



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

BR/GPC/23
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - V

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

ANÁLISE DE OCORRÊNCIAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO A PARTIR DO SISTEMA PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA DE OSCILOGRAMAS

Walter Martin H. Cuenca (*)
CEPEL

Marco Antonio M. Rodrigues
CEPEL

Carlos Julio Dupont
CEPEL

João Cândio C. de Oliveira
CEPEL

André Luiz Lins Miranda
CEPEL

RESUMO

Este artigo apresenta uma ferramenta para estudo de ocorrências de correntes de curto-circuito a partir das oscilografias armazenadas pelos RDPs e relés de proteção. Estas informações são obtidas do banco de dados do SINAPE.Net que realiza a análise automática de eventos de faltas em LTs e do DIANE que complementa as informações realizando levantamentos estatísticos. Para isso, a integração entre esses dois sistemas tornaram possível a caracterização do perfil e da frequência de faltas sofridas por uma LT de exemplo em um determinado período, mostrando resultados satisfatórios como ferramenta para investigar possíveis casos de superação de equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE

Registrador Digital de Perturbações, SINAPE.Net, Linhas de Transmissão, Superação de Equipamentos, DIANE.

1.0 - INTRODUÇÃO

O atual modelo do setor elétrico brasileiro vem promovendo a instalação de novas usinas térmicas, não previstas anteriormente no planejamento de longo prazo, em locais próximos aos grandes centros de carga do país. Sendo que, também, o Plano Decenal de Expansão – PDE-2021 (1) revela um expressivo crescimento das fontes de geração de eletricidade de origem renovável na matriz elétrica brasileira. Em vista disso, o Sistema Elétrico Brasileiro – SEB, assim como o da maior parte dos países, está se tornando cada vez mais complexo devido à entrada de grande variedade de fontes de geração. Este cenário acarreta um impacto na rede elétrica trazendo como consequência, entre outras, o aumento das correntes de carregamento dos equipamentos e, principalmente, a elevação do nível das correntes de curto-circuito em diversos pontos do sistema, nas subestações que se encontram próximas aos pontos de conexão das novas usinas, para valores antes não previstos, ocasionando a superação precoce das características nominais de diversos equipamentos relativos às linhas de transmissão e subestações, tais como os transformadores, disjuntores, para-raios, cabos para-raios das linhas de transmissão, barras, transformadores de corrente etc.

Estes equipamentos foram projetados e dimensionados para suportar condições de tensão e corrente limite para atender solicitações nominais e de emergência previstas na rede. No cenário de expansão, muitos desses equipamentos podem sofrer solicitações extremas não previstas, causando a superação dos mesmos. A superação pode ocorrer por corrente de curto-circuito (simétrica, assimétrica e crista), por corrente de carga e por tensão de restabelecimento transitória – TRT que precisam ser adequadamente tratadas pelas próprias concessionárias, pelos agentes e instituições do setor elétrico (2). Simplificando o cenário e o contexto do SEB, este artigo limita-se

(*) Av. Horácio Macedo, 354 – sala 263 - Bloco A – CEP 21.941-911 Rio de Janeiro, RJ, – Brasil
Tel: (+55 21) 2598-6623 – Fax: (+55 21) 2260-1340 – Email: martin@cepel.br

principalmente, ao tratamento das informações referentes a linhas de transmissão e suas correntes de curto-circuito e possíveis casos de superação a partir das medições dos valores armazenados pelos registradores de perturbações.

Diversas soluções, para o problema de superação (3,4), estão sendo mitigadas, entre elas é a substituição dos equipamentos superados das subestações já existentes. Mas a troca desses equipamentos tem custo elevado e gera um impacto negativo no sistema elétrico devido ao elevado tempo gasto de indisponibilidade necessário para a realização da operação, além de exigir uma política estratégica de substituição. Outra forma de contornar o problema de superação é adotar soluções provisórias, como modificações na rede e restrições operativas. Porém, estas soluções podem criar outros problemas, tais como a redução da flexibilidade operativa e da confiabilidade do sistema.

Outros estudos vêm tentando dar outra solução (4) como a ampliação e inserção de Dispositivos Limitadores de Corrente de Curto-Circuito – DLCCs que tem a finalidade de limitar as correntes de curto-circuito cujos valores são superiores às características nominais das instalações existentes. A interrupção das correntes de curto-circuito é realizada em tempos extremamente rápidos. Dependendo da tecnologia do DLCC a eliminação do defeito continua a ser realizada pelos disjuntores existentes com ou sem modificação nos esquemas de proteção (5). Mesmo assim, estes dispositivos não só demandam custo e tempo consideráveis como também demandam adequação destes no sistema. Para topologias de rede, fortemente malhada, as contribuições para as faltas que circulam por caminhos alternativos quando se procura limitá-las em um único ponto da rede, mostram-se soluções pouco efetivas.

Pesquisas e ferramentas como o Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações – SINAPE e o Sistema de Diagnóstico e Análise de Equipamentos – DIANE, inicialmente não projetados para essa finalidade específica, estão procurando dar apoio às empresas do setor, no suporte de informações, para sinalizar possíveis casos de superação de equipamentos. Estas ferramentas baseadas nas medições de valores registrados nos RDPs e processados pelo SINAPE.Net podem extrair informações necessárias e complementares para auxiliar a decisão para possíveis medidas mitigatórias de substituição e/ou modificação de equipamentos.

Em suma, há uma necessidade de adoção de medidas mitigatórias ou políticas de substituição de equipamentos superados. Do ponto de vista técnico, uma solução mais assertiva para reduzir os elevados custos com as soluções mencionadas acima é a implementação de um programa coerente de manutenção preventiva e preditiva para atender os equipamentos não superados e para aqueles equipamentos cujos tempos de vida média não foram afetados consideravelmente (2).

2.0 - DIANE

O Sistema de Diagnóstico e Análise de Equipamentos é um software que providencia suporte e gerenciamento na manutenção dos ativos de uma empresa do setor elétrico. Entre os ativos principais destacam-se os equipamentos de uma subestação de energia elétrica, assim como linhas de transmissão e dispositivos de proteção. Este sistema é um aplicativo para uso em análise e diagnóstico do estado operativo de equipamentos utilizados em subestações de alta tensão, desenvolvido a partir de conhecimentos anteriores consolidados em projetos de pesquisa realizados com as empresas do Sistema Eletrobras (Eletronorte, Eletrosul, Chesf, Furnas), Light, UFSC (Universidade Federal Santa Catarina) e com as parcerias do SAGE e SINAPE.Net do Cepel. Este sistema é desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Cepel (6).

O objetivo do DIANE é integrar técnicas conhecidas de análise em um único sistema, capaz de dar ao usuário o máximo de informações ranqueadas que o auxiliem na tomada de decisões sobre o regime de operação e as necessidades de manutenção de todos os equipamentos de subestações previamente cadastrados. Este sistema de diagnóstico dos equipamentos processa e analisa as informações consolidadas em base de dados históricos dos equipamentos (7).

3.0 - SINAPE.NET NO DIANE

Os Registradores Digitais de Perturbações – RDPs são equipamentos digitais de aquisição de sinais analógicos e de estado, para serem utilizados em instalações de sistemas elétricos de potência. A função principal destes é gravar continuamente em uma memória cíclica o valor amostrado das grandezas monitoradas, de natureza analógica ou digital. Além disso, os RDPs podem armazenar e monitorar grandezas calculadas, mudanças de estado ligadas aos disjuntores e de contatos auxiliares dos relés (8). Imediatamente, após os registros de oscilografia estarem disponíveis, o SINAPE.Net processa estas informações.

O Sistema de Gerenciamento e Análise Automática de Oscilografias – SINAPE.Net é um sistema para auxiliar no processo de análise de perturbações. Seus vários componentes auxiliam as diversas tarefas de interpretação e análise de registros de oscilografia, provenientes dos RDPs ou de outros equipamentos como alguns relés de proteção com registradores de oscilografia (9). Este sistema fornece informações detalhadas sobre o evento, parâmetros da linha, registros fasoriais, oscilografia, assim como a localização automática de faltas na linha de transmissão.

O SINAPE.Net tem sido instalado em várias empresas do setor elétrico e faz parte das suas aplicações de análise de ocorrências, onde a oscilografia é utilizada para verificar a causa de perturbações, identificando as características da falta (tipo, evolução, condições de pré-falta etc.). Outras aplicações podem ser contempladas

como a análise do desempenho da proteção durante condições de operação crítica do sistema, análise do estado operativo de equipamentos.

Esta última também é uma das competências robustas do DIANE. A partir de evidências de anormalidade e considerando uma base de conhecimentos sobre os modos de falha e suas consequências, o DIANE realiza análise e diagnóstico do equipamento, pela atribuição de uma confiança e um grau de risco, sendo que a informação proveniente do SINAPE.Net também é atribuída um grau e risco. Isto é realizado com base na teoria da evidência de Dempster-Shafer e na análise estatística da decisão, associando um grau de defeito conexo a um risco e integrando a uma confiança da informação.

O banco de informações das oscilografias relativas às linhas de transmissão – LTs é fortemente compatível com os padrões que o DIANE pratica. Assim, a integração SINAPE/DIANE tem um forte vínculo para assistir, principalmente, os eventos de ocorrência, perturbação e análise de falhas complementares das LTs.

4.0 - CURTO-CIRCUITO

As correntes de curto-circuito são originárias de faltas ocorridas no sistema elétrico e podem ser ocasionadas por diversos fatores (10). São constituídas por uma componente periódica, geralmente referida como componente AC, e uma componente aperiódica, denominada componente unidirecional ou DC. São de valores elevados, e duração de frações de segundos (tempo de atuação da proteção). Além das perdas provocadas pela liberação de calor (efeito joule), as correntes de curto circuito podem provocar deformações de natureza mecânica e térmica.

Os estudos de curto-circuito são realizados para especificação e elaboração de projetos dos equipamentos de um sistema elétrico e para fornecer informação para coordenação dos relés de proteção. A determinação correta da corrente de curto-circuito é tão importante quanto a determinação da corrente nominal. Para isso, o dimensionamento do sistema deve ser avaliado cuidadosamente. No dimensionamento da proteção e coordenação de seus elementos é necessário o conhecimento das correntes de curto-circuito nos pontos da instalação. Em linhas de transmissão, por exemplo, no dimensionamento dos cabos para-raios é necessário conhecer as correntes de curto-circuito envolvendo faltas a terra (11).

4.1 Curto-Circuito em Linhas de Transmissão

A linha de transmissão é a parte mais vulnerável de um sistema elétrico devido a sua característica definindo corredores muito extensos e expostos, passando por diversas condições geográficas e climáticas. As ferragens, cabos e estruturas estão dispostos em série em grandes comprimentos, o que implica em menor confiabilidade. Dados históricos das empresas de energia indicam que o número de casos de ocorrência de curto-circuito na LT alcance 89% (6% na geração e 5% na subestação). Já, ocorrências por tipos de curto-circuito, segundo últimos estudos realizados pela CIGRE WG A3.06/2012 revelam poucas variações comparadas com os anteriores, o tipo “Monofásico à Terra” atingiu 70,4% dos casos, “Bifásico à Terra” com 8,7%, “Bifásico” com 5,8%, “Trifásico” com 3,1% e “Trifásico à Terra” com 1,5%, “outros casos” não identificados alcançaram o 10,5% (12).

5.0 - IMPACTO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO EM EQUIPAMENTOS

5.1 Linhas de Transmissão

As LTs e seus componentes devem ser projetados para suportar os efeitos de curto-circuito. A duração desta corrente depende do projeto do sistema, especialmente em esquemas de proteção, e do tempo respectivo de abertura da linha. Na ocorrência de curto-circuito em linhas de transmissão os condutores podem se mover violentamente. Feixes de condutores de uma fase tendem a se contrair, por causa do efeito eletromagnético. Em caso de falha de projeto, quando atualizamos a corrente de falta haverá riscos de perda dos espaçadores e deformação de feixes. O efeito térmico ocasionado pelas correntes de curto-circuito, para os típicos condutores utilizados em LTs, causa aquecimento elevado em um extremamente curto período de tempo, que pode contribuir indiretamente no alongamento do condutor e aumentar a flecha do vão. O calor é dissipado rapidamente na ordem de 50% em menos de um segundo. Este efeito é considerado um processo adiabático (13).

5.2 Cabos Pára-raios

Os cabos pára-raios, são projetados para proteger os cabos condutores contra a incidência direta de descargas atmosféricas e diminuir a quantidade de desligamentos provocados por sobretensões atmosféricas. Cabos pára-raios do tipo *Optical Ground Wires* - OPGW diferem dos convencionais porque eles também podem ser utilizados para a transmissão de sinais ou para a transmissão de dados. O seu dimensionamento, independentemente da aplicação, geralmente é governado pela corrente de curto-circuito durante a ocorrência de faltas fase-terra nas proximidades das subestações. No caso de cabos convencionais, elevadas correntes circulantes de curto-circuito podem ocasionar recozimento do cabo assim como o aparecimento de “gaiolas de passarinho”, dependendo da duração da falta. No caso do OPGW, elevadas temperaturas podem causar degradação dos parâmetros do condutor de fibra ótica (14).

5.3 Disjuntores

Os disjuntores são chaves ou dispositivos de manobra com capacidade suficiente para atender solicitações de equipamentos ou partes da instalação elétrica em estado normal de funcionamento ou não e, em especial, sob condições de curto-circuito (18). A norma NBR 7118 (Substituída por : ABNT NBR IEC 62271-100:2006) define as características de operação de um disjuntor de alta tensão (15). Os efeitos das correntes de curto-circuito sobre o disjuntor caracterizam-se por efeitos dinâmicos de forças mecânicas que variam com o quadrado da corrente de curto-circuito, efeitos térmicos como função da magnitude e duração da corrente de curto-circuito e efeitos locais do arco voltaico também função da magnitude e duração da corrente. A severidade da solicitação dos disjuntores vai depender do tipo da natureza da falta seja ela do tipo terminal ou quilométrica (17). No caso de falta terminal, é aquela ocorrida praticamente sobre os terminais dos disjuntores, seja nos barramentos, seja nas saídas de linha elevando os valores de tensão do restabelecimento transitória TRT. E, no caso da falta quilométrica, ocorre em uma LT a pequena distância (seja 1 a 5 km) de um disjuntor. A severidade na abertura em faltas quilométricas depende da combinação de uma corrente de falta de grande valor com uma alta taxa de crescimento da TRT. Para Portela (16), este tipo de falta, constitui, em alguns aspectos, uma das solicitações mais severas para extinção do arco dos disjuntores.

5.4 Religadores

São dispositivos que abrem e fecham seus contatos repetidas vezes, em caso de defeito transitório, até que haja bloqueio em caso de defeitos permanentes. Geralmente encontrados no sistema de distribuição. Porém, comandos dos sistemas de gerenciamento de proteção e controle, esquemas de religamento, enviados para os disjuntores complementam as operações de religação. Este dispositivo é submetido a correntes de curto-circuito em cascata (caso de faltas evolutivas) que resulta na elevação de temperatura dos condutores, assim como pode ocorrer reacendimento do arco elétrico nas câmaras de extinção devido à deionização incompleta.

5.5 Transformadores de Potência

Os transformadores de potência são equipamentos de vital importância no sistema elétrico de potência, alterando os níveis de tensão para interligar os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Quando ocorre curto-circuito nas saídas do transformador, as correntes são limitadas apenas pela impedância do sistema, podendo alcançar até 20 vezes a corrente nominal. A intensidade das correntes de curto-circuito não chega a danificar o equipamento por efeito térmico devido à atuação de sistemas de proteção que o desligam em frações de segundo, depois da ocorrência do curto. Entretanto, os esforços mecânicos nos enrolamentos devido a estas correntes são muito intensos e, mesmo num pequeno intervalo de tempo, podem superar o limiar de robustez do equipamento. Por isso, as correntes de curto-circuito são uma das maiores ameaças à integridade do transformador quando operam em sistemas de potência (19, 20, 21).

6.0 - ESTUDO DE CASO

A integração SINAPE.Net/DIANE, especialmente na atenção dos eventos de ocorrências de casos de curto-circuito em linhas de transmissão, procura facilitar os estudos e a análise da superação de equipamentos por efeitos de correntes de curto-circuito. Para isso, procurou-se a compatibilidade das bases de dados, compartilhando dicionário de dados a fim de facilitar a comunicação e a conexão. Com isso, a configuração e a identificação das LTs que possuem eventos de ocorrências se realizaram sem inconvenientes, sendo que o código SAP destinado para a identificação única dos ativos de uma empresa, parceiras do DIANE e do SINAPE.Net seja tomado como referência.

A linha de transmissão “Teste_LT2”, tomada como exemplo, faz parte de um dos três vãos de linha que interliga as subestações “SE 1_1” e “SE 1_2”. Esta Linha é administrada por um mantenedor “Transmissora Modelo” e está localizada na “Regional 1” (ver Figura 1). Segundo as características de projeto, esta linha é de 500 kV, 254 km de comprimento. O seu limite térmico de projeto é de 60 C° sob fatores condicionantes do equilíbrio térmico e as condições climáticas, sendo que normalmente essa temperatura é também definida por estudos econômicos baseando-se na experiência operativa da empresa. A máxima temperatura permitida em determinados casos de contingência de curta duração, a linha pode operar a 90 C°. A capacidade operativa de longa duração de 2 800 A. Com base na temperatura do projeto a linha tem uma capacidade operativa de curta duração, admissível durante condição de emergência, conforme regulamento da ANEEL e as diretrizes fixadas pela norma técnica NBR 5422 da ABNT (23) é de 4 700 A.

A Figura 1 mostra a configuração e identificação das LTs do SINAPE.Net para a base do DIANE. A integração SINAPE.Net/DIANE é compatibilizada com os campos sendo registrado adequadamente o vínculo. A informação visual mostrada apresenta linhas de transmissão fictícias com a finalidade de não revelar a identidade real da LT e dos proprietários, porém, as informações da oscilografia dos eventos de ocorrências são dados reais provenientes do SINAPE.Net e dos RDPs que se encontram em atividade no campo.

FIGURA 1 – Configuração e identificação da LT do SINAPE.Net para a base do DIANE

A Figura 2, mostra a energia máxima atingida nos eventos de ocorrências de perturbações da linha de transmissão “Teste_LT2”. Nesta figura é possível identificar as energias nos eventos de ocorrência em cada fase da LT. De acordo às normas a Integral de Joule (I^2t) representa os esforços térmicos e magnéticos reais impostos a um componente conduzindo uma corrente de curto-circuito.

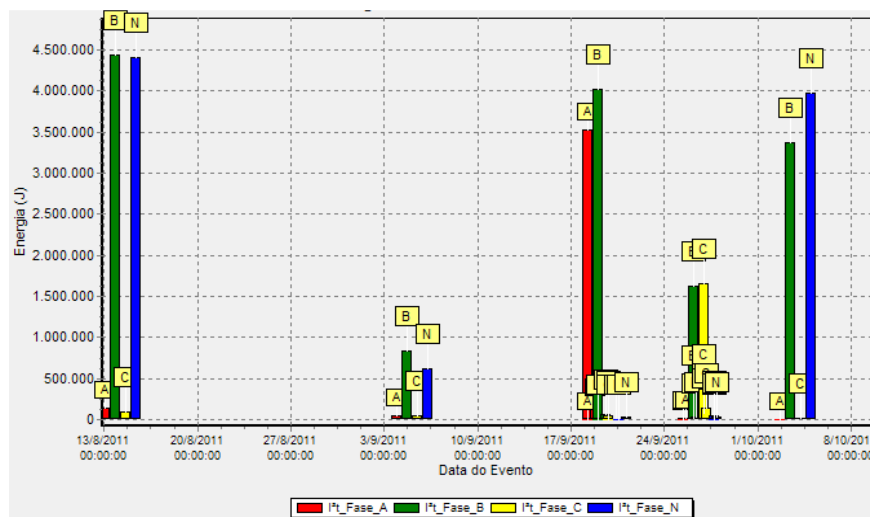


FIGURA 2 – Energia máxima medida no instante de máxima corrente de curto-circuito/fase – LT:Teste_LT2.

A integral de joule pode ser calculada ou medida em ensaios de curto-circuito. A curva da grandeza I^2t de dispositivos de proteção é uma ferramenta valiosa no estudo da proteção dos condutores contra sobrecorrentes e da coordenação seletiva entre dispositivos (NBR5410). A norma IEEE standard 1015-1997 (22) recomenda a prática para aplicações de disjuntores em baixa tensão utilizados na indústria e na comercialização de energia, embora seja utilizado para cálculos aproximados no dimensionamento de condutores para linhas de transmissão. Além disso, a integral de Joule é também utilizada no processo de cálculo da corrente eficaz (rms) a partir das ondas dos componentes das correntes de curto-circuito (assimétrica), no dimensionamento de cabos para-raios, no estudo de ampacidade de condutores onde as correntes de curto-circuito podem influenciar indiretamente no alongamento dos cabos e até na deformação dos feixes. Assim, para cálculos de reprojeto, repotenciamento de condutores, feixes, ferragens e coordenação do sistema de proteção a energia I^2t é ainda utilizada.

A Figura 3, mostra os eventos de ocorrências de perturbações da linha de transmissão “Teste_LT2”. Destacam-se as correntes de curto-circuito instantânea, as máximas e mínimas eficaz de todas as fases e as correntes do neutro. Neste espectro, é possível identificar as ocorrências mais críticas suportadas pela LT, facilitando a comparação das correntes, mapeando os eventos e possibilitando o cálculo do intervalo entre os eventos.

A Figura 4, mostra a duração da falta, parâmetro importante para verificar a atuação do sistema de proteção relativo à linha “Teste_LT2”, expresso em ciclos. Também mostra os tipos de falta identificados pelo SINAPE.Net, onde é possível identificar o tipo de falta que foi mais severa na LT ou em uma fase determinada da linha.

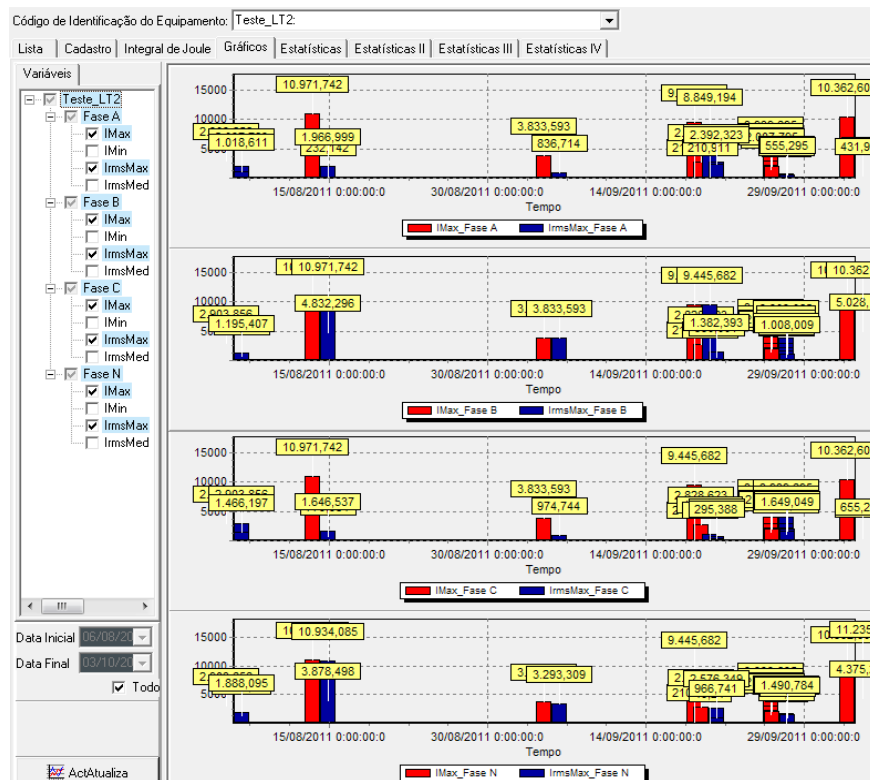


FIGURA 3 – Eventos de ocorrência de perturbações registradas pelos RDPs e as correntes de curto-circuito atingidas para cada fase – LT:Teste_LT2.

A Figura 5 apresenta os tipos de distúrbios e frequências de ocorrência sofridas pela na LT: "Teste_LT2". Os índices 73 e 74 identificam os distúrbios "Religamento com Sucesso" e "Falta com Desligamento" com um e onze distúrbios respectivamente.

A Figura 6 mostra quadros estatísticos dos tipos de distúrbios e frequências de ocorrência de todas as LTs analisadas por níveis de tensão e por ano. Similarmente, a Figura 7 apresenta os tipos de falta ocorridas por classe de tensão. Os dados e as linhas com eventos de ocorrências pertencem a uma concessionária de transmissão de nome fictício.

7.0 - CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho mostrou que integração entre os sistemas DIANE e SINAPE.Net pode tornar possível caracterizar o perfil e a frequência de faltas sofridas por uma linha de transmissão em um determinado período e mostrou resultados satisfatórios como ferramenta para investigar possíveis casos de superação de equipamentos.

A linha de transmissão “Teste_LT2”, estudada no artigo, com 90 C° de temperatura limite e 4,7 kA de Corrente de curto-circuito sob condições de emergência registrou um evento de ocorrência na data de 13/08/2011 que foi identificado como falta monofásica envolvendo a fase B e o Terra com duração de 2,208 ciclos (ver Figura 4) e atingiu os valores de corrente de curto-circuito de 4,83 kA na fase B, 1,97 kA na fase A, 1,65 kA na fase C e 3,88 kA no neutro (ver Figura 3). Comparando a corrente de curto-circuito da fase B com o valor limite de projeto da linha, percebe-se que houve superação de limite.

Como trabalho futuro pretende-se analisar a viabilidade de associar os disjuntores às respectivas linhas de transmissão para que os dados também possam ser utilizados para investigar casos de superação de disjuntores, principalmente por TRT e por crista da corrente de curto-circuito.

Os cabos para-raios do tipo OPGW, devido a sua importância, não só para proteção de linhas mas também para transmissão de dados, merecem ser estudados detalhadamente já que são vulneráveis às correntes residuais (unidirecionais) após ocorrência de efeitos atmosféricos.

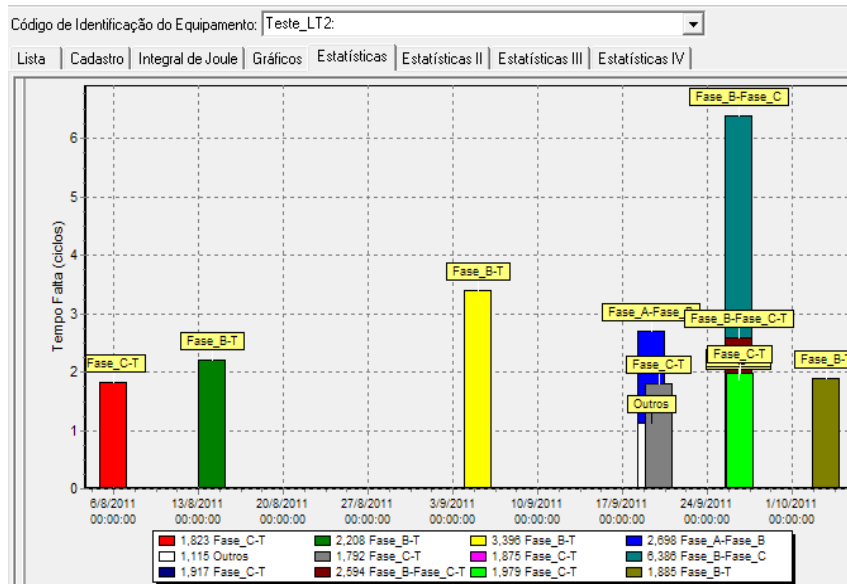


FIGURA 4 – Duração da falta/evento/tipo de falta – LT:Teste_LT2.

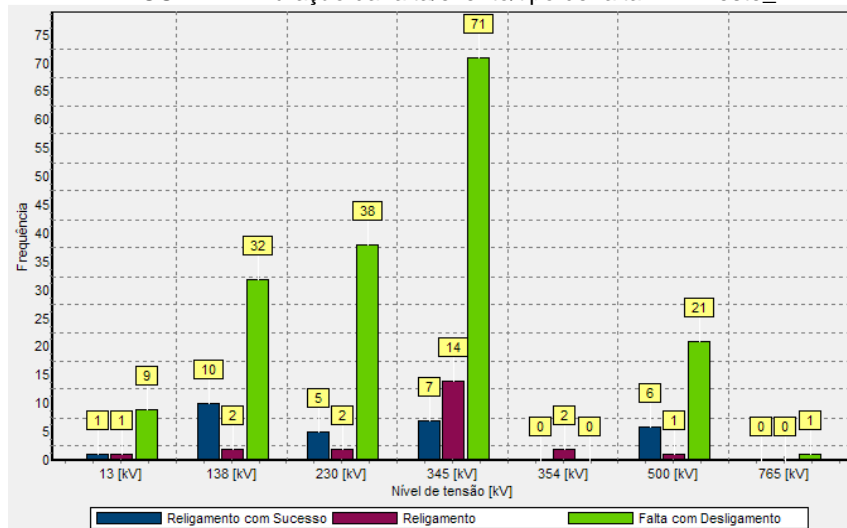


FIGURA 6 – LTs: Frequência de distúrbios por classe de tensão da concessionária "transmissora modelo".

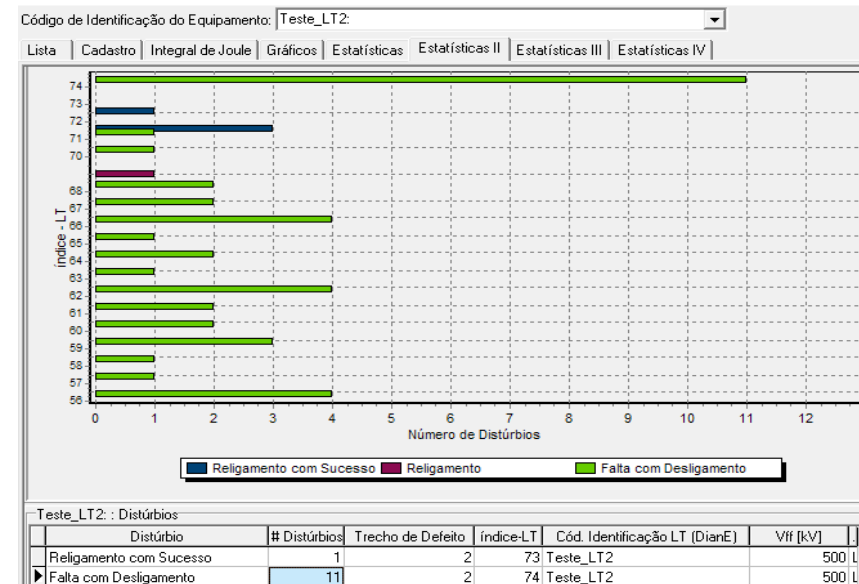


FIGURA 5 – Distúrbios ocorridos na LT: "Teste_LT2"

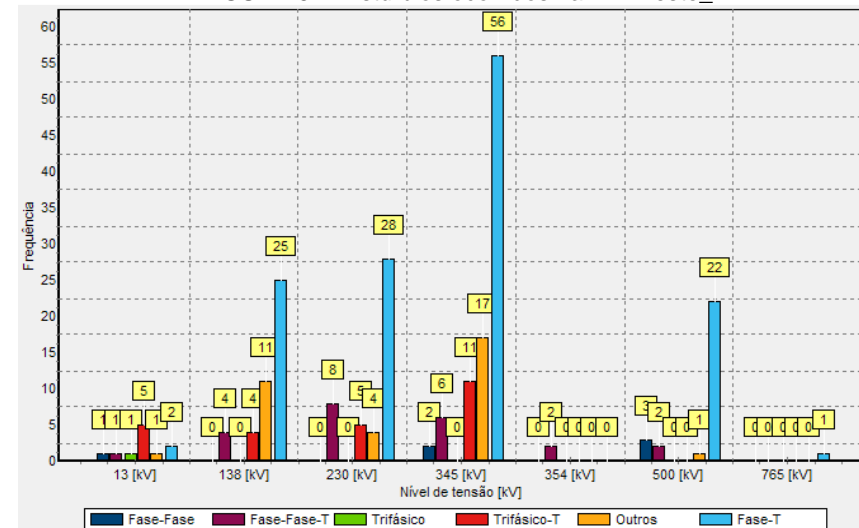


FIGURA 7 – LTs: Tipo de faltas, ocorridas, por classe de tensão da concessionária "transmissora modelo".

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Ventura, Altino, et al. – Plano Decenal de Expansão de Energia 2021/ Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética, MME/EPE Brasília, 2012.
- (2) Cigré CE-A3 – Curso Sobre Superação De Equipamentos E Workshop Conjunto Sobre Aplicação De Óleo Vegetal Isolante, Cepel Junho, 2008.
- (3) SINDER, Daniel – Métodos de cálculo da tensão de restabelecimento transitória para análise de superação de disjuntores de alta tensão, Dissertação de Mestrado – Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- (4) F. P. Costa e I.M. Santos – “Vantagens do Protetor por Limitação de Corrente -CLIP”, Revista Eletricidade Moderna, Dezembro, 1990.
- (5) M. Monteiro, Andréia – Um Estudo de Dispositivos Limitadores de Corrente de Curto-Circuito com ênfase no IPC (interphase power controller) , Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- (6) H. Cuenca, Walter Martin, et al. – RCM em Dispositivos de Proteção, um Caso de Uso em Proteção de Transformadores, PAC World Conference - Latin America Florianópolis/SC - November, 2012.
- (7) DianE/CEPEL – Manual do Usuário e do Administrador do Sistema, 2013.
- (8) Projeto SINAPE – Sistema de Análise Automática de Oscilografias, CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Disponível em: <[http://www.sinape.cepel.br/arquivos/Sinape 5p.PDF](http://www.sinape.cepel.br/arquivos/Sinape%205p.PDF)> Acesso em: 23 abr. 2013.
- (9) Moreto, Miguel, and Jacqueline G. Rolim. Análise Automática De Oscilografias em Sistemas Elétricos de Potência. Revista Controle & Automação, Campinas 21.4: 347-362 de 2010.
- (10) de Oliveira, Nataniel Gomes, et al. "Especificação de Disjuntores de Alta Tensão com Base na Superação por Curto-Circuito e Tensão de Restabelecimento Transitória", UTFPR Curitiba-PR 2010.
- (11) Schlabbach, Jürgen (2005). Short-Circuit Currents. London, United Kingdom: Institution of Engineering and Technology (IET).ISBN: 0-86341-514-8 & 978-0- 86341-514-2.
- (12) Carvalho, C. Antonio Carlos - CIGRE SC A3 Tutorial – Rio de Janeiro, 2012.
- (13) A. Janssen et al – Prospective Single and Multi-Phase Short-Circuit Current Levels in the Dutch Transmission, Sub-Transmission and Distribution Grids, Cigré, Paris, 2012.
- (14) L. Varga et al. – Computer Program for the Calculation of Short-Circuit Temperature Rise on Optical Ground Wires, Electric Power Engineering, PowerTech Budapest, 1999
- (15) COLOMBO, Roberto – Disjuntores de alta tensão. São Paulo: Nobel: Siemens S.A., 1986.
- (16) Portela, C et al. – Solicitações de Disjuntores na Manobra de Linhas não Convencionais, XIX SNPTEE, 2007
- (17) Portela, C et al. – Determinação das Condições Críticas na Manobra de Disjuntores para Defeitos de Tipo Quilométrico, XIX SNPTEE, 1987.
- (18) MORAIS, Sérgio A. – Capítulo X do livro Equipamentos Elétricos: Especificação e Aplicação em Subestação de Alta Tensão. Rio de Janeiro: FURNAS, 1985.
- (19) Martin, J. C. Teoría, Cálculo y Contrucción de Transformadores. Editorial Labor, S. A., quinta edição, 1969.
- (20) Tleis, Nasser D. (2008). Power Systems Modelling and Fault Analysis : Theory and Practice. Oxford: Elsevier Ltd. ISBN-13: 9780750680745.
- (21) IEC 60909-0 (2001). International Standard Short-Circuit Currents in Three-phase a.c. Systems,2001.
- (22) IEEE 1015-1997. Recommended Practice for Applying Low-Voltage Circuit Breakers Used in Industrial and Commercial Power Systems, 2004.
- (23) NBR 5422 da ABNT Norma técnica: Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia, 1985

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Walter Martin H. Cuenca – Engenheiro Eletricista (1993) pela Universidad Nacional del Callao (UNAC/Peru), Mestrado (1998) e Doutorado (2005) em Engenharia Elétrica pela Universidade federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). Iniciou sua carreira em pesquisas no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) em 1997. Trabalhou em projetos de sistemas inteligentes aplicado a equipamentos de sistemas de potência e estudos prospectivos. Atualmente trabalha no Departamento de Linhas e Estações (DLE) e faz parte do grupo de desenvolvimento do Sistema DianE.

Marco Antonio Macciola Rodrigues was born in Rio de Janeiro, Brazil, in 1964. He received the Engineering degree in electronics, the M.S. and the D.S. degrees in electrical engineering from the University of Rio de Janeiro in 1986, 1991, and 1999, respectively. He has been working at the Electric Power Research Center (CEPEL) in Rio de Janeiro, Brazil, since 1987, in data acquisition systems design, software design, algorithms for data analysis and control and signal processing applications related to power systems.

Carlos Julio Dupont: Nasceu em Caçador, Santa Catarina, Brasil, em 02 de março de 1962. Gradou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná em 1986. Completou mestrado (M.Sc.) na COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1992 e doutorado (D.Sc.) na COPPE do Rio de Janeiro em 2003. Iniciou sua carreira em pesquisa no Cepel – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica em 1989 trabalhando com Disjuntores e Transformadores. Atualmente lidera o desenvolvimento do Sistema DianE – Sistema de Análise e Diagnóstico de Equipamentos, software corporativo desenvolvido para a Eletrobras. É membro do CIGRÉ SC-A2 e coordena o Grupo de Trabalho WG A2.44 – Transformer Intelligent Condition Monitoring, desde Dez/2010.

João Câncio Colares de Oliveira: Received BSc and MSc degrees in Electronic Engineer from Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ - 1983 and 1988). He currently works at CEPEL, the Brazilian Electric Energy Research Center, and has been involved in the development of computer programs to support the analysis of power system disturbance.

André Luiz Lins Miranda é engenheiro eletricista, graduado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em 1994 e com mestrado defendido pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), no ano de 2006. Trabalha no Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL), desde 1997, no Departamento de Automação de Sistemas (DAS), nos projetos de softwares e algoritmos de análise de dados e aplicações de processamento de sinais aplicados a sistemas de potência.