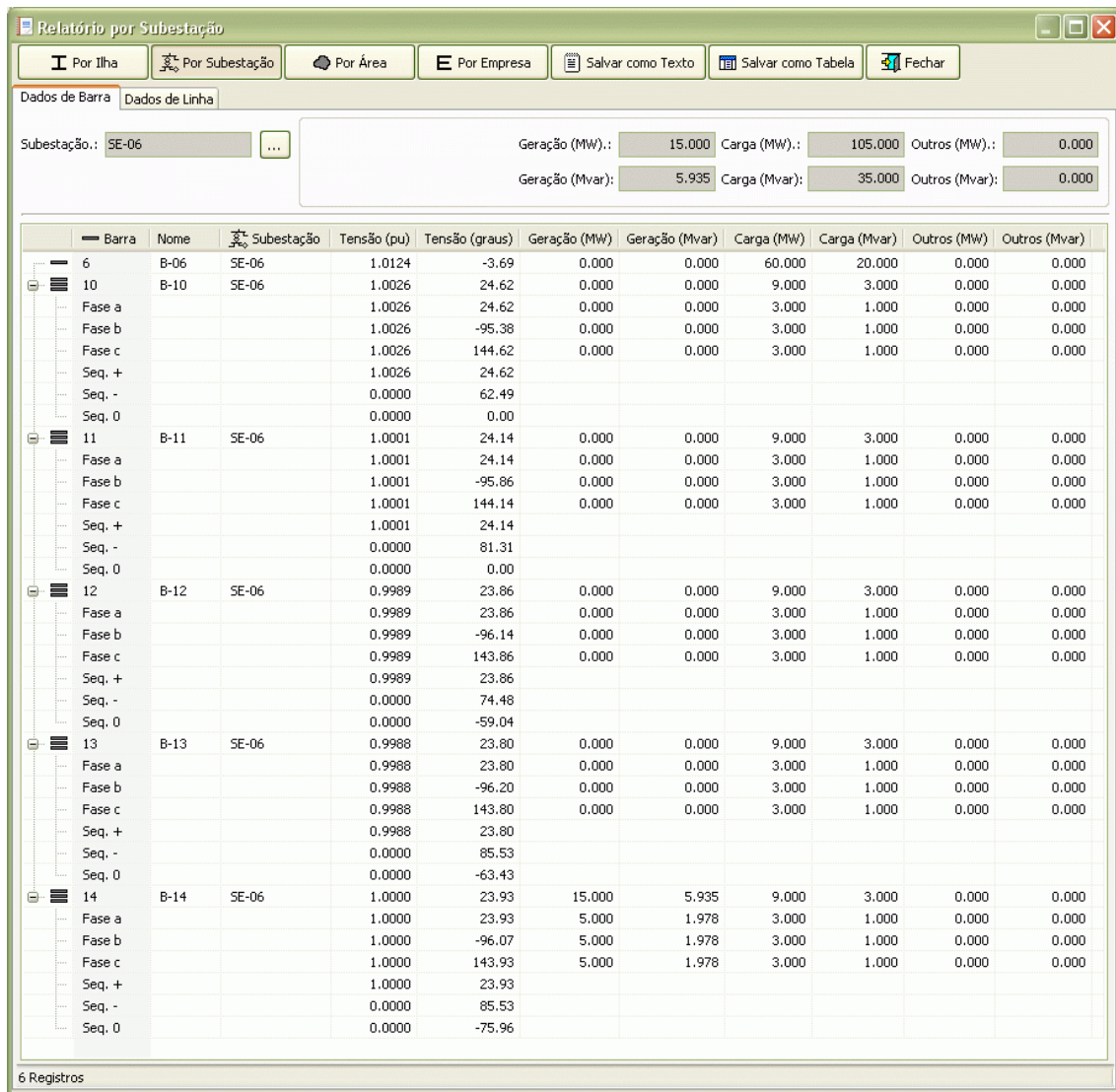
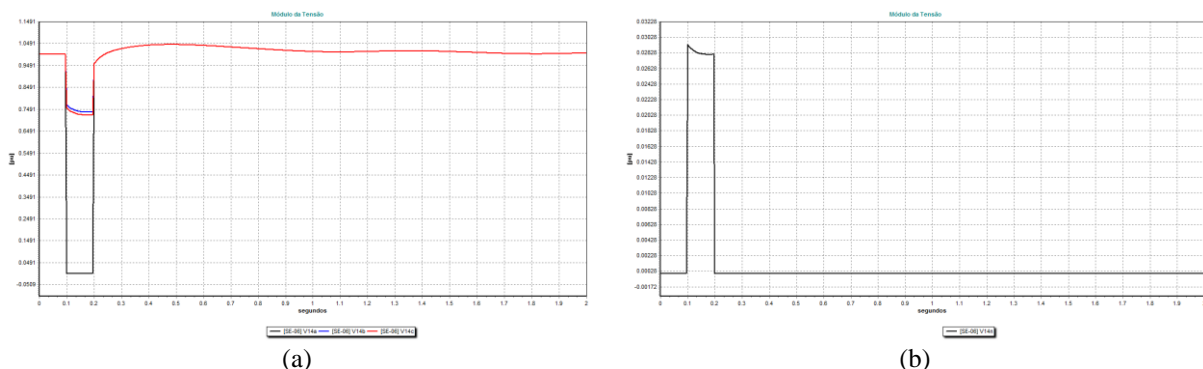


Figura 19 – Relatório de fluxo de potência com modelagem MonoTri

#### 4.2.2. Análise Dinâmica

Para demonstrar a funcionalidade da análise dinâmica em sistemas com interface MonoTri, foi simulado um curto-circuito franco na fase “a” da Barra 14. O curto tem duração de 100ms.

A Figura 20 mostra as tensões nas três fases (a) e a tensão de neutro (b) da Barra 14. No momento de aplicação do defeito, a tensão da fase “a” vai a zero. O defeito assimétrico acarreta no deslocamento da tensão de neutro, que atinge 2,8% durante o curto-circuito.



(a) Tensões na Barra 14: fases a,b,c

(b) Tensão de neutro na Barra 14

O gráfico da Figura 21 apresenta os desvios das velocidades angulares dos geradores do sistema em valores por unidade. A velocidade do Gerador 1 é usada como referência. O resultado indica que o sistema é estável para o defeito aplicado, embora pouco amortecido.

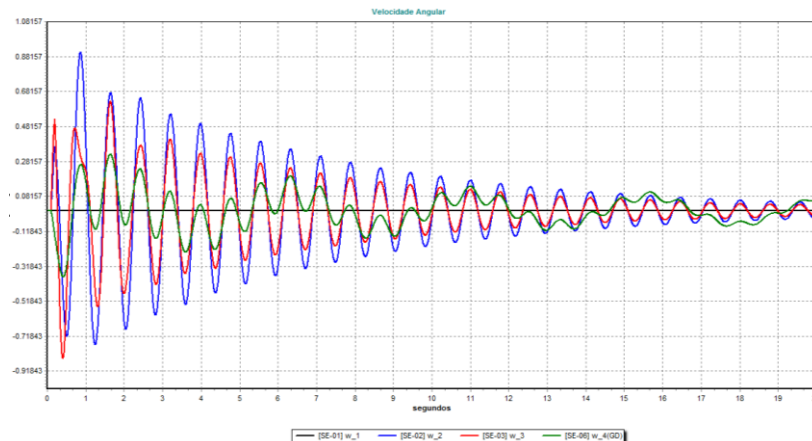


Figura 21 – Velocidade angular dos geradores do sistema

## 5. Conclusões

Este artigo apresentou uma característica inovadora na modelagem de um simulador de redes de energia elétrica com geração distribuída. A representação híbrida denominada MonoTri, permite que uma parte do sistema elétrico seja representada por modelos monofásicos e uma outra parte por modelos trifásicos. Essa característica se mostra conveniente nas análises de fluxo de potência e estabilidade transitória em que se têm os dados de um grande sistema somente em componentes de sequência positiva, como o do SIN por exemplo, e se deseja conectar um alimentador ativo (com GD) da rede de distribuição com representação trifásica.

A capacidade de representação trifásica da rede e dos dispositivos faz do Simulight uma ferramenta adequada para avaliação das futuras Redes Inteligentes, do inglês, *Smart Grids* [10].

## BIBLIOGRAPHY

- [1] J. M. T. Marinho & G. N. Taranto, “Uma Formulação Híbrida Trifásica x Monofásica para o Fluxo de Potência”, *Anais do XI SEPOPE*, Belém, PA, Março 2009.
- [2] J. M. T. Marinho & G. N. Taranto, “A Hybrid Three-Phase Single-Phase Power Flow Formulation,” *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 23, No. 3, August 2008.
- [3] J. M. T. Marinho, “Simulação em Sistemas de Energia Elétrica com Modelagem Flexível – Monofásica e Trifásica,” *Tese de Doutorado*, COPPE/UFRJ, Março 2008.
- [4] G. N. Taranto, A. Manzoni, D. M. Falcão & T. M. L. Assis, “Simulador para Análise das Dinâmicas de Curto e Longo Prazo em Redes de Subtransmissão e Distribuição com Geração Distribuída,” *Relatório Final Projeto P&D ANEEL, LIGHT S.E.S.A.*, Setembro, 2004.
- [5] G. N. Taranto, A. Manzoni, D. M. Falcão, J. I. R. Rodriguez, S. L. Escalante & T. M. L. Assis, “Desempenho Dinâmico da Geração Distribuída Frente a Perturbações no SIN e de Manobras na Rede de Distribuição,” *Relatório Final Projeto P&D ANEEL, LIGHT S.E.S.A.*, Dezembro 2008.
- [6] G. N. Taranto, D. M. Falcão, J. M. T. Marinho, T. M. L. Assis, J. I. R. Rodriguez & S. L. Escalante, “Pesquisa e Implementação de Simulação Dinâmica Trifásica nas Redes de Distribuição com Geração Distribuída”, *Relatório Final Projeto P&D ANEEL, LIGHT S.E.S.A.*, Março 2011.
- [7] A. Manzoni, “Desenvolvimento de um Sistema Computacional Orientado a Objetos para Simulação Rápida e Análise da Estabilidade de Tensão em Sistemas Elétricos de Potência,” *Tese de Doutorado*, COPPE/UFRJ, Março 2005.
- [8] P. M. Anderson & A. A. Fouad, “*Power System Stability and Control*”, The Iowa State University Press, First Edition, 1977.
- [9] LIGHT S.E.S.A, “Requisitos Mínimos para Autoprodutor com Previsão de Instalação de Medidor de Qualidade,” *Informação Técnica DTQ – 01* (Revisão 4), Novembro de 2004.
- [10] D. M. Falcão, “Smart Grids e Microrredes: o Futuro já é Presente”, *Anais do VIII SIMPASE*, IT.44, Rio de Janeiro, RJ, Agosto 2009.