

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE EMPREGO DE RELÉS DE DISTÂNCIA MICROPROCESSADOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO COM COGERAÇÃO

Paulo César Scarassati¹
(pcsc@cpfl.com.br)

Evaldo Flausino Senne¹
(flausino@cpfl.com.br)

Newton José de Salles¹
(njsalles@cpfl.com.br)

Paulo Márcio da Silveira²
(pmarcio@iee.efei.br)

Carlos Alberto Mohallem Guimarães²
(mohallem@iee.efei.br)

(1) Companhia Paulista de Força e Luz

(2) Universidade Federal de Itajubá

Resumo

A operação de usinas de eletricidade de um modo geral, e principalmente no sistema de distribuição de uma concessionária de energia elétrica, apresenta particularidades que podem vir a ser problemas de grandes proporções para produtores que pretendam operar com geração própria em paralelo com este sistema.

O atendimento de cargas de forma radial e isolada não se torna atrativa, devido à baixa confiabilidade dessa configuração operativa, quando comparada a um sistema interligado.

Os requisitos técnicos de proteção visam garantir a integridade dos sistemas elétricos e equipamentos da concessionária e do autoprodutor na ocorrência de defeitos.

Um aspecto que tem preocupado as concessionárias, é o desempenho do processo de distribuição de energia elétrica, que está relacionado a falhas que venham a ocorrer no sistema sem o desligamento do mesmo, com níveis de curto-circuito bastante baixos, ou seja, a corrente de curto-circuito de fase estar próxima a corrente de carga.

Este tipo de falta constitui um problema bastante grave que prejudica o desempenho da rede de energia elétrica, podendo por em risco a vida de pessoas e a diminuição da vida útil de alguns equipamentos.

Este trabalho tem como objetivo estudar e avaliar o método a ser utilizado para detecção destas faltas quando da conexão de um produtor independente de energia elétrica em paralelo com o sistema de distribuição (15/25kV) da CPFL, sob os aspectos de proteção da interconexão, qualidade de fornecimento e operação do sistema envolvido.

Palavras Chaves – Distribuição, Relés de Distância, Cogeração, Produtor Independente de Energia Elétrica.

Introdução

Com a interligação de produtores independentes de energia às redes de distribuição das concessionárias, mudaram-se radicalmente os requerimentos dos esquemas de proteção e controle para permitir a interconexão das indústrias/usinas (com geração) com a empresa concessionária. Não existe

hoje uma normalização nacional de aplicação geral a respeito e, devido às diversidades na configuração desta interconexão, muitos projetos não contemplam todos os aspectos necessários de proteção e controle.

Atualmente os relés de proteção microprocessados permitem incorporar em um só equipamento, diversas funções a fim de proporcionar um esquema com todas as características requeridas, fazendo uso de todos os avanços tecnológicos que permitem maior confiabilidade a um custo mais baixo.

Este trabalho apresentará um dos problemas mais comuns deste tipo de interconexão, onde as tensões e correntes de curto-circuito de fase e de carga estão próximas umas das outras e propõe soluções aplicando relés digitais microprocessados de impedância, sem pretender mostrar uma revisão exaustiva de todas as configurações possíveis. Não se espera obter uma solução de aplicação universal e sim a melhor solução para a aplicação.

O esquema apresentado será aplicado para um autoprodutor com 5MVA de capacidade (dois geradores de 2.5 MVA), interligado a um circuito de 13.8 kV e no qual além das funções 67, 67N, 59, 59N, 81, utilizou-se também a função de distância (21), para detecção de falta onde a corrente de curto-circuito de fase é próxima a corrente de carga.

Histórico

Com a conexão de geradores em paralelo com o sistema de distribuição, o autoprodutor deverá se preocupar com as proteções a serem instaladas no disjuntor de interligação e demais equipamentos que façam o paralelismo, de modo que o desfaça e o bloqueie prontamente sempre que ocorrer quaisquer distúrbios (curto-circuito, fase aberta, variação acentuada de tensão e/ou frequência, etc.) ao longo do alimentador até a subestação da concessionária (tronco e ramais), visando à preservação de suas próprias instalações.

O esquema de proteção do autoprodutor deverá ser suficientemente rápido, de forma a não prejudicar a operação do religamento automático de alta velocidade dos circuitos alimentadores do sistema elétrico. Esta medida tem a finalidade de evitar que o sistema feche o paralelo fora de sincronismo, podendo danificar o gerador do autoprodutor, assim como minimizar o tempo de interrupção para os demais consumidores.

Como a filosofia de proteção do sistema foi desenvolvida para a distribuição de energia elétrica, os relés a serem implementados nas dependências do autoprodutor devem garantir a saída de paralelo do mesmo, quando houver faltas ou defeitos na linha de distribuição, garantindo assim, a segurança requerida.

Diante do exposto, são solicitadas as adaptações adequadas nas subestações do autoprodutor, visando a continuidade de fornecimento e também proporcionando a segurança aos geradores a serem conectados e aos que irão operar os ativos da concessionária.

A figura 1 mostra, para este caso, o esquema de proteção implementado no autoprodutor.



O circuito é constituído da seguinte forma, conforme desenho acima:

Trecho de Altinópolis – US. Esmeril

Cabo A47

26,40 km

$R = 3,5106 \, \Omega$

$X = 10,2968 \, \Omega$

$R0 = 8,3134 \, \Omega$

$X0 = 53,9361 \, \Omega$

Trecho de US. Esmeril 04 – Sto. Antonio da Alegria

Cabo S40

34,34 km

$R = 19,2953 \, \Omega$

$X = 17,1789 \, \Omega$

$R0 = 25,6881 \, \Omega$

$X0 = 73,7023 \, \Omega$

Trecho de Sto. Antonio da Alegria – fim de trecho

Cabo S10

22,97 km

$R = 33,33 \, \Omega$

$X = 11,4987 \, \Omega$

$R0 = 37,2774 \, \Omega$

$X0 = 48,7670 \, \Omega$

Trecho de US. Esmeril 04 – fim de trecho

Cabo S10

20,00 km

$R = 32,0692 \, \Omega$

$X = 10,5413 \, \Omega$

$R0 = 35,6337 \, \Omega$

$X0 = 44,1518 \, \Omega$

Níveis de carga e de curto circuito

A capacidade de geração do autoprodutor, mesmo bem dimensionada, apresenta condições elétricas desfavoráveis, onde as tensões e correntes de curto-circuito no sentido dos geradores para o sistema da concessionária podem atingir valores muito pequenos, chegando próximo à corrente de carga, onde relés de sobrecorrente ou relés de tensão não conseguem detectar o defeito. Serão utilizados relés de impedância para detectar tais faltas.

Para um curto circuito entre fases na barra de 13.8 kV da concessionária, a corrente de falta é de 2532 A. Para este defeito, com a usina injetando 100% de sua exportação admissível, tem-se uma contribuição de corrente de falta da usina de 327 A. Para uma exportação de apenas 50%, esta corrente cai para 211 A (para curtos-circuitos trifásicos), ambas muito próximas a corrente de carga. Devido a esta característica, a função de proteção de distância foi habilitada e ajustada para que possa alcançar este tipo de falta e eliminá-la com segurança, pois os relés de sobrecorrente não atuam para defeitos com 50% de exportação pela usina.

No entanto, é necessário ajustar a função de distância para não disparar instantaneamente para defeitos em outros alimentadores que saem da subestação da concessionária e não atuar para transitórios de exportação de carga injetados no sistema que possam ser normais.

Nas figuras 3, 4, 5 e 6 são mostrados os níveis de carga e de faltas/contribuições respectivamente.

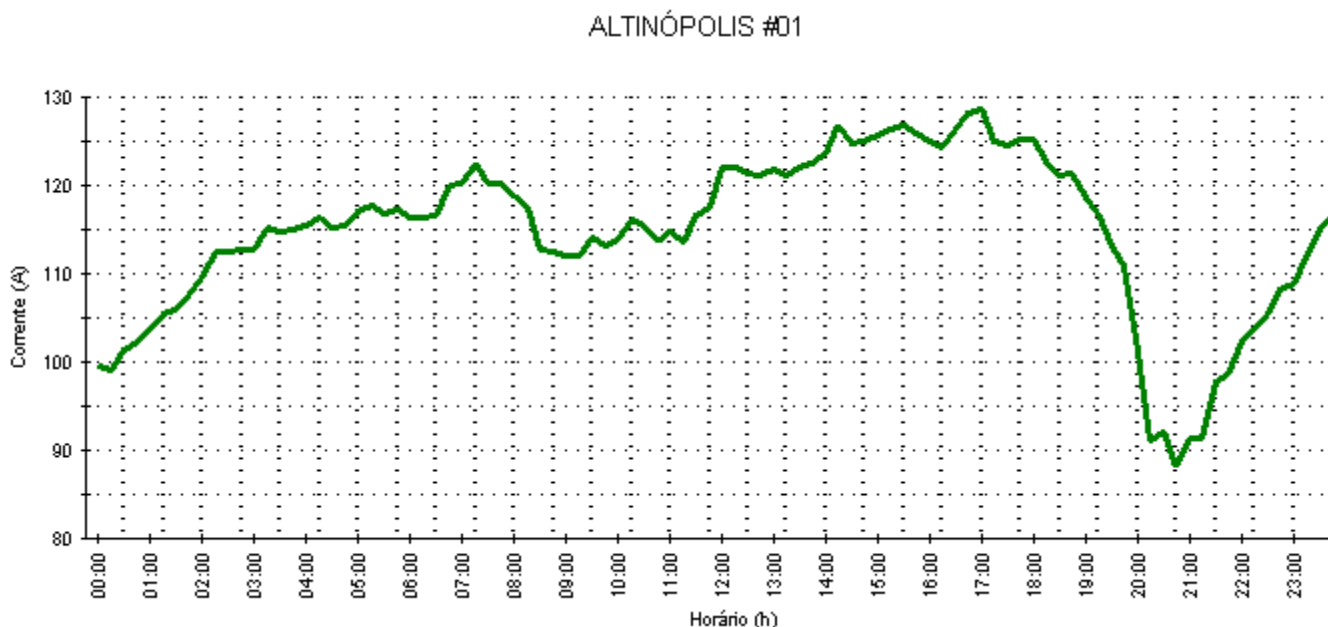


Figura 3 – Carga média diária do ALIM. #01

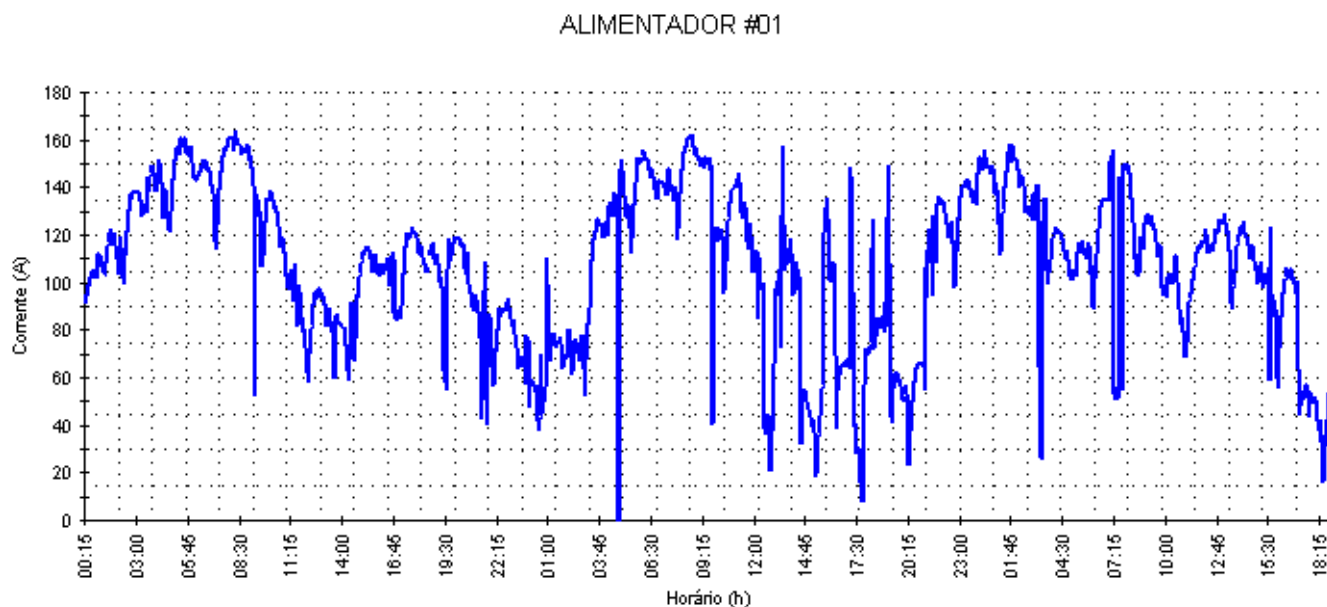


Figura 4 – Carga média mensal

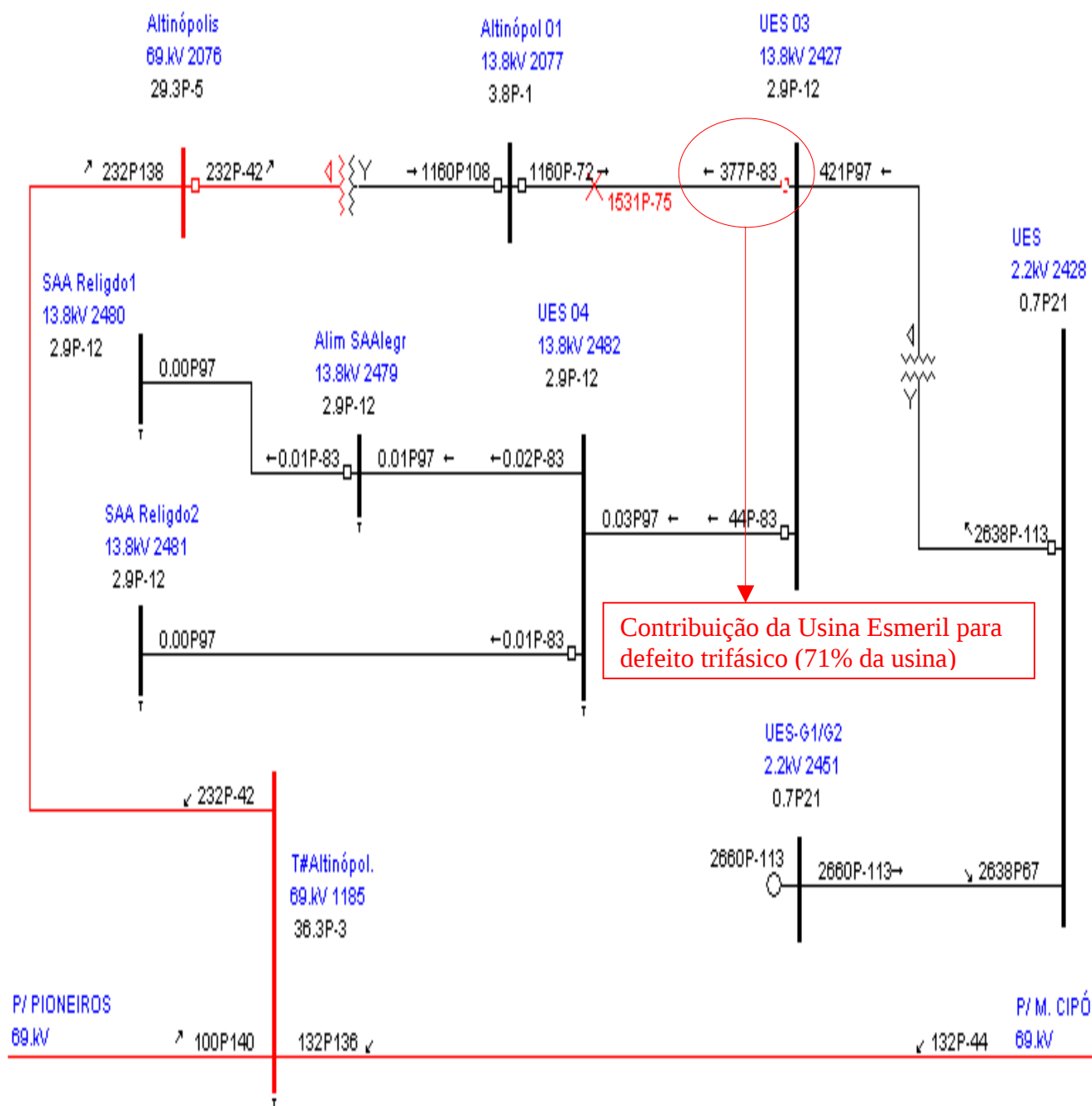


Figura 5 – Curto circuito trifásico

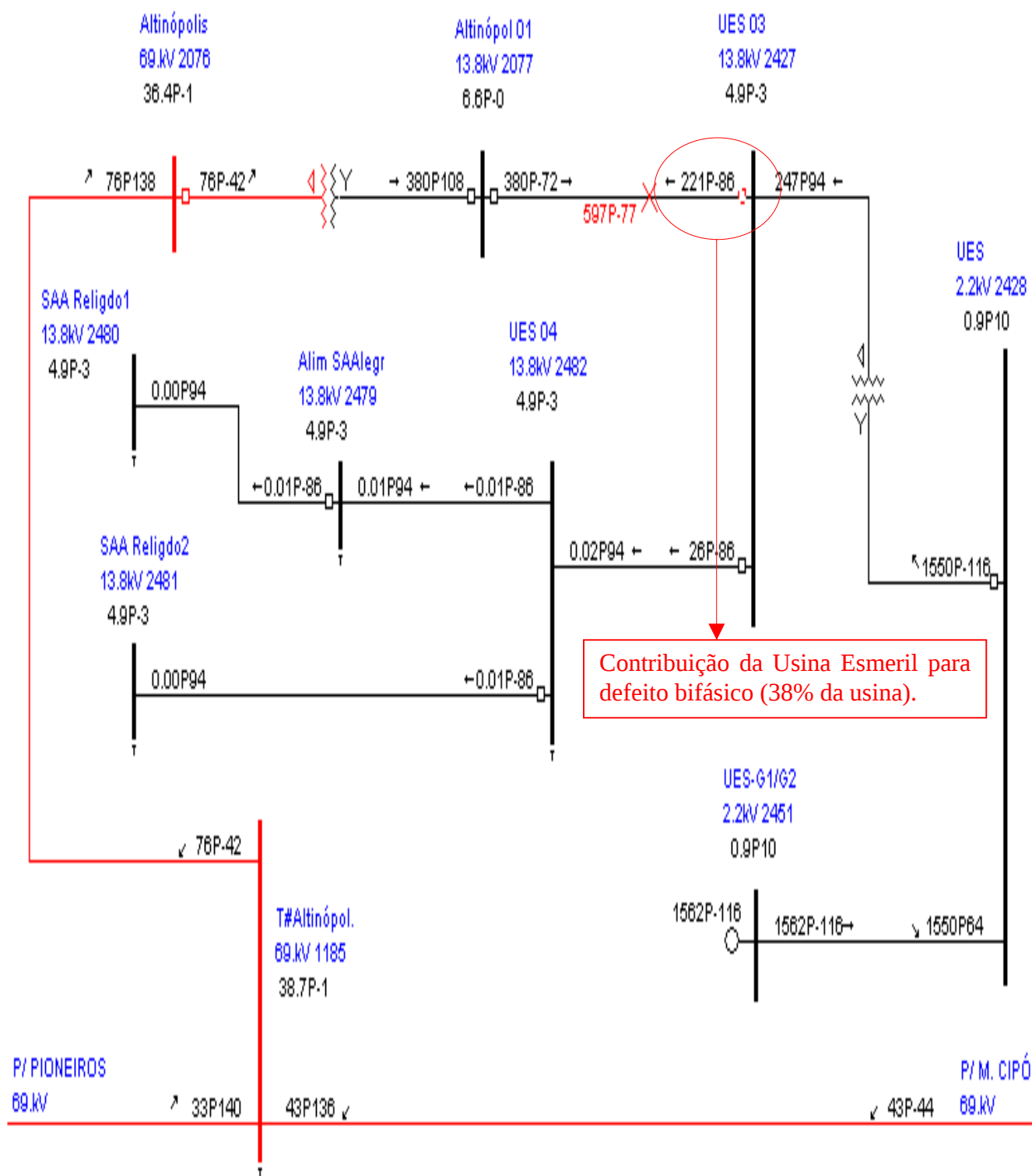
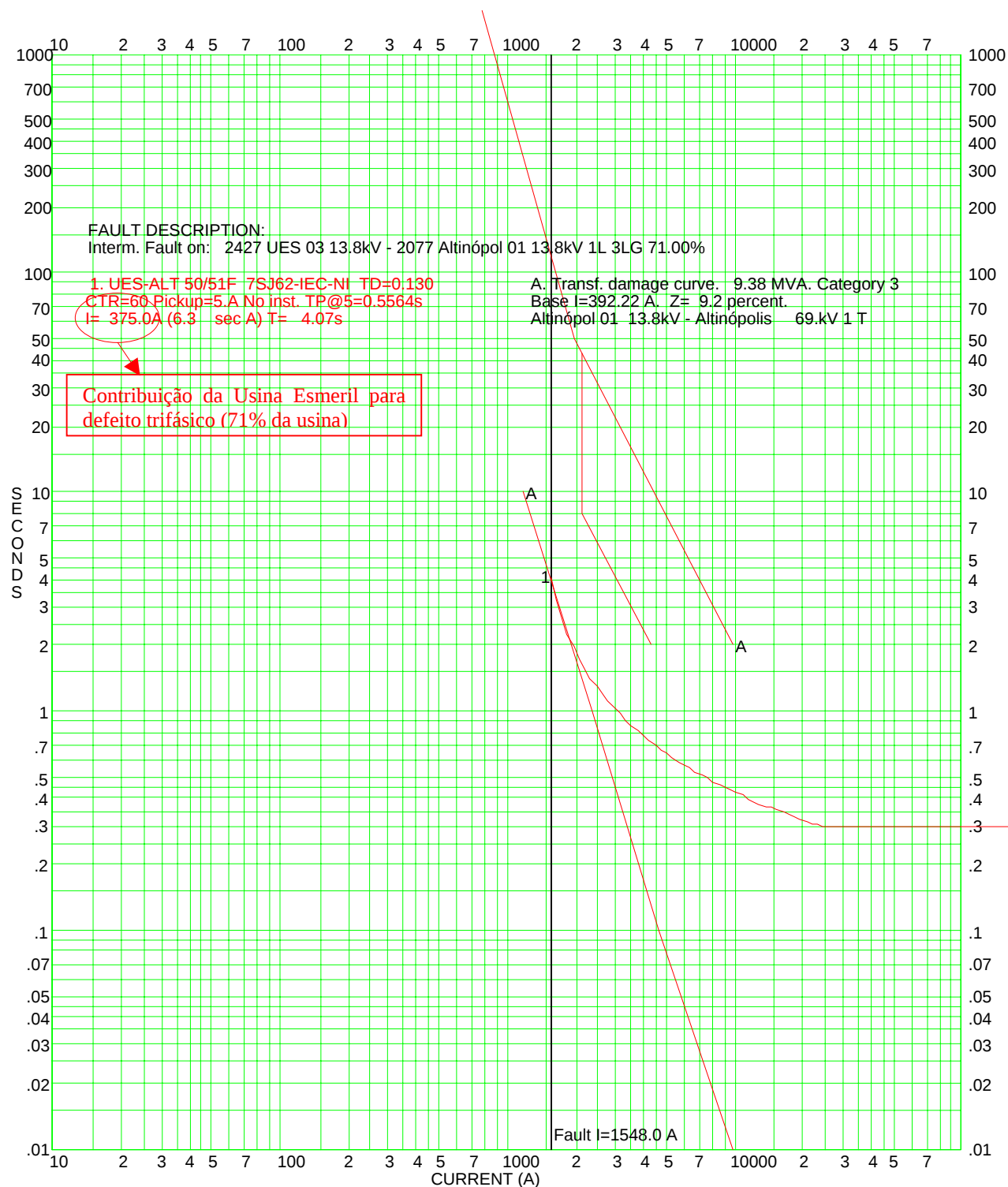


Figura 6 – Curto circuito bifásico

Como exemplo, foi simulado um curto-circuito trifásico a 71% e um curto-circuito bifásico a 38% da linha, ambos a partir da Usina Esmeril. Tanto no caso do curto-circuito trifásico quanto do bifásico os relés de sobrecorrente atuam no limite de seus ajustes, sendo o caso bifásico um pouco pior.



TIME-CURRENT CURVES @ Voltage		By
For		No.
Comment		Date

Figura 7 – Curva de atuação da função de sobrecorrente (cc3φ a 71% da Usina Esmeril)

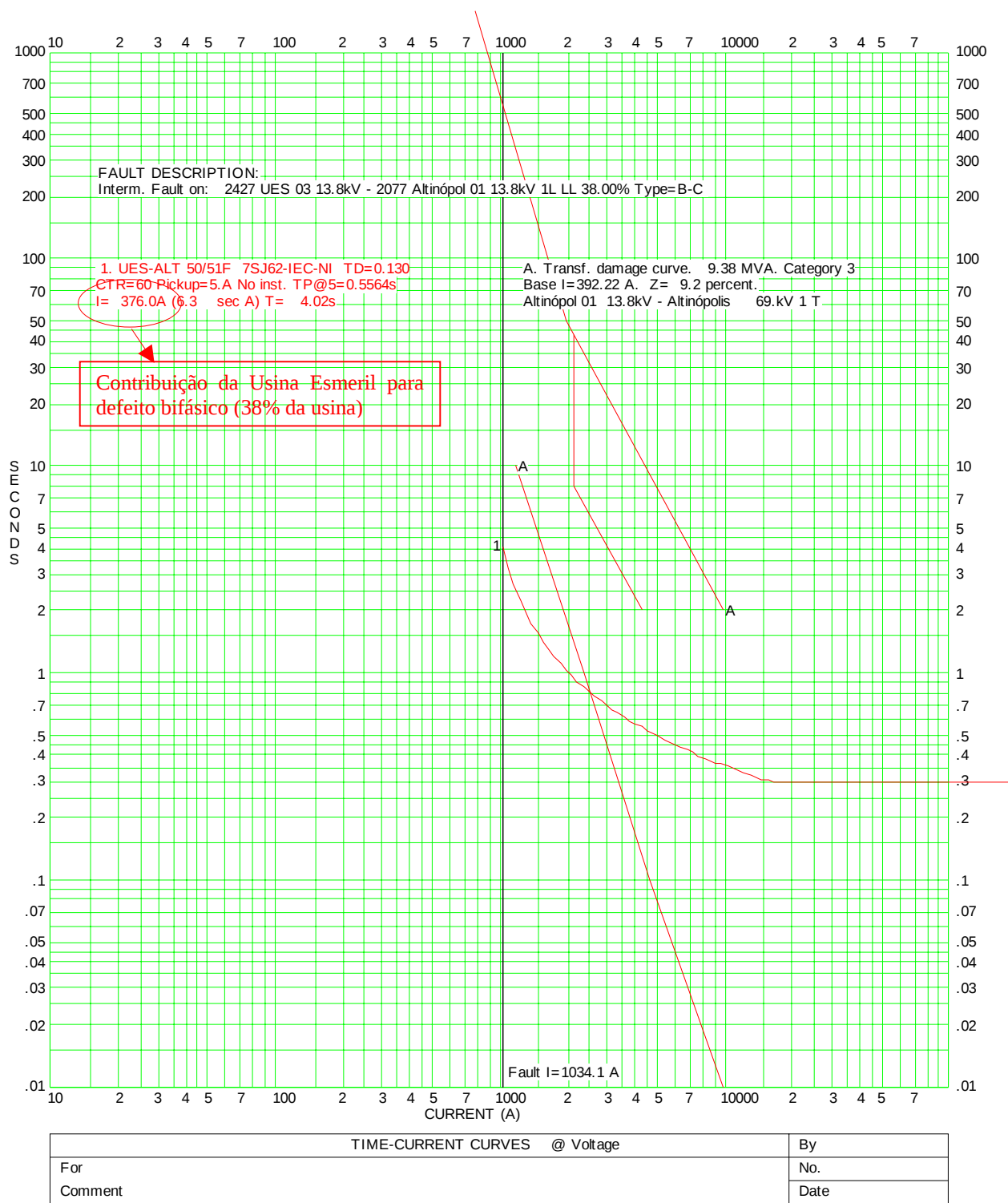


Figura 8 – Curva de atuação da função de sobrecorrente (cc $\phi\phi$ a 71% da Usina Esmeril)

Para defeitos trifásicos ou bifásicos line-end, com abertura do terminal da subestação Altinópolis (ALT#01), os relés de sobrecorrente do disjuntor alimentador UES#03 não atuam, bem como para uma exportação de 50% pela usina Esmeril.

Funcionalidades de Proteção

O relé a ser utilizado possui as seguintes principais funções: sobrecorrente direcional (67 PGQ), sobretensão (59 PGQ), frequência (81 O/U), distância (21 PG), subtensão (27), sobrecorrente (50/51 PGQ), verificação de sincronismo (25), religamento (79) e demais funções lógicas secundárias.

Será implementada neste circuito a função de sobrecorrente direcional (67), sobrecorrente direcional de terra (67N), sobretensão (59), sobretensão de terra (59N), frequência (81) e em complemento a esta configuração a função de distância de fase (21) e distância de terra (21N).

Em específico, para a proteção de distância, será implementada a proteção por zona em relés de distância, isto é, três zonas de proteção, sendo a 1ª e 2ª na direção da linha e a 3ª reversa.

Devido às incertezas na medida da impedância de falta, resultante dos erros de medida, erros de transformação (TC's e TP's) e a imprecisão do valor da impedância da linha, a qual usualmente é obtida por intermédio de cálculos e não por medição, a primeira zona, que é intrinsecamente instantânea, ou seja, não possui temporização intencional ($t_1 = 0$), será ajustada em 100% do valor da impedância da linha de distribuição protegida (Z1). As demais zonas serão temporizadas e serão ajustadas conforme descrito a seguir.

A segunda zona (Z2) será ajustada para 120% do valor da impedância da linha protegida, com temporização de 500ms. Seu objetivo principal é proteger de forma primária o trecho final da linha (devido às incertezas citadas acima), o barramento adjacente (pois o barramento de 15 kV da subestação Altinópolis não possui proteção própria), além de fornecer proteção de retaguarda ao início dos alimentadores que saem deste barramento. Daí a necessidade de sua temporização, a fim de se coordenar com as funções instantâneas dos relés de sobrecorrente de cada disjuntor alimentador e com a função temporizada dos relés de sobrecorrente da cabine de 15 kV.

A terceira zona (Z3) será parametrizada para atuação reversa, com valor de ajuste da função de proteção alcançando o trecho inicial do alimentador UES-04, até Santo Antonio da Alegria. Possui como objetivo fornecer proteção de retaguarda para os relés do disjuntor alimentador UES-04, em situação normal ou em "by-pass", conforme as necessidades do sistema, possuindo a temporização ajustada de 500 ms.

A quarta zona (Z4) não será ajustada.

Sendo que a primeira zona não deve sobrepor à proteção de barra e dos equipamentos situados na outra ponta da linha, as outras zonas, a princípio, trabalham em retaguarda da primeira, além de servir a propósitos de teleproteção, se necessário (não é o caso desta aplicação).

Considerando três trechos de impedância em cascata e definidos pelos pontos A, B e C, o relé de distância atua conforme mostrado na figura 9:

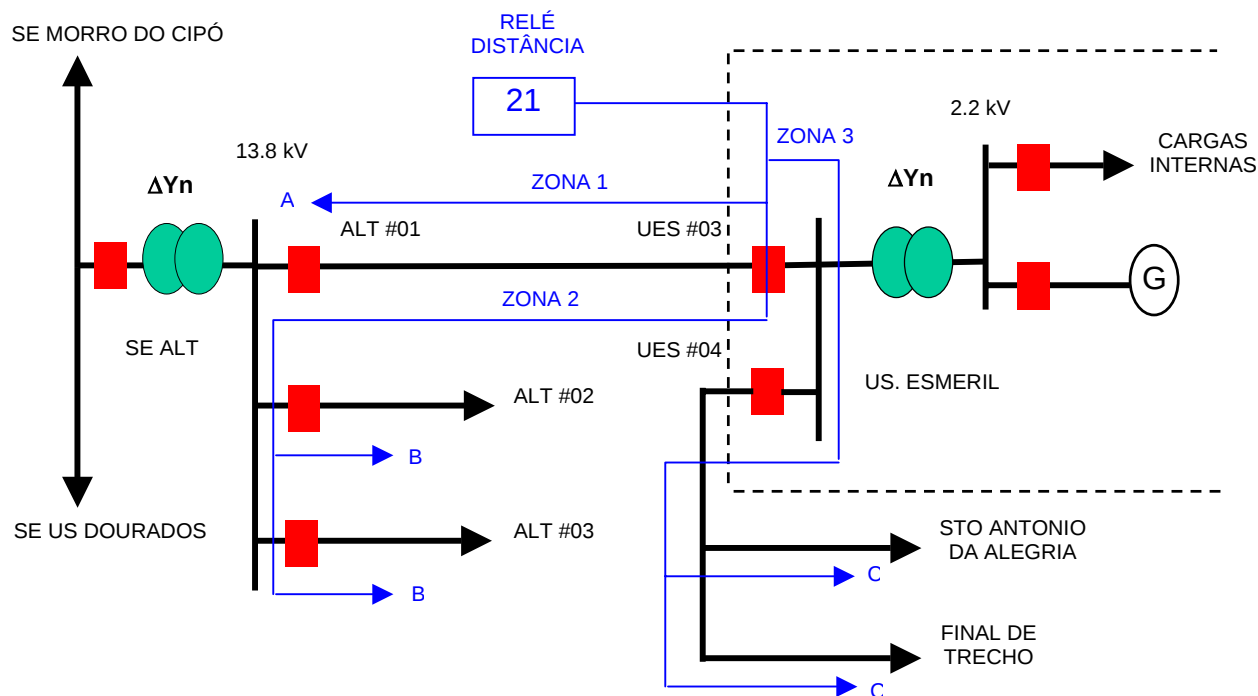


Figura 9 - Princípio de atuação da proteção de distância graduado em zonas

Vantagens/Desvantagens do Esquema Adotado

Além de detectar faltas fase-fase com níveis bastante baixos no circuito, o esquema permite que a usina exporte um limite mínimo de energia. Caso a usina perca um gerador, não há necessidade de desligamento do outro gerador.

Com o sistema anterior, a proteção de sobrecorrente não conseguia detectar estas faltas sem que a usina exportasse a totalidade de energia (mesmo assim a atuação era comprometida), ou seja, era um sistema sem flexibilidade de operação/exportação de energia por parte da usina.

O esquema também proporciona uma retaguarda para a proteção principal do outro alimentador (UES#04), mesmo quando este se encontra em by-pass. Neste caso, a 3ª zona fica como retaguarda da proteção do disjuntor geral de 2,2 kV da usina. A 3ª zona do relé tem seu alcance definido para cobrir o alimentador UES#04 até o primeiro religador de linha, próximo a Santo Antonio do Aracanguá.

A desvantagem do sistema diz respeito ao sobrealcance do relé quando a usina está fora do paralelo com a concessionária. Para curtos-circuitos fase-fase à frente do religador do alimentador UES#04, a 3ª zona do relé de distância do alimentador UES#03 (reversa) sobre-alcança o valor normal ajustado, isto é, a impedância medida pelo relé é menor que a real, ou em outras palavras, seria como se a característica circular ficasse maior, quer dizer, o relé atua quando deveria bloquear, podendo haver descoordenação com a proteção deste religador. Neste caso, foi utilizado a lógica de mudança de grupos de ajustes, onde o relé se ajusta automaticamente para esta situação.

Custo/Benefício e

Em se tratando de custo/benefício, a aplicabilidade desta solução se torna viável, pois apesar do valor de um rele com função de distância ser mais alto do que a de um rele somente com função de corrente, pode-se ter a usina exportando apenas 50% de sua energia. Também não teremos em nenhuma situação, a usina gerando separadamente do sistema, ou seja, na condição de ilha. Além disto, tem-se a aplicação da 3ª zona reversa como proteção de retaguarda do alimentador UES#04 e da própria barra de 13,8 kV da usina.

Conclusões

Com a adoção dos critérios apresentados, há condição de se manter a mesma qualidade de fornecimento de energia aos consumidores atendidos pelo mesmo alimentador em que estão conectados autoprodutores, com segurança ao próprio sistema elétrico e ao pessoal de operação e manutenção dos sistemas de distribuição.

Com a aplicação da solução, verifica-se o aporte de benefícios ao próprio acessante, que consiste na garantia de desconexão o mais rapidamente possível, para qualquer tipo de falta que possa ocorrer e de demais funções implementadas, aumentando a confiabilidade do sistema envolvido. Espera-se assim, que seja mantida também, a integridade dos sistemas elétricos e de equipamentos da Concessionária, em situações de defeitos.

Referências Bibliográficas

- [1] Mozina, C. J.: *Proteccion de interconexiones de generadores de IPP usando tecnologia digital*. Reunion de Verano de Potencia - Acapulco, México. 1999.
- [2] Senne, E. F.; Scarassati, P. C.; Suzuki, M.; Iwamoto, H.: *Critérios de conexão em paralelo com o sistema de distribuição da CPFL*. XV Sendi. 2002.
- [3] Senne, E. F.; Mohallem, C. A. G.; Scarassati, P. C.; Salles, N. J.; Iwamoto, H.; Suzuki, M.: *Critérios de proteção e manobra condicionada para a conexão de autoprodutores em paralelo com o sistema de distribuição da CPFL*, VII. STPC 2003.
- [4] Norma Técnica (CPFL): *Ligação de autoprodutores em paralelo com o sistema de distribuição da CPFL*.
- [5] Blackburn, J. Lewis: *Protective Relaying - Applications*
- [6] Norma Técnica (CPFL): *Ligação de autoprodutores em paralelo com o sistema de transmissão da CPFL*.
- [7] Eternod, J. L.; Schweitzer, E. O.: *Ventajas de los relevadores multifuncionales para proteccion de enlaces de generación independientes en redes de distribución* – México, D.F.
- [8] Senne, E. F.; Mohallem, C. A. G.; Scarassati, P. C.; Dias, E. B.: *Interconexão de Geradores com o Sistema Elétrico de Distribuição*, IEEE 2004 Brasil.
- [9] Schweitzer III, Edmund O.; Scheer, Gary W.; Feltis, Mark W.: *Uma Nova Abordagem da Proteção da Distribuição*, Segundo Simpósio Internacional sobre Automação da Distribuição e Gerenciamento do Lado da demanda.

INFORMAÇÃO BIOGRÁFICA DOS PALESTRANTES

Palestrante: PAULO CESAR SCARASSATI

Cargo: Engenheiro Eletricista da área de Sistemas de Proteção e Controle

Companhia: CPFL Energia

País: Brasil

Engenheiro Eletricista em Sistemas de Proteção e Controle do Departamento de Engenharia da CPFL Energia. Trabalha na empresa desde 1984, e atua na área de pesquisa e desenvolvimento de soluções tecnológicas que minimizem o custo de implementação de sistemas de proteção e controle.

Membro do Grupo de Trabalho de Estatística, Análise e Desempenho da Proteção do ONS. É pós-graduado em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI-MG e aluno de mestrado na área de Sistemas de Proteção e Controle na mesma universidade.

Palestrante: EVALDO FLAUSINO SENNE

Cargo: Engenheiro Eletricista da Área de Gestão da Proteção da Distribuição

Companhia: CPFL Energia

País: Brasil

Engenheiro Eletricista em Gestão da Proteção do Departamento de Gestão de Ativos da CPFL Energia. Trabalha na concessionária desde 1994, na qual adquiriu experiência nas áreas de planejamento e proteção da distribuição.

É pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade de Franca – UNIFRAN e em Proteção de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI-MG e aluno de mestrado na área de Sistemas de Proteção na mesma universidade.

Palestrante: CARLOS ALBERTO MOHALLEM GUIMARÃES

Cargo: Professor Universitário

Entidade: Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI – MG)

País: Brasil

Engenheiro Eletricista, formado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI - 1980. Mestrado (M.Sc.) em engenharia elétrica na área de Sistemas de Circuitos pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC - 1986. Doutorado (Ph.D.) pela École Polytechnique de Montréal (Canadá) - 1995, onde lecionou ainda como chargé de cour no mestrado e doutorado.

É membro do IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, consultor ad-hoc do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e consultor da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Membro do CED – Centro de Excelência de Distribuição da Universidade de São Paulo, do ENERQ – Centro de Estudos em Regulação e Qualidade de Energia da USP, da FUPAI – Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria e da FAPEPE - Fundação de Apoio à Pesquisa, Ensino e Extensão de Itajubá.

Autor: PAULO MÁRCIO DA SILVEIRA

Cargo: Professor da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI – MG)

País: Brasil

É graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI em 1984. É Mestre em Ciências pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI, 1991, na área de sistemas de potência e recebeu também o título de Doutor em Engenharia pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC em 2001, na área de processamento de sinais e sistemas de informação. Trabalhou na Albrás - Alumínio do Brasil Ltda. (Belém, PA) e na Balteau - Produtos Elétricos (Itajubá) no período de 1985 a 1988. Instrutor e consultor da empresa Núcleo Tecnologia (Itajubá) no período de 1988 a 1993. Instrutor e consultor da FUPAI - Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (Itajubá) desde 1990. Em 1993 tornou-se professor do Departamento de Eletrotécnica da Universidade Federal de Itajubá ministrando aulas na graduação e na pós-graduação. Professor do Curso de Engenharia de Sistemas Elétricos - CESE (Eletrobrás) desde 1993. Membro do controle de estudos B5-Proteção e Automação do CIGRÉ-BRASIL. Autor de diversos artigos a nível nacional e internacional. Tem orientado trabalhos de formação acadêmica, alunos de mestrado e prestado consultoria e pesquisa para empresas como ANEEL, Bandeirantes, CEMAT, Light, etc. Suas áreas de interesse são Qualidade da Energia Elétrica, Proteção de Sistemas Elétricos e Processamento de Sinais aplicados a sinais de energia. Atual Coordenador do Curso de Especialização de Proteção do Sistema Elétrico – CEPSE.

Palestrante: NEWTON JOSÉ DE SALLES

Cargo: Engenheiro de Proteção Sênior

Companhia: CPFL Energia

País: Brasil

Engenheiro Eletricista ocupa o cargo de Engenheiro de Proteção Sênior no Departamento de Engenharia da CPFL Energia. Trabalha na empresa desde 1983, atuando na área de estudos e soluções em sistemas de proteção e controle.

Membro do Comitê de Estudos B5 – Proteção e Automação – do CIGRÉ-BRASIL. É aluno de mestrado do Departamento de Sistemas de Controle e Energia – DSCE da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.