



XXIII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

FI/GPC/14
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO -V

GRUPO DE ESTUDO PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMA DE POTÊNCIA - GPC

ANÁLISE DO IMPACTO DA SAZONALIDADE DA GERAÇÃO NA COORDENAÇÃO DE AJUSTES DE PROTEÇÃO EM RELÉS DIRECIONAIS DE SOBRECORRENTE VIA ALGORITMO EVOLUTIVO

Silvio Aparecido de Souza; Nilson José Francischetti Junior; Rene Gomes de Lima, Saulo Trento

CTEEP – Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista

RESUMO

Este trabalho propõe o uso da técnica meta-heurística, Evolutionary Particle Swarm Optimization (EPSO), visando maior eficiência no processo de coordenação de Relés Direcionais de Sobrecorrente (RDS) de um dado sistema. Como sistema elétrico teste, será considerada uma área sob concessão da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP), sob influência de gerações de biomassa, cuja operação é sazonal. Assim, pretende-se verificar os impactos desta sazonalidade nos ajustes de proteção dos RDSs, buscando um único conjunto de ajustes de proteção, por bay, que seja adequado a característica de operação do sistema e aderente à filosofia de proteção adotada pela CTEEP.

PALAVRAS-CHAVE

Proteção de sistema elétrico, Relés Direcionais de Sobrecorrente, *Evolutionary Particle Swarm Optimization (EPSO)*

1.0 - INTRODUÇÃO

A proteção de um sistema de energia elétrica deve ser projetada de maneira a alcançar os seguintes objetivos [1]:

- a. Proteger o sistema elétrico de potência de forma a manter a continuidade do fornecimento da energia elétrica;
- b. Evitar ou minimizar os danos e os custos de reparos de equipamentos;
- c. Garantir a integridade física do pessoal técnico e dos usuários do sistema elétrico.

Para que esses objetivos sejam alcançados, o sistema de proteção deve ter as seguintes características: confiabilidade, seletividade, sensibilidade e rapidez de atuação [2]. Neste contexto, a proteção de linhas de transmissão possui um importante papel na área de sistemas elétricos de potência, já que a maioria das falhas ocorre nestes elementos. Para obter um bom esquema de proteção de linhas de transmissão, geralmente são utilizados relés direcionais de sobrecorrente (RDS). Estes dispositivos devem ser ajustados de forma que eles estejam coordenados entre si para garantir a seletividade, ou seja, que apenas a porção mais próxima do curto-circuito seja desligada. Além disso, os ajustes desses relés devem ser bem definidos para não causarem desligamentos indevidos.

Resolver o problema de coordenação de relés de sobrecorrente direcionais não é uma tarefa trivial, pois envolve o conhecimento de várias informações, tais como: restrições operativas do sistema elétrico sob análise, as principais correntes de curto-circuito necessárias para definir os ajustes dos relés, possíveis alterações topológicas e

(*) Alameda CESP, S/N – Fazenda Grande - CEP 13.212 - 437 Jundiaí, SP – Brasil

Tel: (+55 11) 4589-6607 – Fax: (+55 11) 4589-6604

Email: sasouza@ctEEP.com.br, njunior@ctEEP.com.br, rglima@ctEEP.com.br, strento@ctEEP.com.br

características (parâmetros) de ajuste dos elementos de proteção. Percebe-se, portanto, que esta atividade pode ser demorada e sujeita a erros, caso o sistema em análise seja complexo e caso o engenheiro de proteção não disponha de uma ferramenta computacional eficiente para auxiliá-lo. Neste sentido, o problema de coordenação tem sido tratado na literatura técnica como um problema de otimização cuja função objetivo é minimizar a soma dos tempos de atuação de todos os relés envolvidos no sistema de proteção, satisfazendo as restrições relativas à coordenação. Assim, algumas abordagens foram propostas na literatura, tais como Algoritmo Genético (AG) [3], a combinação de técnicas inteligentes com programação linear [4] e o uso do *Particle Swarm Optimization* [5]. Estes trabalhos, no entanto, não avaliam diferentes condições de falta possíveis de ocorrerem no sistema elétrico e as restrições apresentadas não consideram todos os casos práticos. Portanto, os mesmos ainda necessitam de desenvolvimentos adicionais para torná-los aplicáveis a diferentes situações reais.

Visando tornar mais eficiente o processo de coordenação de RDS, este trabalho propõe um novo método de ajuste de relés direcionais de sobrecorrente baseado em otimização e utilizando uma técnica meta-heurística denominada *Evolutionary Particle Swarm Optimization* (EPSO) [6] que tem se mostrado eficiente para solucionar problemas relacionados à coordenação de relés de sobrecorrente direcionais [7]. Os testes foram realizados considerando uma região de operação da Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista (CTEEP), sob influência de gerações de biomassa, cuja operação é sazonal. Os resultados foram confrontados e validados pelos especialistas da área de estudos de operação e proteção da CTEEP. Para tal, utilizou-se uma ferramenta computacional denominada CORDSEM que foi desenvolvido através de um projeto de P&D, finalizado em setembro de 2014 e que uniu a CTEEP, a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC / USP) e o Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Porto (INESC-Porto), Portugal.

2.0 - PESQUISA DESENVOLVIDA

Nesta seção serão apresentados a formulação matemática empregada para solucionar o problema de coordenação dos relés de sobrecorrente direcionais, uma breve descrição da técnica EPSO, as principais características da ferramenta computacional desenvolvida e os benefícios esperados decorrentes de sua aplicação dentro da companhia.

2.1 Formulação Matemática

O problema a ser resolvido foi formulado de acordo com as expressões apresentadas em (1).

$$\min f(x) = \sum T_i^{local}(I_{cc}, DT_i, I_{pi}, T_i, A, B, \dots, z)$$

$$s. a \left\{ \begin{array}{ll} T_j^{retag} - T_i^{local} \geq ITC & [a] \\ T_i^{local} \geq T_i^{dist_Z2} & [b] \\ DT_i \in \mathbb{C}_{DT_i} & [c] \\ \mathbb{C}_{DT_i} = (DT_1; DT_2; DT_3; \dots; DT_{NDT}) & [d] \\ I_{pi} \in \mathcal{M}_{I_{pi}} & [e] \\ \mathcal{M}_{I_{pi}} = (I_{p1}; I_{p2}; I_{p3}; \dots; I_{p_{NIP}}) & [f] \\ I_{pi} = RTC_i \times T_i & [g] \\ I_{pi} \geq I_{cap} & [h] \\ I_{cap} = \min \{I_{disj}; I_{secc}; I_{bob}; I_{TC}; I_{cond}\} & [i] \\ I_{pi} \leq I_{p_{NIP}} & [j] \end{array} \right. \quad (1)$$

Sendo:

$f(x)$ – função objetivo a ser minimizada, correspondendo ao somatório do tempo de atuação de todos os RDSs;

$i=1,2,\dots,NR; j=1,2,\dots,NR$, sendo NR o número de relés;

T_i^{local} – tempo de atuação do relé principal i ;

T_j^{retag} – tempo de atuação do relé de retaguarda j ;

$T_i^{dist_Z2}$ – tempo de atuação do relé de distância (zona 2) que corresponde ao relé i ;

I_{cc} – corrente de curto-circuito visto pelo RSD;

DT_i – dial de tempo do relé i ; $\overline{DT_i}$ dial máximo, $\underline{DT_i}$ dial mínimo;

I_{pi} – corrente de pick-up do relé i ;

T_i – tap de corrente de pick-up do relé i ;

A, B, \dots, z – constantes da curva padronizada do relé. Por exemplo, para curva normal inversa IEC , $A=0,14$, $B=0,02$ e os demais termos são nulos.

ITC – intervalo de tempo de coordenação. Para este trabalho será adotado 300 ms;
 I_{cap} – capacidade operativa da linha de transmissão;
 I_{disj} – corrente nominal do disjuntor;
 I_{secc} – corrente nominal da chave seccionadora;
 I_{bob} – corrente nominal da bobina de bloqueio;
 I_{TC} – corrente nominal do transformador de corrente;
 I_{cond} – corrente nominal da linha de transmissão $k-m$;
 RTC – Relação de transformação de corrente.

A resolução do problema (1) exige o cálculo de um conjunto de curtos-circuitos para a referência da coordenação conforme descritos a seguir:

- Proteção de fase: maior corrente de curto-circuito trifásico do tipo *close-in* e a corrente correspondente que circula pela proteção de retaguarda, considerando para os circuitos paralelos, com e sem o desligamento e aterramento dos mesmos.
- Proteção de neutro: semelhante ao item anterior, todavia considera o maior curto-circuito fase-terra *close-in* e a corrente $3I_0$ correspondente que circula pela proteção de retaguarda.

Para a definição dos intervalos da corrente de sensibilização do relé (*pick-up*), o padrão definido para a faixa de variação dos ajustes corresponde diretamente à faixa de ajustes dos dispositivos de proteção. Entretanto, o usuário pode alterar os limites conforme a sua necessidade, garantindo a sensibilidade.

O valor mínimo da corrente de *pick-up* da proteção de fase deve estar acima do limite operativo da linha (restrição [i] de (1)), sendo que este valor é inserido pelo usuário da ferramenta computacional, de acordo com os parâmetros da restrição [j] de (1). Já o valor máximo é o menor valor entre o mínimo curto-circuito trifásico na barra remota e o valor superior da faixa de ajustes do relé. O algoritmo EPSO implementado é flexível para alterações e apresenta robustez na obtenção da solução de qualidade.

Um programa completo que inclui a interface gráfica foi desenvolvido para a coordenação de RSDs. Considera-se desde a inclusão dos relés, cálculo de curto-circuito e ajuste dos parâmetros (múltiplo de tempo e tap de corrente). Mais detalhes desta ferramenta serão apresentados na seção 2.3.

2.2 Algoritmo *Evolutionary Particle Swarm Optimization (EPSO)*

O *Evolutionary Particle Swarm Optimization* [6] é uma metaheurística que combina características dos métodos evolutivos e o método original *Particle Swarm Optimization*. Ele faz parte dos modernos métodos heurísticos aplicados à resolução de problemas de otimização complexos que apresentam grande sucesso na obtenção de soluções factíveis de alta qualidade, similarmente observados com famílias de métodos inteligentes baseados em redes neurais e lógica Fuzzy. O método implementado apresenta as características de robustez na obtenção de solução viável e capacidade de auto-ajuste dos parâmetros internos de busca, o que resulta em sucesso da solução independente do sistema resolvido.

Este método tem sido empregado para solucionar problemas semelhantes, tal como observado em [7] e, devido às características de auto-ajuste dos parâmetros internos de busca, ele tende a apresentar um melhor desempenho computacional do que outras técnicas, a exemplo daquelas descritas em [3]-[5].

2.3 Ferramenta Computacional Desenvolvida - CORDSEM

A Fig. 1 ilustra a ferramenta desenvolvida, denominada CORDSEM e sua tela de apresentação de abertura.

O CORDSEM conta com os seguintes módulos:

- Leitura da base de dados do sistema elétrico em formato .ANA [8]. Assim, é possível carregar a base de dados completa do sistema elétrico brasileiro;
- Leitura da base de dados dos relés. Optou-se por usar a base de dados de relés de proteção do programa CAPE [9]. Assim, durante o desenvolvimento do projeto de P&D foi criada uma rotina computacional para extrair essas informações e carregá-las no programa CORDSEM;
- Alocação dos relés de proteção no circuito a ser analisado;
- Cálculo de curto-circuito;



FIGURA 1 – Tela de abertura da ferramenta CORDSEM.

- e. Edição dos parâmetros da otimização (limites operativos dos relés temporizados);
- f. Execução da rotina de otimização para as proteções de fase e de neutro;
- g. Verificação da coordenação: esta funcionalidade permite ao engenheiro de proteção avaliar a adequação de ajustes disponíveis em campo, sem a necessidade de executar o módulo de otimização do CORDSEM;
- h. Ajuste dos relés com atuação instantânea: a proteção instantânea é ajustada pelo próprio engenheiro de proteção, que avaliará a necessidade de sua ativação. Para tanto, a ferramenta computacional fornece todos os insumos necessários para a realização desta tarefa, tais como as máximas correntes de curto-circuito close-in, na barra remota e a 70% do comprimento da linha de transmissão. Este ajuste não faz parte do processo de otimização;
- i. Saída dos resultados em forma de relatórios e coordenogramas.

Com as funcionalidades implementadas, alguns benefícios técnicos da ferramenta computacional se destacam como a possibilidade de o engenheiro simular, validar ajustes que já estão em campo; testar relés diferentes; ajustar, de forma otimizada, diversos relés simultaneamente, além de ampliar a capacidade de análise em um tempo muito inferior (melhoria da relação homem-hora).

3.0 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ELÉTRICO ANALISADO

A área de estudo para a coordenação dos relés direcionais de sobrecorrente foi baseada na região Oeste Paulista, cuja influência no sistema de 138kV da CTEEP é devida a operação sazonal de usinas de biomassa desta região, as quais podem injetar uma potência máxima de 556,20 MVA. Entretanto, no período de entressafra, esse montante de potência injetada pode ser reduzido a zero, dependendo das condições de armazenamento da matéria-prima para utilização nas respectivas usinas. A Fig. 2 ilustra a região de estudo, com a disposição das 7 usinas de biomassas com suas respectivas potências, bem como os 28 bays nos quais estão instaladas as proteções direcionais de sobrecorrente sob análise.

A ferramenta computacional implementada, CORDSEM, permite que sejam carregadas as informações das proteções de cada bay separadamente como fabricante de relé, tipo do relé, modelo, versão, função e curva utilizada, além da sua informação de relação do transformador de corrente. Na Tabela 1, são apresentados os dados atualmente vigentes nos 28 bays ilustrados na Fig. 2.

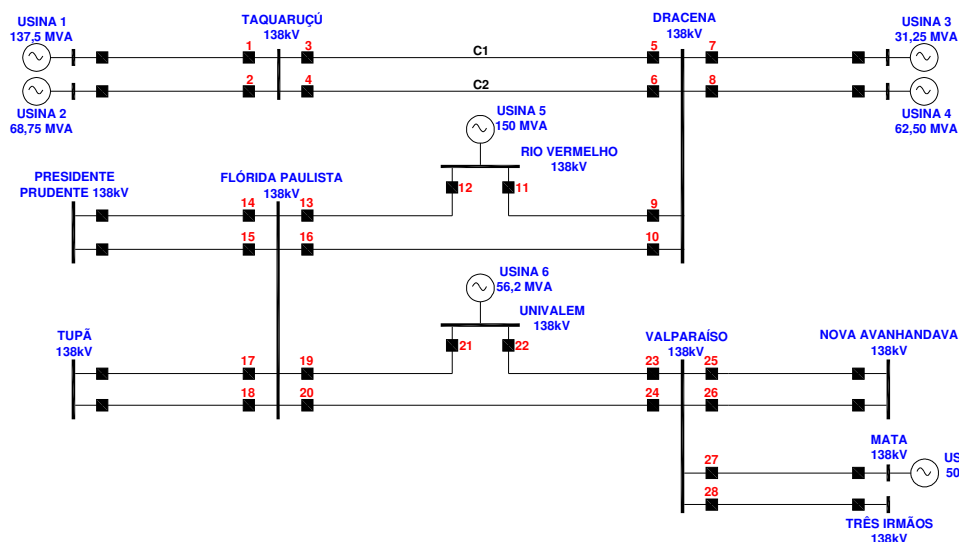


FIGURA 2 – Características do Sistema Elétrico Analisado.

Tabela 1 – Ajustes Vigentes

PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE						PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE NEUTRO					
POSIÇÃO DO RELÉ	TIPO RELÉ	RTC	PICKUP	CURVA	TIME LEVEL	POSIÇÃO DO RELÉ	TIPO RELÉ	RTC*	PICKUP	CURVA	TIME LEVEL
1	REL670	800/5 A	800 A	NI	0,12	1	REL670	800/5 A	160 A	NI	0,21
2	REL670	800/5 A	624 A	NI	0,15	2	REL670	800/5 A	80 A	NI	0,28
3	-	-	-	-	-	3	7SK88	400/5 A	80 A	MI	0,25
4	-	-	-	-	-	4	7SK88	400/5 A	80 A	MI	0,25
5	-	-	-	-	-	5	IRD9	400/5 A	80 A	MI	3,00
6	-	-	-	-	-	6	CDG23	400/5 A	80 A	MI	0,25
7	REL670	800/5 A	720 A	NI	0,08	7	REL670	800/5 A	160 A	NI	0,15
8	REL670	600/5 A	720 A	NI	0,08	8	REL670	600/5 A	180 A	NI	0,14
9	REL670	800/5 A	632 A	NI	0,10	9	REL670	800/5 A	160 A	NI	0,19
10	-	-	-	-	-	10	RXIDE41	400/5 A	80 A	MI	0,60
11	REL670	800/5 A	632 A	NI	0,08	11	REL670	800/5 A	160 A	NI	0,12
12	REL670	800/5 A	632 A	NI	0,08	12	REL670	800/5 A	160 A	NI	0,16
13	REL670	400/5 A	640 A	NI	0,09	13	REL670	400/5 A	120 A	NI	0,20
14	-	-	-	-	-	14	IRD9	400/5 A	160 A	MI	4,00
15	-	-	-	-	-	15	IRD9	400/5 A	160 A	MI	4,00
16	-	-	-	-	-	16	CDG23	400/5 A	160 A	MI	0,40
17	-	-	-	-	-	17	IRD9	400/5 A	80 A	MI	4,00
18	REL670	800/5 A	960 A	NI	0,05	18	REL670	800/5 A	160 A	NI	0,12
19	-	-	-	-	-	19	7SJ64	800/5 A	120 A	NI	0,35
20	-	-	-	-	-	20	IRD9	400/5 A	80 A	MI	4,00
21	-	-	-	-	-	21	7SJ64	800/5 A	160 A	NI	0,16
22	-	-	-	-	-	22	7SJ64	800/5 A	120 A	NI	0,18
23	-	-	-	-	-	23	7SJ64	800/5 A	160 A	NI	0,22
24	-	-	-	-	-	24	RXIDE41	600/5 A	120 A	MI	0,35
25	CDD21	800/5 A	1000 A	NI	0,10	25	RXIDE41	800/5 A	80 A	MI	0,60
26	CDD21	800/5 A	1000 A	NI	0,10	26	RXIDE41	800/5 A	80 A	MI	0,60
27	7SJ64	1200/5 A	1500 A	NI	0,09	27	7SJ64	1200/5 A	132 A	NI	0,23
28	7SJ64	600/5 A	720 A	NI	0,05	28	7SJ64	600/5 A	126 A	NI	0,15

4.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Com base no sistema da Fig. 2, foi definido que os relés da posição 1, 2, 7, 8, 14, 15, 17, 18, 25, 26, 27 e 28 terão seus ajustes vigentes mantidos como fixos, pois representam a fronteira do sistema sob estudo. Como parte do processo de otimização, o CORDSEM estabeleceu corretamente os pares de relés, principal e retaguarda, de modo a buscar a coordenação ótima para todo o sistema. A Fig. 3, ilustra todos os 28 relés inseridos no CORDSEM, contemplando dados como relés alocados em cada bay, barra de origem, barra de destino, relação de transformação de corrente e tipo de curva escolhido. Ao alocar um dado relé, o programa busca automaticamente seus respectivos tapes e passos de incremento, os quais são necessários para o processo de otimização. Cabe destacar que o CORDSEM carrega o deck de curto circuito disponibilizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico Brasileiro (ONS) (BR1409.ANA), não sendo necessário, realizar nenhum equivalente da área em estudo.

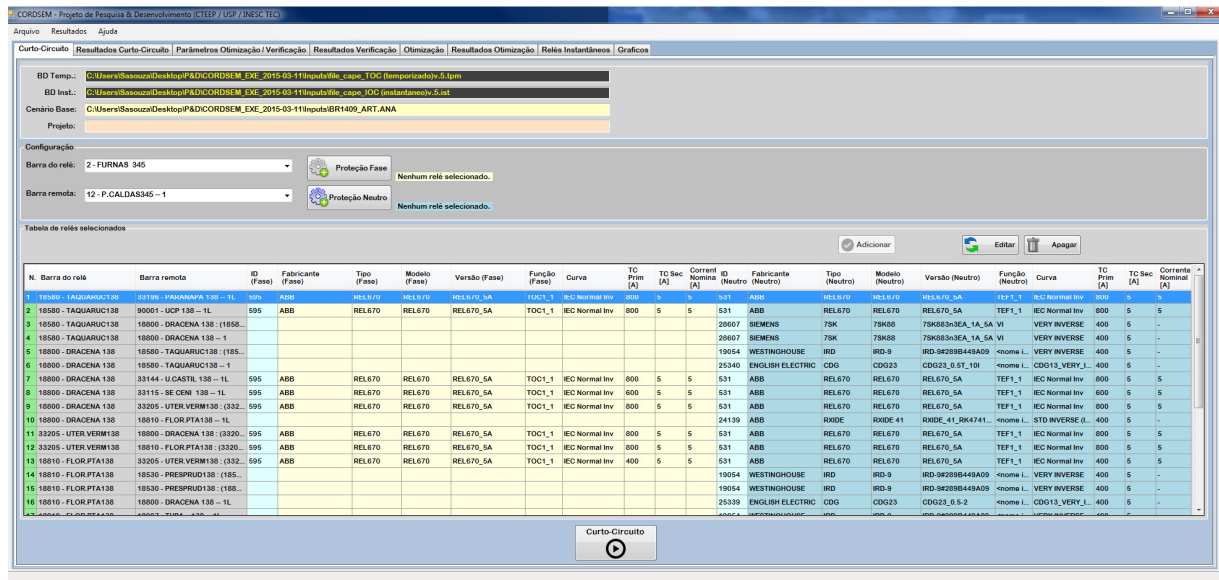


FIGURA 3 – Entrada do sistema em análise – CORDSEM.

A Tabela 2 confronta os ajustes vigentes com aqueles obtidos via processo de otimização do CORDSEM. Com relação a proteção de sobrecorrente de fase, foi observado que o algoritmo respeitou as restrições de que a partida desses elementos deveriam ser superiores ao máximo carregamento permitido para seu respectivo bay, e tanto os valores de pickup quanto time level são aqueles disponíveis nos relés empregados. A Fig. 4 ilustra o resultado do processo de otimização da proteção de sobrecorrente de fase. Percebe-se que curtos circuitos nas barras remotas, para seu respectivo bay, são eliminados em torno de 500ms. Na situação de falha da proteção principal percebe-se que a proteção de reguarda atuaria de forma coordenada. O CORDSEM ressaltava ainda alguns alertas, como identificado pelos números 2 (relé não sensível para curto circuito bifásico mínimo na barra remota), 3 (relé não sensível para curto circuito trifásico mínimo na barra remota), etc.

Tabela 2 – Ajustes Vigentes x Ajustes Otimizados

PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE FASE						PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE DE NEUTRO					
POSIÇÃO DO RELÉ	AJUSTES VIGENTES		AJUSTES OTIMIZADOS		CURVA	POSIÇÃO DO RELÉ	AJUSTES VIGENTES		AJUSTES OTIMIZADOS		CURVA
	PICKUP	TIME LEVEL	PICKUP	TIME LEVEL			PICKUP	TIME LEVEL	PICKUP	TIME LEVEL	
1	800 A	0,12	800 A	0,12	NI	1	160 A	0,21	160 A	0,21	NI
2	624 A	0,15	624 A	0,15	NI	2	80 A	0,28	80 A	0,28	NI
3	-	-	-	-	-	3	80 A	0,25	<u>160 A</u>	<u>0,06</u>	MI
4	-	-	-	-	-	4	80 A	0,25	<u>160 A</u>	<u>0,11</u>	MI
5	-	-	-	-	-	5	80 A	3,00	80 A	<u>1,80</u>	MI
6	-	-	-	-	-	6	80 A	0,25	80 A	<u>0,26</u>	MI
7	720 A	0,08	720 A	0,08	NI	7	160 A	0,15	160 A	0,15	NI
8	720 A	0,08	720 A	0,08	NI	8	180 A	0,14	180 A	0,14	NI
9	632 A	0,10	<u>1032 A</u>	<u>0,05</u>	NI	9	160 A	0,19	<u>120 A</u>	<u>0,29</u>	NI
10	-	-	-	-	-	10	80 A	0,60	<u>160 A</u>	<u>0,26</u>	MI
11	632 A	0,08	<u>912 A</u>	<u>0,05</u>	NI	11	160 A	0,12	<u>88 A</u>	<u>0,16</u>	NI
12	632 A	0,08	<u>960 A</u>	<u>0,05</u>	NI	12	160 A	0,16	<u>104 A</u>	<u>0,22</u>	NI
13	640 A	0,09	<u>1024 A</u>	<u>0,05</u>	NI	13	120 A	0,20	<u>88 A</u>	<u>0,24</u>	NI
14	-	-	-	-	-	14	160 A	4,00	160 A	4,00	MI
15	-	-	-	-	-	15	160 A	4,00	160 A	4,00	MI
16	-	-	-	-	-	16	160 A	0,40	<u>80 A</u>	<u>0,48</u>	MI
17	-	-	-	-	-	17	80 A	4,00	80 A	4,00	MI
18	960 A	0,05	960 A	0,05	NI	18	160 A	0,12	160 A	0,12	NI
19	-	-	-	-	-	19	120 A	0,35	<u>104 A</u>	<u>0,32</u>	NI
20	-	-	-	-	-	20	80 A	4,00	80 A	<u>7,20</u>	MI
21	-	-	-	-	-	21	160 A	0,16	<u>120 A</u>	<u>0,24</u>	NI
22	-	-	-	-	-	22	120 A	0,18	<u>104 A</u>	<u>0,23</u>	NI
23	-	-	-	-	-	23	160 A	0,22	<u>184 A</u>	<u>0,25</u>	NI
24	-	-	-	-	-	24	120 A	0,35	120 A	<u>1,10</u>	MI
25	1000 A	0,10	960 A	0,10	NI	25	80 A	0,60	80 A	0,60	MI
26	1000 A	0,10	960 A	0,10	NI	26	80 A	0,60	80 A	0,60	MI
27	1500 A	0,09	1500 A	0,09	NI	27	132 A	0,23	132 A	0,23	NI
28	720 A	0,05	720 A	0,05	NI	28	126 A	0,15	126 A	0,15	NI

otimização, a aplicação da técnica EPSO e a execução da coordenação de vários pares de relés simultaneamente. Estas características podem minimizar significativamente o tempo necessário para efetuar e analisar estudos de coordenação de proteção de relés de sobrecorrente direcionais, sobretudo em sistemas de transmissão complexos com várias malhas e vários pares de relés. O trabalho permitiu ainda uma análise de uma área considerando 28 bays, relés de tecnologia diferentes, filosofia de ajustes de proteção, bem como a consideração de informações importantes como as respectivas relações de transformação de corrente e o limite máximo de carregamento permitido de cada bay, tornando a análise o mais realista possível. Os ajustes otimizados, encontrados pela metodologia, tiveram resultados satisfatórios e condizentes com a filosofia de proteção praticada pelos engenheiros de proteção. Após o processo de otimização dos ajustes, estes foram inseridos no CORDSEM como dados de verificação para que pudessem ser analisados, considerando a indisponibilidade de geração de biomassas (sazonalidade), onde percebeu-se que poucos alertas foram gerados, significando que os ajustes encontrados não teriam nenhum impacto mais severo decorrente dessa condição operativa. Por fim, destaca-se que a metodologia implementada se destacou com uma excelente ferramenta para área de estudos de proteção, complementando a *expertise* dos engenheiros de estudos de proteção da companhia.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) L.G. Hewitson, M. Brown, and R. Balakrishnan, *Practical Power Systems Protection*. Elsevier – Newnes, 2004.
- (2) P. M. Anderson, *Power System Protection*. New York: McGraw-Hill, 1999.
- (3) D. S. Nair, S. Reshma, "Optimal Coordination of Protective Relays," in *Proc. 2013 International Conference on Power, Energy and Control*. pp. 239-244.
- (4) J. Sadeh, V. Amintojjar, M. Bashir, "Optimal Coordination of Overcurrent and Distance Relays with Hybrid Genetic Algorithm," in *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, pp. 1-5.
- (5) J. Sadeh, V. Amintojjar, M. Bashir, "Coordination of Overcurrent and Distance Relays Using Hybrid Particle Swarm Optimization," in *2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection*, v. 2, pp. 1130-1134.
- (6) V. Miranda and N. Fonseca, "EPSO – Evolutionary Particle Swarm Optimization, a new algorithm with applications in power systems". in: *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002. Asia Pacific: 2002*, v. 2, pp. 745 – 750.
- (7) H. Leite, J. Barros, V. Miranda, "The evolutionary algorithm EPSO to coordinate directional overcurrent relays". In: *10th IET International Conference on Development in Power System Protection*, Manchester, 2010, pp.1-5.
- (8) Centro de pesquisas de energia elétrica (CEPEL). *Anafas – Análise de faltas simultâneas v6.3: Manual do usuário*. Rio de Janeiro, CEPEL, 2011.
- (9) CAPE – *Computer-Aided Protection Engineering*. Electrocon International Incorporated.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Silvio Aparecido de Souza é Engenheiro Eletricista, com ênfase em Eletrotécnica, pela Universidade Federal de Mato Grosso (2001), Mestre em Qualidade da Energia Elétrica (2004) e Doutor em Proteção de Sistemas Elétricos, todos pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Possui 14 anos de experiência em temas relacionados a sistemas elétricos de potência. Trabalha, desde Dezembro de 2008 na área de estudos de sistemas de proteção, no Departamento de Operações da CTEEP.

Nilson José Francischetti Junior é Engenheiro Eletricista, com ênfase em Eletrotécnica, pela Faculdade de Engenharia de São Paulo – FESP (1998); Pós-Graduação em Sistemas de Proteção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ (2004). Possui 29 anos de experiência em temas relacionados a sistema elétricos de potência. Trabalha, desde Dezembro de 1986 na área de estudos de sistemas de proteção, no Departamento de Operações da CTEEP.

Rene Gomes de Lima é Engenheiro Eletricista, pela Faculdade Anhanguera de Jundiaí (2011); Trabalha, desde 2012 na área de estudos de sistemas de proteção, no Departamento de Operações da CTEEP.

Saulo Trento é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo e mestre em Energias do Século XXI pela École Polytechnique da França (2011). Trabalhou com análise de dados do setor elétrico em projetos de pesquisa no Brasil (GEPEA-USP, 2007) e na França (RTE, 2010). Desde 2012 é Engenheiro de Estudos de Operação e Proteção na CTEEP.