



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

GPT 28
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – GPT

SISTEMA INTELIGENTE PARA AJUSTE DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Eduardo Moreti Campitelli * Rodrigo A. F. Pereira Luis Gustavo W. da Silva José Roberto S. Mantovani

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – Campus de Ilha Solteira

RESUMO

Devido a alta competitividade do mercado de energia junto com a redução dos custos de novas tecnologias que disponibilizam no mercado geradores de energia elétrica de diferentes modelos de variadas capacidades, a custos competitivos, atualmente há uma tendência de utilização de novas fontes para geração de energia elétrica. Neste sentido, de acordo com análises técnicas e econômicas, a inserção de tais geradores pode ser adequada não somente ao longo de redes de transmissão, mas também nas redes de média e baixa tensão.

No entanto, estes geradores distribuídos (GDs) podem fazer com que partes do alimentador percam a radialidade. Isto possui influência direta na coordenação dos dispositivos de proteção instalados ao longo do alimentador, porque a alocação de GD na rede de distribuição acarreta em alterações no perfil de tensão e níveis de curto-circuito, estabilidade do sistema, e pode resultar em ilhamento de algumas áreas da rede.

Neste trabalho é proposto e implementado um algoritmo computacional que permite a realização de projetos para alocar de forma integrada e otimizada geradores distribuídos e dispositivos de proteção em sistemas aéreos de distribuição. No desenvolvimento do algoritmo considera-se de forma totalmente integrada os aspectos técnicos e econômicos da alocação, realocação, especificação e coordenação dos dispositivos de proteção em redes aéreas de distribuição com GDs. Para avaliação da eficiência do sistema computacional desenvolvido, são apresentados resultados de testes efetuados em um alimentador de distribuição de um sistema real, com 134 barras.

PALAVRAS-CHAVE

Geração Distribuída, Redes de Distribuição, Projeto de Proteção, Otimização Combinatória, Confiabilidade.

1.0 - INTRODUÇÃO

A inserção de geradores distribuídos (GDs) em sistemas de distribuição pode trazer benefícios sócio econômicos, envolvendo partes da sociedade como o poder público, concessionárias de energia, e principalmente para os consumidores. A utilização de GDs pode auxiliar na redução de investimentos em usinas de grande porte e potência, as quais provocam de uma forma geral, grande impacto ambiental. Sob a ótica dos interesses das concessionárias de energia, a alocação de GDs melhora o perfil de tensão, reduz perdas, libera capacidade de transmissão e distribuição, melhora confiabilidade do sistema e conseqüentemente a qualidade da energia fornecida ao consumidor (1).

Dependendo dos locais escolhidos para a sua alocação, os GDs provocam impactos positivos na rede de distribuição tais como a redução de perdas, aumento na flexibilidade na operação da rede de distribuição e atendimento das cargas, mas implica em alterações na filosofia tradicional do planejamento de operação da rede

e do projeto do sistema de proteção e controle relacionadas à alocação, coordenação e seletividade dos dispositivos de proteção contra sobrecorrentes. Os sistemas aéreos de distribuição clássicos possuem topologia radial e os esquemas de proteção basicamente se restringem na utilização de relés, religadores e elos-fusíveis coordenados e/ou seletivos entre si. Nas redes radiais, o fluxo é unidirecional, portanto, para uma falta neste tipo de alimentador, o dispositivo de proteção mais próximo do defeito irá isolar a área sob falta de forma a minimizar o número de consumidores atingidos.

Após a inserção do gerador distribuído, parte do alimentador perde a radialidade, tendo este fato influência direta na coordenação dos dispositivos de proteção presentes no alimentador. Ocorrem também alterações nos níveis de tensão, correntes de curto-circuito, estabilidade do sistema, e ilhamentos. Neste novo cenário, durante uma falta, o dispositivo de proteção pode vir a ser sensibilizado em ambos os lados por correntes de curto originadas à jusante (unidades geradoras) e à montante (subestação - SE), podendo ocorrer atuação desnecessária ou incorreta deste dispositivo.

Neste trabalho é proposto e implementado um algoritmo computacional que permite a realização de projetos para alocar de forma integrada e otimizada geradores distribuídos e dispositivos de proteção em sistemas aéreos de distribuição. No desenvolvimento do algoritmo considera-se de forma totalmente integrada os aspectos técnicos e econômicos da alocação, realocação, especificação e coordenação dos dispositivos de proteção em redes aéreas de distribuição com GDs. Para avaliação da eficiência do sistema computacional desenvolvido, são apresentados resultados de testes efetuados em um alimentador de distribuição de um sistema real, com 134 barras.

2.0 - IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE GDs NA PROTEÇÃO

Na figura 1, apresenta-se uma configuração típica de alimentadores radiais de distribuição. Ao ocorrer um curto circuito no ponto indicado, a corrente de falta será suprida unicamente pela subestação. Estando adequadamente coordenados os dispositivos de proteção contra sobrecorrentes, o dispositivo mais próximo à falta operará e a menor quantidade possível dos consumidores serão desligados.

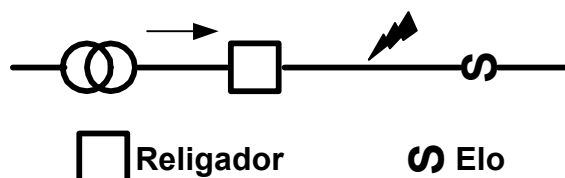


FIGURA 1 - Corrente de falta em um alimentador radial de distribuição.

Ao se inserir um gerador distribuído em algum ponto da rede de distribuição, como se observa na Figura 2, para um curto circuito no mesmo ponto citado anteriormente, haverá correntes de falta provenientes da subestação e do GD. No caso dos dispositivos não possuírem proteção direcional, como ocorre para os fusíveis e para os religadores mais antigos, esses equipamentos não serão capazes de operar, ou operarão de forma não coordenada e não seletiva para boa parte das faltas.

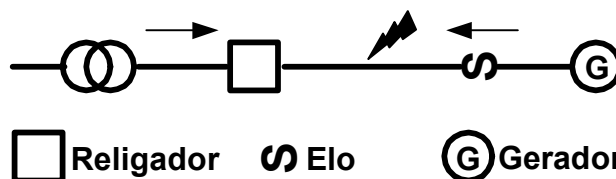


FIGURA 2 - Corrente de falta em um alimentador não-radial de distribuição

Outros dois problemas observados são quanto ao nível de correntes de curto circuito e a parcela de contribuição de corrente de falta suprida por cada fonte. Dependendo da localização do GD e de sua potência nominal, poderá haver aumento ou redução do valor da corrente de curto circuito que sensibiliza o dispositivo de proteção. Assim, podem ocorrer severas modificações nos ajustes da proteção e como resultado a redução na faixa de correntes de curto circuito para os quais os dispositivos se encontram coordenados e/ou seletivos (3-4).

2.1 Ilhamento

Quando um gerador distribuído é alocado em um alimentador radial ou fracamente malhado, o número e duração dos blecautes podem ser reduzidos. Após a falta ser isolada pelos dispositivos de proteção e estando o GD fora da região em falta, parte do sistema pode ser operada de forma ilhada através de um esquema adequado de restauração da rede de distribuição, reduzindo assim o impacto da falta sobre os consumidores e melhorando os índices de confiabilidade. No modelo matemático proposto para alocação de proteção e GDs para melhorias dos

índices de confiabilidade considera-se que o alimentador de distribuição pode operar de forma ilhada com os GDs alimentando as cargas que não estão na zona de influência onde ocorrem faltas permanentes.

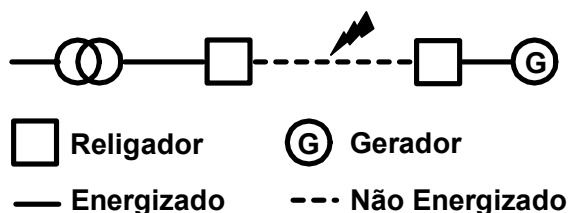


FIGURA 3 - Alimentador de distribuição com possibilidade de ilhamento

Na Figura 3 ilustra-se um caso de ilhamento, em que é possível manter a energização de maior quantidade de cargas em operação do que a que seria possível na situação sem possibilidade de ilhamento, na ocorrência de falta permanente no ponto ilustrado.

3.0 – MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

Na formulação e solução do problema de alocação dos dispositivos de proteção e dos GDs, considera-se que os dispositivos de proteção irão operar de forma seletiva e coordenada e alocados de forma a melhorar os índices de confiabilidade do alimentador na incidência de faltas permanentes e temporárias, além de procurar contemplar situações na incidência de faltas permanentes, em que as contribuições e/ou cargas não desligadas devido ao ilhamento de áreas do alimentador possam ser supridas através de GDs. A alocação otimizada desses dispositivos, é realizada de forma interativa com o usuário, juntamente com os ajustes e coordenação automática dos mesmos. Esta interação é importante porque durante o desenvolvimento do projeto de proteção podem ocorrer dificuldades e até mesmo a impossibilidade de obter a coordenação e seletividade de alguns dispositivos de proteção que foram alocados no sistema. Nestas condições, sendo o algoritmo interativo com o usuário, o projetista pode tomar decisões que não implicam na perda de otimalidade da alocação dos dispositivos de proteção realizada de forma otimizada. Dentre as possíveis soluções para obter sistemas de proteção com bom desempenho destacam-se a redefinição dos pontos candidatos a alocação e/ou a realocação de dispositivos de proteção e GDs e nova realização da alocação otimizada destes dispositivos, alteração de ajustes, curvas características e tipos de dispositivos, entre outras.

Neste procedimento interativo, visa-se obter o planejamento da alocação dos dispositivos que contemple os aspectos técnicos, econômicos e da confiabilidade com um programa de ajuste da proteção sensível às faltas para as condições de carregamento do sistema.

3.1 Alocação Otimizada dos Dispositivos de Proteção e dos GDs

O modelo matemático proposto para alocação e realocação otimizada de dispositivos de proteção e geradores distribuídos no alimentador para melhoria dos índices de confiabilidade é uma extensão e melhorias do modelo proposto em Silva *et al*, 2004 (7), que é obtido usando o conceito de energia não fornecida e dados históricos do índices da faltas permanentes e temporárias no alimentador (6-7). Neste trabalho o problema de alocação otimizada de dispositivos de proteção e GDs é abordado, genericamente como:

Minimizar {Energia Não Fornecida Devido a Atuação de Dispositivos de Proteção} - {Cargas Ilhadas Alimentadas pelos GDs}

Sujeito a:

- Número disponível de cada tipo de dispositivo de proteção para alocação – religadores e chaves fusíveis;
- Número de geradores que se deseja alocar;
- Máximo número de dispositivos que podem ser alocados em série para obter seletividade e coordenação da proteção;
- Setores ou regiões do sistema de distribuição onde devem ser alocados religadores devido a importância da carga e sujeitos a altas taxas de faltas temporárias;
- Setores ou regiões do sistema de distribuição que as cargas não podem sofrer os efeitos de ações de religamentos;
- Capacidade nominal dos GDs.

Este é um modelo de problema de otimização combinatorial com uma função objetivo não linear, não diferenciável, com variáveis reais e inteiras e um conjunto de restrições lineares. A solução deste modelo é obtida através de um algoritmo genético especializado (7). AG é uma técnica de otimização do tipo metaheurísticas utilizada para resolver problemas combinatoriais.

3.1.1. Função Objetivo

No modelo de função objetivo considera-se a redução das cargas desligadas na incidência de faltas permanentes e temporárias no alimentador devido a atuação dos dispositivos de proteção. A redução das cargas desligadas devido a atuação dos dispositivos de proteção está relacionada com os índices de confiabilidade do alimentador em função do número, tipos e localização dos dispositivos de proteção. No contexto do planejamento do sistema estes índices podem ser minimizados até um valor que justifique e torne adequada a relação custos benefícios.

Os religadores automáticos juntamente com os elos fusíveis têm a finalidade de isolar seções dos sistemas de distribuição sujeitas a faltas permanentes e permitir que faltas transitórias sejam eliminadas sem o desligamento de cargas. No modelo proposto os religadores também têm a função de chaves de manobras que permitem isolar áreas sujeitas a faltas permanentes e alimentar as cargas ilhadas que não estão na região de influência destas faltas através dos GDs. Para obter a função custo da energia não suprida (CENS) devido a atuação do sistema de proteção, e alimentação de cargas ilhadas através de GDs considera-se o total de cargas desligadas devido a incidência de faltas temporárias (γ) e permanentes (λ) no alimentador sob estudo no período de um ano, por exemplo.

A função objetivo (F.O.) do problema de alocação de dispositivos de proteção e dos geradores considerando-se a probabilidade da carga que seria desligada devido a incidência de faltas permanentes e temporárias no alimentador (CENS) pode ser modelada como:

$$CENS_i = (A_I^i - A_{II}^i - A_{III}^i + A_{IV}^i + A_V^i + A_{VI}^i)$$

$$A_I^i = \sum_{j=1}^{nsec_i} \gamma_j \sum_{k=1}^{nsec_i} L_j \quad (2a)$$

$$A_{II}^i = \sum_{j=1}^{SP_i} \gamma_j * X_{ijl} \left\{ L_j + \left(\sum_{k=j+1}^{SP_i} L_k \prod_{l=j+1}^{SP_i} (1 - X_{ill}) \right) + \left(\sum_{k=R_j}^{NR_i} \sum_{l=1}^{R_k} L_l \prod_{n=1}^{R_k} (1 - X_{iml}) \right) \right\} \quad (2b)$$

$$A_{III}^i = \sum_{j=1}^{NR_i} \sum_{k=1}^{R_j} \gamma_k * X_{ikl} \left\{ L_k + \left(\sum_{l=k+1}^{R_j} L_l \prod_{n=k+1}^{R_j} (1 - X_{iml}) \right) \right\} \quad (2c)$$

$$A_{IV}^i = \sum_{j=1}^{SP_i} \lambda_j \left\{ \left(\sum_{k \in MSP_j} L_k \prod_{l \in MSP_j} (1 - X_{ill})(1 - X_{il2}) \right) + \left(\sum_{k \in MR_j} L_k \prod_{l \in MR_j} (1 - X_{ill})(1 - X_{il2}) \right) \right\} \quad (2d)$$

$$A_V^i = \sum_{j=1}^{NR_i} \sum_{k=1}^{R_j} \lambda_k \left\{ \left(\sum_{l \in MSR_l} L_l \prod_{n \in MSR_l} (1 - X_{iml})(1 - X_{in2}) \right) + \left(\sum_{l \in MR_k} L_l \prod_{n \in MR_k} (1 - X_{iml})(1 - X_{in2}) \right) \right\} \quad (2e)$$

$$A_{VI}^i = \sum_{j=1}^{NR_i} \sum_{k=1}^{R_j} X_{ijl} \lambda_k L_i \quad (2f)$$

X_{abc} : Variável que define a seção, o ponto na seção e o tipo de dispositivo que pode ser instalado, (a : seção no alimentador - 1 para seção principal e $2..n$ para os ramos); b : ponto em uma dada seção; c : tipo de dispositivo (1 para dispositivos trifásicos e 2 para dispositivos monofásicos); γ_j : Taxa de faltas temporárias para seção j ; L_j : Cargas alimentadas pela seção (\cdot); NR_i : Número total de ramais no alimentador i ; R_j : Número de locais para possíveis alocações de dispositivos no ramal j ; R_j : Número de ramais a jusante do ponto j ; SP_i : Número de pontos candidatos à alocação de dispositivos na seção principal, do alimentador i ; λ_j : Taxa de faltas permanentes para a seção j ; MSP_j : Conjunto de pontos onde é possível alocação de dispositivos na seção principal, a montante do ramal j ; MR_j : Conjunto de ramais a montante do ponto j .

As interpretações físicas das parcelas que compõem a carga não suprida para o alimentador i (CENS _{i}) no contexto do problema sob análise são:

- A parcela A_I^i representa o total de carga que será desligada devido à incidência de faltas temporárias no alimentador i , caso não haja nenhum religador de proteção instalado no alimentador. Com a instalação de religador no alimentador i ocorrerá uma redução das cargas desligadas do alimentador na incidência de faltas temporárias na seção principal, e nos ramais. Desta forma as parcelas A_{II}^i e A_{III}^i representam esta redução, ou seja, com alocação de religador no alimentador i , a soma algébrica dos termos ($A_I^i - A_{II}^i - A_{III}^i$) é igual o montante de carga que será desligada devido a incidência de faltas temporárias.
- As parcelas A_{IV}^i e A_V^i , representam o total de carga que será desligada devido à incidência de faltas permanentes no alimentador i .
- A parcela A_{VI}^i representa a quantidade de cargas que fica ilhada na região definida pelo ponto onde existe um religador e um ou mais GDs no caso da incidência de uma falta permanente no alimentador. Se a potência acumulada destas cargas for menor ou igual a capacidade nominal do(s) GDs, considera-se que nestas condições o sistema pode operar de forma ilhada, com as cargas sendo alimentadas por esses GDs.

3.1.2 Restrições do Problema

As restrições que devem ser incorporadas ao problema de alocação otimizada de dispositivos de proteção são de natureza técnica e econômica. As restrições de natureza técnica estão relacionadas com a coordenação dos dispositivos de proteção e a topologia do sistema (número de dispositivos da mesma categoria em série). As restrições de natureza econômica estão relacionadas com o custo de instalação e operação dos dispositivos, natureza e importância da carga. Os religadores possuem custos elevados e desta forma a alocação destes dispositivos em sistemas de distribuição requer uma cuidadosa análise econômica considerando-se a natureza e importância da carga, a possibilidade de operação ilhada na presença de geradores distribuídos, e a relação *custos/ benefícios* devido alocação deste tipo de dispositivo na rede.

4.0 - ESTRUTURA DO SOFTWARE

Neste trabalho é proposto um sistema computacional integrado e interativo para desenvolver projetos de sistema de proteção de alimentadores aéreos de distribuição com ou sem GDs. Este sistema consiste de informações armazenadas em bases de dados e conhecimento que são utilizadas na elaboração de algoritmos eficientes para o projeto dos sistemas de proteção, e que são refletidas nas regras aplicadas para alocação, seleção e coordenação de dispositivos protetores em sistemas de distribuição.

O software é estruturado da seguinte forma: Cálculo de Fluxo de Potência e Curto-circuito de acordo com a topologia do sistema (radial ou com DG), alocação, especificação e coordenação dos dispositivos de proteção.

Neste sistema dedicado para especificar de forma seletiva e coordenada o sistema de proteção utiliza-se um modelo de programação do tipo inteligência artificial (*if-then*) para a representação da base de conhecimentos. O sistema desenvolvido consiste de quatro blocos: *Base de dados*, *base de conhecimentos*, *máquina de conclusão* e *interface com o usuário*.

4.1 Base de Dados

A base de dados é dividida em dados dos equipamentos e dados dos circuitos. Os dados dos equipamentos são representados por tabelas que contêm informações tais como: correntes nominais e de diferentes tipos de curto circuitos, curvas tempo-corrente, nível básico de isolamentos e o conjunto de ajustes disponíveis de cada tipo de dispositivo de sobrecorrente (*taps*, fatores de escala e de início de curvas, etc) que são usados para especificação, coordenação e seletividade em projetos de proteção. Cada dispositivo de proteção contra sobrecorrente, isto é, elo fusível, relé de sobrecorrente e religador deve ter suas características de atuação de tempo-corrente cadastradas para serem utilizadas durante o projeto de coordenação e seletividade.

4.2 Base de Conhecimento

A base de conhecimentos é composta por regras para especificação, coordenação e seletividade de pares de dispositivos. Esta base é compartilhada tanto para elaborar projetos de proteção de sistemas de distribuição aéreos radiais e não radiais com GDs alocados na rede.

4.3 Máquina de conclusão

A máquina de conclusão, representa o meio pelo qual o conhecimento é manipulado, utilizando-se das informações armazenadas na base de conhecimento, e interação com o usuário para desenvolver o projeto de proteção do alimentador.

Na máquina de conclusão são processados a alocação, seleção e coordenação de diversos dispositivos de proteção. O usuário fornece as condições de topologia, cargas instaladas e do conjunto de ajustes disponíveis de dispositivos de proteção. O algoritmo de seleção precisa das localizações dos dispositivos de proteção obtidas através dos algoritmos de alocação, para que os dispositivos protetores possam ser especificados, levando-se em consideração os aspectos relacionados com o nível de tensão, nível de correntes de cargas e de curto-circuito e outros dados importantes para a especificação adequada dos dispositivos. No algoritmo de seleção também utilizam-se dados de coordenação para selecionar os dispositivos, de maneira que os mesmos estejam coordenados entre si.

4.4 Interface com Usuário

A interface com o usuário é projetada para facilitar a interação com o usuário do sistema especialista. No sistema desenvolvido o usuário entra facilmente com os dados de equipamentos, alimentadores e regras para o processamento de decisões. Esta interface também fornece os ajustes e especificações, seletividade e coordenação dos dispositivos de proteção de forma conveniente através de tabelas e de gráficos que mostram os diagramas de coordenação para o alimentador sob estudo.

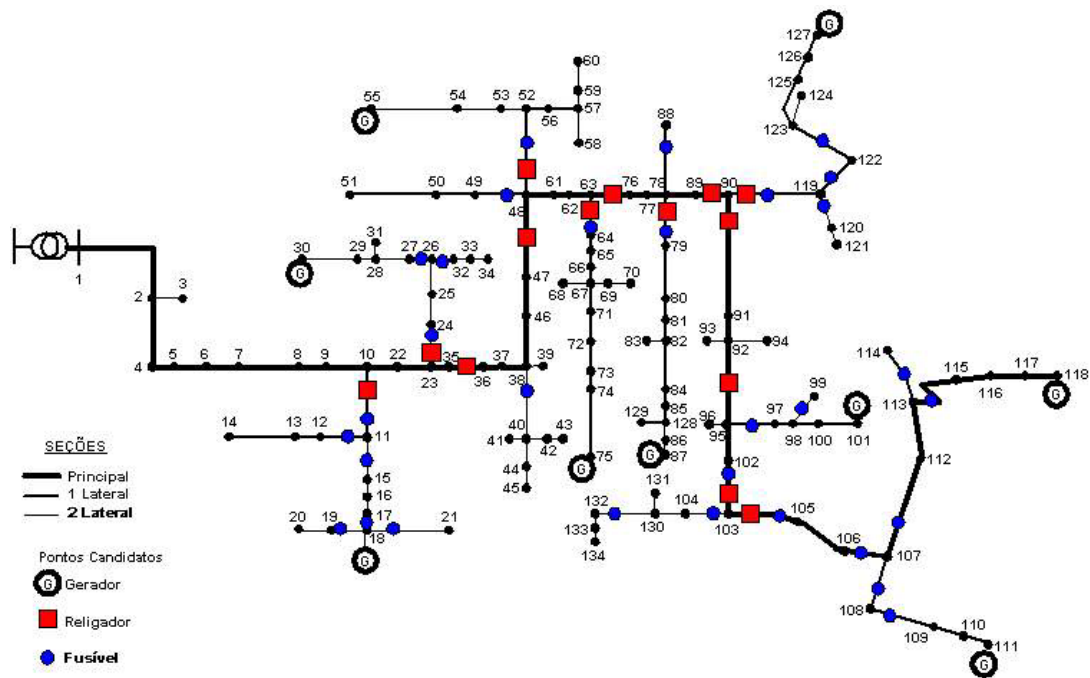


FIGURA 4 – Alimentador 134 barras – Pontos candidatos a alocação.

5.0. - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para testar o protótipo do programa, utilizou-se um alimentador real de 134 barras - Figura 4 (5). Na Tabela 1 apresenta-se o resultado de alocação dos dispositivos de proteção e dos geradores para diferentes condições de testes, a especificação dos elos para cada caso e o respectivo valor da função obtido.

Os valores das correntes de curto-circuito e o fluxo de potência foram obtidos considerando que todos os geradores alocados são iguais e possuem a potência de 1 MVA. Os índices de faltas permanentes e temporários utilizados nos testes são $\lambda=0.00055$, $\gamma = 0.0015$ (Faltas/Km/Ano), respectivamente.

Para os casos 1 e 2, não se considera a presença de geradores distribuídos no alimentador. No caso 1, o número de religadores foi restrito à quatro, já para o caso 2, esse número passou para três religadores. É interessante observar que mesmo para a situação de quatro religadores possíveis, o número de religadores alocados foi de três, ou seja, mesmo alocando religador em outro ponto qualquer da rede, o valor da função não é melhorado.

Para os casos 3 e 4, consideram-se três geradores distribuídos, e que obrigatoriamente deveriam ser alocados em pontos candidatos previamente selecionados no alimentador. A quantidade de religadores disponíveis para alocação ficou limitada a quatro e três, respectivamente. Para o caso 3, a utilização de quatro religadores se tornou necessária pelo fato de que não mais o algoritmo limitou-se em observar apenas quantidade de carga desligada pela atuação somente dos religadores, mais sim, também houve a necessidade de prever a possibilidade de ilhamento elétrico, e os religadores cumprirem também a função de chaves de manobras.

Para o caso quatro, é interessante observar que mesmo havendo três religadores possíveis para alocação, o algoritmo encontrou um valor ótimo alocando apenas dois religadores e o valor da função obtida apresenta valor muito próximo ao do caso anterior. Isto se deve ao fato de que o algoritmo de solução (AG) possui característica probabilística, ou seja, para cada simulação realizada provavelmente será apresentado um resultado de alocação diferente, chamados também de ótimos locais. O valor ótimo global (melhor valor possível para a função) pode exigir um grande esforço computacional, o que acarretaria em pouca aplicação prática. Contudo, havendo esses vários ótimos locais com resultados coerentes e de boa qualidade, existe a possibilidade de aplicar essa ferramenta computacional no estudo de planejamento de sistemas de distribuição, e dessa forma em pouco tempo, o usuário possuirá diferentes resultados viáveis economicamente. O resultado que apresentar maior aplicação prática poderá ser escolhido e implementado na prática.

Durante os testes com o sistema computacional para especificação, seletividade e coordenação da proteção verificam-se alguns problemas envolvendo a coordenação entre religadores e elos:

- Especificação de elos com valores superiores à 65K, o que torna-se impraticável qualquer coordenação com religadores a montante deste ponto;
- Alocação de elos no caminho entre a subestação e o gerador distribuído, o que pode acarretar em má operação e/ou operação indevida dos dispositivos de proteção.

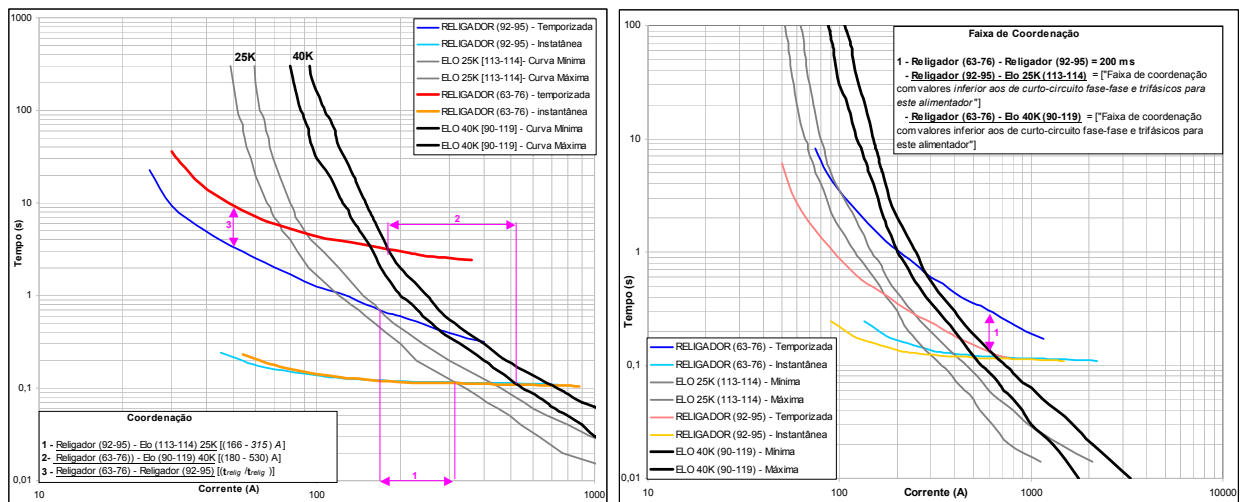
Para contornar esse problema, pode-se agir a princípio de três formas diferentes:

- Utilizar a configurações obtidas que não apresentam os problemas citados acima;
- Retirar do conjunto de barras candidatas os pontos que apresentam problema de necessitar elos fusíveis acima de 65K e realizar novas simulações do modelo otimizado;
- Não considerar os elos fusíveis alocados nesses pontos e aplicar essa configuração na prática, ajustando o religador para coordenar com os elos de sua zona de proteção. Com este procedimento perde-se a qualidade da solução obtida de forma otimizada.

Tabela 1. Resultado de alocação e especificação dos elos

	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5				
Gerador (barras)	-		-		87	101	118	87	111	118	18	111	127
Religador (ramo)	10-11 92-95	35-36	35-36 92-95	48-52	63-64 78-79	63-76 92-95	63-76 92-95	63-76 92-95	63-76 92-95	10-11 89-90	63-64 92-95		
Elo-Fusível (ramo)	11-12	6K	10-11	25K	10-11	25K	10-11	25K	10-11	25K	11-12	6K	63-64
	11-15	20K	11-12	6K	11-12	6K	11-12	6K	11-12	6K	11-15	65K	63-64
	17-18	10K	17-18	10K	18-19	6K	18-19	6K	18-19	6K	17-18	40K	63-64
	18-19	6K	18-19	6K	18-21	6K	18-21	6K	18-21	6K	18-19	6K	63-64
	18-21	6K	18-21	6K	23-24	25K	23-24	25K	23-24	25K	18-21	6K	63-64
	23-24	25K	23-24	25K	26-27	15K	26-27	15K	26-27	15K	23-24	25K	63-64
	26-27	15K	26-27	15K	38-40	12K	38-40	12K	26-32	12K	26-27	15K	63-64
	26-32	12K	26-32	12K	48-49	10K	48-49	10K	38-40	12K	26-32	12K	63-64
	38-40	12K	38-40	12K	48-52	15K	48-49	10K	48-49	10K	38-40	12K	63-64
	48-49	10K	48-49	10K	78-88	6K	78-88	6K	48-52	15K	48-49	10K	63-64
	48-52	15K	63-64	25K	95-97	40K	63-64	25K	48-52	15K	48-49	10K	63-64
	63-64	25K	78-79	25K	98-99	6K	78-79	25K	63-64	25K	48-52	15K	63-64
	78-79	25K	78-88	6K	103-104	15K	78-79	25K	78-79	25K	48-52	15K	63-64
	78-88	6K	95-97	10K	103-105	65K	78-88	6K	78-79	25K	48-52	15K	63-64
	95-97	10K	98-99	6K	107-108	15K	103-104	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64
	98-99	6K	102-103	65K	108-109	10K	103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64
	103-104	15K	103-104	15K	107-112	40K	103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64
	103-105	65K	103-105	40K	113-114	25K	103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64
	107-108	15K	108-109	10K	90-119	40K	103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64
	108-109	10K	107-112	25K	119-120	6K	103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64
107-112	40K	90-119	25K	119-122	25K	103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64	
113-114	25K	119-120	6K	122-123	15K	103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64	
113-115	6K	119-122	15K	130-132	8K	103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64	
90-119	25K	130-132	8K			103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64	
119-120	6K					103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64	
119-122	15K					103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64	
130-132	8K					103-105	15K	78-88	6K	78-88	6K	63-64	
F.O.	87.279		87.452		84.242		85.015		89.592				

Desta forma, a interatividade e a facilidade de realizar novos estudos são os principais pontos que viabilizam a aplicação dessa ferramenta computacional proposta para o desenvolvimento de projetos de proteção de sistemas de distribuição de energia elétrica. Visto isto, para visualizar a aplicação da ferramenta de coordenação entre religador e elo, foi feita uma simulação para o caso 3. Para evitar operações indevidas, os elos que se encontram no caminho SE-GD são excluídos da configuração. Este procedimento provoca uma pequena degradação da F.O.. Para fins de ilustrar a interface gráfica na Figura 5 mostram-se as curvas de coordenação entre os religadores dos ramos (63-76) e (92-95) e o elo de maior valor dentro de suas zonas de proteção. O mesmo procedimento foi realizado para obter coordenação dos outros dispositivos de proteção dos testes apresentados na Tabela 1.



(a) (b) FIGURA 5 – Curva de coordenação entre religadores e fusíveis: (a) unidades de terra, (b) unidades de fase

Outra utilidade da aplicação prática da metodologia proposta é ilustrada no caso 5. Nesta situação é fixada a posição dos geradores, ou seja, para o caso de haver a necessidade de realizar um estudo prevendo possíveis geradores que irão entrar em operação, e/ou que já possuam local fixo para instalação, o algoritmo pode encontrar soluções viáveis para localização dos dispositivos de proteção, de tal forma que a menor quantidade de consumidores seja desligada na ocorrência de uma falta, seja ela transitória ou permanente.

6.0. - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o sistema dedicado ao estudo e análise do sistema de proteção são confiáveis e de excelente qualidade. Este sistema permite um bom nível de interatividade com o usuário. Em todos os testes realizados obteve-se a especificação e as condições de seletividade e coordenação para as propostas de alocação. Devido ao fato de que a maioria das faltas que ocorrem nos sistemas de distribuição é do tipo fase-terra, no software desenvolvido prioriza-se a análise de coordenação e seletividade das unidades de proteção de terra, garantindo pelo menos seletividade para os valores de fase. O sistema computacional desenvolvido e implementado é flexível e robusto, permitindo que se incorpore em suas bases de dados e conhecimentos características físicas e operacionais de novos equipamentos e dispositivos de proteção e também novas regras de coordenação, seletividade e especificação de dispositivos de proteção.

A alocação de geradores distribuídos em sistemas de distribuição merece ainda muita atenção e estudo, principalmente com relação ao impacto sobre os equipamentos existentes na rede. A continuidade de utilização destes equipamentos sem função direcional, como religadores antigos e elos-fusíveis, não permite o aproveitamento total das vantagens dessa nova realidade de geração. Desta forma nos estudos de impactos econômicos da alocação de GDs em alimentadores de distribuição devem ser levados em consideração os investimento na aquisição de novos dispositivos de controle e proteção.

7.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) P. Barker and R. W. de Mello, 2000 "Determining the impact of distributed generation on power systems: Part 1- Radial power systems", in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Power Meeting, pp. 1645-1658.
- (2) E. M. Campitelli, L. G. W da Silva, R. A. F. Pereira and J. R. S. Mantovani, 2006 "Interactive System for Placement and Coordination of Overcurrent Protective Devices", Transmission and Distribution - Latin America – Caracas, Venezuela.
- (3) M.T.Doyle, 2002, "Reviewing the Impacts of Distributed Generation on Distribution System Protection", IEEE, 103-105
- (4) A. A. Girgis, and S. M. Brahma, 2001, "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System", *IEEE*, 115-119.
- (5) Electrical Energy Systems Planning Laboratory "Practical 135 Bus Feeder Data". Available: http://www.dee.feis.unesp.br/lapsee/TestSystems/135_Bus_Feeder.pdf
- (6) Broadwater, R.P., Thompson, J.C., Rahman, S., Sargent, A. (1994). "An Expert System For Integrated Protection With Reconfigurable Distribution Circuits: Part I and II". IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 2, p. 1115–1128.
- (7) Silva, L. G. W., Pereira, R. A. F., Mantovani, J.R.S. (2004). "Allocation of Protective Devices in Distribution Circuits Using Nonlinear Programming Models and Genetic Algorithms". Electric Power Systems Research, v.69, p.77–84.

8.0. DADOS BIOGRÁFICOS

Eduardo Moreti Campitelli
Graduação (2006) em Engenharia Elétrica: UNESP-Ilha Solteira
Mestrando: UNESP – Ilha Solteira

Rodrigo Aparecido Fernandes Pereira
Doutorado (2007), Mestrado (2003), Graduação (2000) em Engenharia Elétrica: UNESP - Ilha Solteira
Pesquisador no Laboratório de Planejamento de Sistemas Elétricos – LaPSEE – UNESP - Ilha Solteira

Luis Gustavo Wesz da Silva
Doutorado (2005), Mestrado (2001) em Engenharia Elétrica: UNESP - Ilha Solteira
Bolsista de Fixação de Recursos Humanos – CNPQ – UFG EEEEC.

José Roberto Sanches Mantovani
Professor Adjunto: DEE - UNESP - Ilha Solteira