



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

CB/GDS/18

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - GDS

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS

**DIFASE – SISTEMA COMPUTACIONAL DE APOIO AO OPERADOR NO DIAGNÓSTICO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO**

**José Eduardo O. Pessanha(*) Leonardo Paucar Denivaldo Lopes Raimundo Costa Filho
Universidade Federal do Maranhão**

**Júlio C. R. Buzar Frederico Doener Vilson Castro
Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A - Eletrobras Eletronorte**

RESUMO

De modo a diminuir os prejuízos sociais e econômicos decorrentes de interrupções no fornecimento de energia elétrica, o diagnóstico de faltas em subestações deve ocorrer o mais rápido possível, de forma confiável e precisa, para início imediato das ações necessárias de controle, manutenção e restauração. Esses desafios tem produzido uma grande quantidade de esforços direcionados ao desenvolvimento de novos sistemas de gerenciamento de eventos, aplicáveis às condições atuais dos sistemas elétricos de potência. O uso de sistemas inteligentes tem se mostrado uma alternativa atraente neste ambiente cada vez mais complexo. Com o intuito de contribuir neste vasto campo de necessidades e investigações, o presente artigo apresenta o sistema computacional DIFASE (acrônimo de Diagnóstico de Faltas em Subestações) para auxiliar o operador no diagnóstico rápido de faltas em subestações de transmissão fazendo uso de sistemas inteligentes (redes neurais) apresentando inovações as quais o diferenciam de ferramentas de diagnóstico existentes e o tornam extremamente eficiente como meio de auxílio ao operador.

PALAVRAS-CHAVE

Diagnóstico de Faltas, Subestação de Transmissão, Sistemas Inteligentes, Proteção.

1.0 - INTRODUÇÃO

Um objetivo comum no gerenciamento dos sistemas de potência é o de fazer evoluir o estado da arte de forma que os serviços prestados sejam cada vez mais seguros, baratos e confiáveis. Os sistemas elétricos organizados numa forma hierárquica têm se tornado altamente complexos devido às sofisticações da estrutura, da política de gerenciamento e das produções técnicas. Este aumento de complexidade tem causado problemas, principalmente na operação de tais sistemas.

O desenvolvimento de sistemas inteligentes torna-se uma alternativa atraente para a tomada de decisões neste ambiente complexo, de forma a atingir os objetivos de maximizar a eficiência do sistema e de minimizar a ocorrência de erros humanos, reduzindo o tempo de desligamento de equipamentos e os riscos de perda total do sistema [1-13]. A avaliação dos atuais sistemas de supervisão fornece as seguintes justificativas para a utilização de sistemas inteligentes [1-5, 7]:

- Como os sistemas de supervisão até o presente foram projetados para lidar com requerimentos de estados normal/alerta, torna-se necessário sua ampliação para incluir os estados de emergência/restauração. Para tal implementação, muita atenção deve ser dada ao entendimento operacional prático destes estados. Os sistemas inteligentes fornecem uma boa forma de representar a prática explicitamente, e, portanto, representam uma oportunidade para sua melhoria.

- O levantamento estatístico das ocorrências emergenciais em sistemas elétricos de potência mostra que, no decorrer dos anos, a quantidade de falhas tem aumentado de forma significativa, diminuindo a capacidade do operador no gerenciamento de tais situações. Em adição, a quantidade de operadores com muitos anos de experiência se

encontra em declínio, enquanto que o número de operadores com menos experiência aumenta. Assim, existe uma necessidade urgente de ferramentas de apoio à decisão.

- Uma melhor qualidade da energia elétrica é requerida em nossa sociedade de informação. A necessidade de efetuar uma operação cada vez mais eficiente se torna crucial.

- A recomposição de sistemas de potência após perturbações que levem a desligamentos em subestações e interrupções de cargas deve ser realizada no menor tempo possível. Conseqüentemente, de modo a diminuir os prejuízos sociais e econômicos decorrentes de interrupções de fornecimento de energia elétrica, o diagnóstico de falhas em subestações deve ocorrer em tempo real, de modo a permitir o início imediato das ações necessárias de controle, manutenção e restauração.

As necessidades acima têm produzido uma grande quantidade de esforços para desenvolver novos sistemas de gerenciamento de eventos, aplicáveis às condições atuais dos sistemas elétricos. Com base nessas necessidades, o presente trabalho apresenta a primeira versão (protótipo) de um sistema computacional para diagnóstico de faltas em subestações conhecido como DIFASE (acrônimo de Diagnóstico de Faltas em Subestação), já instalado e em operação na Subestação São Luís I (230 kV - MA) operada pelas Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. – Eletronorte, com aquisição de dados a partir da base histórica do SAGE.

2.0 - DESCRIÇÃO DO DIFASE

Uma subestação é um conjunto de equipamentos de manobra e transformação instalada em um determinado local com a função de modificar os parâmetros de potência (tensão e corrente). Neste ambiente, após a ocorrência de uma perturbação, um grande número de mensagens e alarmes é transmitido até os centros de controle. Portanto, a análise para obtenção do diagnóstico do defeito é baseada nas informações de operação dos relés de proteção, além dos alarmes de abertura dos disjuntores. Assim, os operadores devem analisar essas informações, que podem chegar à ordem de milhares de alarmes, para decidir qual a estratégia adequada para a rápida recomposição do fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Para que o restabelecimento do sistema ocorra o mais rapidamente possível, de modo a evitar danos aos consumidores e de penalidades à empresa fornecedora, é essencial que a estimação dos eventos que produziram uma determinada sequência de alarmes ocorra de forma rápida, precisa e segura. O sistema computacional (software) DIFASE foi concebido para tal função e suas principais características são apresentadas a seguir.

O DIFASE foi desenvolvido em linguagem C# com o intuito de atingir o seguinte objetivo: diagnóstico rápido (off-line e/ou on-line) de faltas em subestações para auxiliar o operador na identificação do(s) componente(s) defeituoso(s) após uma perturbação e classificar o tipo de falta utilizando técnicas inteligentes (Redes Neurais Artificiais – RNA) usando sinais digitais e analógicos. O diagnosticador utiliza o status das proteções, chaves e disjuntores (sinais digitais) e das variáveis contínuas de tensão e corrente (sinais analógicos) referentes aos transitórios eletromagnéticos gerados através de simulações computacionais de transitórios eletromagnéticos e através de grandezas obtidas do oscilopertubógrafo (software Análise). Estes fatores possibilitam um diagnóstico mais preciso e mais eficiente de acordo com os desafios que se apresentam atualmente nos sistemas elétricos de grande porte. A Figura 1 apresenta o sistema DIFASE, detalhando os casos de uso, conforme a seguir:

a) GerarIHM: este caso de uso é subdividido em:

- GerarInterfaceHTML: este caso de uso gera as interfaces utilizando a linguagem HTML para ser acessado através de um browser Web. Desta forma, o sistema DIFASE pode ser acessado remotamente e independente de plataforma de Sistema Operacional (SO);
- Interpretar: este caso de uso coleta os dados brutos do caso de uso IntegrarInformação e os coloca em um formato mais adequado para ser repassado ao GeradorInterfaceHTML e para o PersistirResultado;
- PersistirResultado: guarda de forma persistente os resultados obtidos e os logs de informações como acesso, modificações no sistema, dentre outros.

b) DeterminarFaltas: este caso de uso pode ser subdividido em:

- FormatarDados: é responsável por formatar os dados recebidos dos diferentes casos de uso de coleta de dados. Cada sistema de aquisição de dados tem uma maneira particular de representar seus dados, por isso, este caso de uso FormatarDados foi especificado para uniformizar os dados que vão ser recebidos pelo caso de uso EncontrarFaltas;
- EncontrarFaltas: este caso de uso determina a ocorrência de uma possível falta no sistema da subestação, utilizando os dados formatados e recebidos do caso de uso FormatarDados. EncontrarFaltas funciona como um filtro para determinar em que conjunto de dados pode estar ocorrendo uma falta;
- IdentificarFalta: este caso de uso funciona como um segundo filtro que identifica o tipo de falta baseado nas informações geradas pelo caso de uso EncontrarFaltas;
- AnalisarFalta: uma vez que a falta foi identificada, ela passa a ser analisada de acordo com a abordagem de Diagramas de Eventos Discretos;
- IntegrarInformação: este caso de uso integra as informações geradas nos casos de uso EncontrarFaltas, IdentificarFalta, AnalisarFalta;

- GerarLogs: este caso de uso tem a funcionalidade de guardar de forma persistente os logs gerados de acordo com a execução do algoritmo que encontra falta (executado no caso de uso EntrarFaltas), identifica o tipo de falta (executado no caso de uso IdentificarFalta), e análise da falta (executado no caso de uso AnalisarFalta).
- c) AquisitarDados: este caso de uso pode ser subdividido em:
- AquisitarDadosSAGE: obtém os dados salvos pelo SAGE na base de dados histórica;
 - AquisitarDadosOscilógrafo: obtém dados referentes a oscilografia.

A maior parte dos eventos registrados não representam pontos de interesse para o diagnóstico e devem, portanto, ser filtrados, de forma a melhorar a qualidade dos resultados. As variáveis utilizadas no programa são divididas em analógicas e digitais. As variáveis digitais podem ser divididas em duas categorias: alarmes e posições das chaves. As variáveis digitais de alarme estão associadas com os relés de proteção, enquanto que as variáveis de posição referem-se aos estados de chaves e disjuntores presentes na subestação.

O DIFASE disponibiliza duas formas de análise: on-line e off-line. Em cada um destes subgrupos pode-se realizar um diagnóstico discreto ou contínuo. Através de vários testes, verificou-se que trabalhando com uma RNA para cada conjunto de equipamentos se consegue os melhores resultados. Na RNA "linhas", a entrada corresponde a 34 alarmes das linhas de transmissão além dos alarmes de posições das chaves, totalizando 77. A mesma ideia é aplicada as outras duas RNAs.

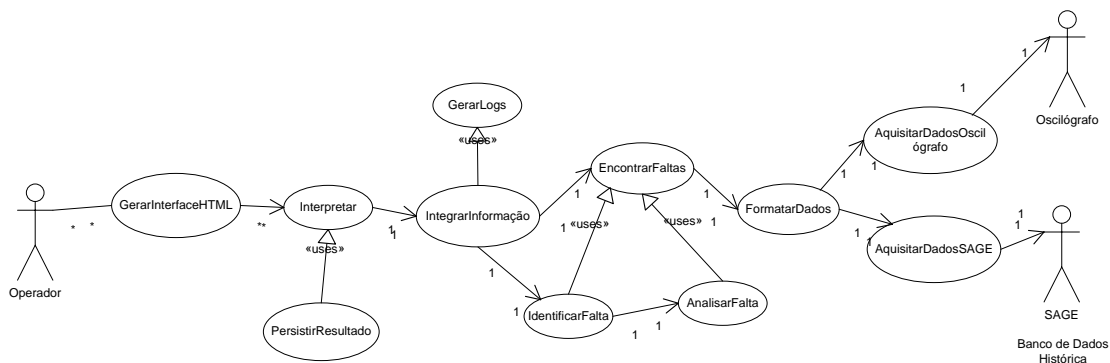


FIGURA 1. Sistema de Software DIFASE: Especificação.

É importante frisar que as variáveis de entrada devem apresentar valores binários, sendo igual a um (1), quando o alarme está ativo, e zero (0), caso contrário. Análogo às variáveis de entrada, as saídas das redes neurais devem também apresentar valores binários sendo responsáveis por classificar o tipo de equipamento: (1) com defeito e (0) sem defeito. Assim, o número de neurônios na camada de saída das redes neurais corresponde ao número de equipamentos que estão sendo supervisionados. Durante o processo de treinamento é fundamental obedecer a ordem das variáveis discretas.

Para a aplicação da RNA ao problema de reconhecimento de padrões, relacionado à classificação do tipo de falta, é indispensável à elaboração de um conjunto de padrões que represente as situações de falta na subestação. Para obtenção do conjunto de dados na etapa de treinamento, foi utilizado um modelo da subestação para simulações de transitórios eletromagnéticos. O modelo de interesse, neste caso da Subestação São Luís I (SE-SLI), para simulações de transitórios eletromagnéticos, foi desenvolvido no programa computacional ATP.

A cadeia de processo simplificado está baseada em:

- Entrada: dados, modelos, cenários, ocorrências, etc.
- Processo:
 - Leitura de dados via SAGE (on-line) e base de dados própria.
 - Modelagem das ocorrências e eventos na SE.
 - Construção das regras de aprendizagem de inteligência artificial – IA e configuração do sistema multiagente.
 - Processamento baseado em IA das falhas, alarmes e ocorrências na SE.
- Saída: Diagnóstico rápido (off-line e/ou on-line) e caracterização completa da(s) falha(s) ocorrida(s) na SE.
- Opções do tipo de sistema inteligente desenvolvido:
 - Aplicativo WEB (acessível pela Internet ou Intranet)
 - Desktop (instalado em cada computador)

Com relação aos resultados alcançados:

- O sistema DIFASE realiza um diagnóstico rápido (on-line) de faltas em subestações o que permite reduzir o tempo médio de interrupção de fornecimento de energia elétrica
- A redução do tempo de redução de interrupção reduz custos de interrupção e inclusive diminui os custos da parcela variável por indisponibilidade.
- O sistema DIFASE pode ser aplicado/implantado em outras subestações da concessionária após alterações de customização.

Resumo dos benefícios do DIFASE:

- a) Vantagens técnicas
- Rapidez - menor tempo de diagnóstico de faltas em SE e redução do tempo de interrupção
 - Eficiência - sistema computacional automático
 - Aplicação Web - Multiusuário via Intranet ou Internet
 - Capacitação de profissionais da Eletronorte para a utilização e manuseio do DIFASE
- b) Benefícios econômicos (R\$)
- Redução dos custos de interrupção
 - Redução da parcela variável por indisponibilidade

Objetivos Específicos do DIFASE:

- Maximizar a eficiência do sistema e minimizar a ocorrência de erros humanos.
- Reduzir o tempo de desligamento de equipamentos e os riscos de perda total do sistema de energia elétrica.
- Redução de custos operacionais dos ativos da transmissão.
- Localização da falta e tipo de curto-circuito.
- Identificação do equipamento com defeito.
- Justificativa do defeito e avaliação da atuação dos dispositivos de proteção/e supervisão.

Ênfase nos resultados, avaliando a redução de custos ou incremento de receita:

- Para diminuir os prejuízos sociais e econômicos decorrentes de interrupções de fornecimento de energia elétrica, o diagnóstico de faltas em subestações ocorrerá em tempo real, de modo a permitir o início imediato das ações necessárias de controle, manutenção e restauração, no menor tempo possível.

2.1 Tecnologias Usadas no DIFASE

O DIFASE utiliza uma abordagem de Arquitetura Orientada a Serviço (SOA) com o intuito de fornecer:

- Modularidade e interoperabilidade entre a implementação dos casos de uso;
- Assegurar a interoperabilidade com outros sistemas de software;
- Permitir que seja utilizado o sistema SAGE na plataforma Linux e o sistema DIFASE na plataforma Windows, conforme orientação da própria empresa;
- Garantir um fraco acoplamento entre as diversas partes do sistema DIFASE, com o intuito de permitir a instalação de suas partes em uma plataforma de Computação em Nuvem. Por exemplo, executar os casos de uso Determinar-Falhas e GerarIHM em uma Nuvem. O caso de uso AquisitarDados deve ser executado na mesma máquina que executa o SAGE ou em uma máquina instalada na subestação que for monitorada pelo sistema SAGE e DIFASE.

Paralelamente a modelagem do sistema DIFASE, testes estão em andamento para verificar a integração de um código de acesso à base de dados do SAGE, com o intuito de coletar os dados necessários para serem analisados pelo DIFASE.

Sendo assim, as linguagens de programação e as plataformas que executam os códigos correspondentes aos casos de uso podem ser determinadas como a seguir:

- AquisitarDados: o código fonte correspondente a este caso de uso deve ser implementado em linguagem C ou C++ devido à restrição imposta pelo SAGE, já que teremos que reutilizar bibliotecas do SAGE escritas nestas linguagens. O código em C ou C++ deve ser voltado para a plataforma Linux, já que deve executar na mesma plataforma que o SAGE;
- DeterminarFalhas: o código fonte correspondente a este caso de uso deve ser implementado em linguagem C#, conforme orientação da ELETRONORTE. Sendo assim, deve-se utilizar a plataforma Windows para desenvolver e executar estas funcionalidades;
- GerarIHM: o código fonte correspondente a este caso de uso deve ser implementado em ASP.NET e C#. A plataforma Windows deve ser utilizada neste caso.

Todos os dados que devem ser guardados de forma persistente pelo DIFASE deve utilizar o SGBD PostGreSQL, a linguagem SQL, e arquivos em formato texto.

O sistema DIFASE foi desenvolvido para prover segurança dos dados, isto é, os dados devem ser manipulados e transmitidos com confidencialidade, integridade, disponibilidade e autenticidade.

Estrutura e Composição

O sistema computacional DIFASE é constituído basicamente por 4 agentes: agente de aquisição de dados (digitais/analógicos), agente de diagnóstico, agente de identificação e o agente integrador que fornecem informações sobre o equipamento com defeito, o tipo de falta e a avaliação da atuação dos dispositivos de proteção/supervisão. Esses agentes são descritos a seguir:

- Agente de aquisição: tem a função de obter dados analógicos e digitais sobre o funcionamento e operação dos dispositivos e equipamentos presentes na planta de subestação de energia elétrica, podendo obtê-los a partir de um sistema supervisorio, por exemplo o SAGE.

- Agente de diagnóstico: tem por objetivo avaliar o estado dos dispositivos de supervisão disparados no evento, e a partir destes determinar os componentes faltosos, ou seja, os componentes físicos da subestação, tais como barras, linhas, geradores e transformadores. O objetivo básico deste módulo é indicar o equipamento e/ou a parte deste com falha;
- Agente de identificação: tem por objetivo avaliar as variações das leituras analógicas do sistema monitorado. Para leituras de oscilografias, esse agente determina o tipo de defeito que gerou a falta (curtos-circuitos), considerando o sistema como um todo e não isoladamente;
- Agente integrador: gerencia e prepara as saídas dos agentes anteriores, auxiliando assim na tomada de decisões posteriores ao distúrbio. Também tem por objetivo identificar a operação incorreta/indevida e/ou falha dos dispositivos de supervisão e proteção.

Originalidade

Medidas de tensão e corrente, referentes aos sinais associados aos transitórios eletromagnéticos e aos sinais obtidos no oscilopertubógrafo ainda não são exploradas de forma a extrair toda a riqueza de informações contidas em tais sinais. Estes fatores tornam a ferramenta desenvolvida, identificada como DIFASE (Diagnóstico de Falhas em Subestações) muito robusta, pois está considerando fenômenos associados aos transitórios eletromagnéticos e a ocorrências reais, os quais não têm sido considerados neste tipo de ferramenta. Sua faixa de ação é consideravelmente melhorada e o processo de busca pelo(s) elemento(s) causador(es) do(s) desligamento(s) na subestação se tornou mais refinado, portanto mais preciso. Aqui, se fez uso do programa computacional ATP e do programa Análise, o primeiro para simulação de transitórios eletromagnéticos a fim de capturar aspectos qualitativos relacionados à tensão e corrente, e o segundo para obter as informações capturadas pelo oscilopertubógrafo. Portanto, o DIFASE faz uso de sinais discretos (digitais) e contínuos (analógicos) para o treinamento das redes neurais. Estas inovações reduzem o tempo de indisponibilidade do equipamento ou do trecho afetado.

As análises podem ser feitas pelo operador tanto no modo off-line quanto no modo on-line. As ferramentas de diagnóstico de faltas descritas na literatura estão limitadas as análises off-line. Além disso, estão restritas a subestações de distribuição e/ou de geração. O DIFASE foi desenvolvido para subestação de transmissão.

Aquisição de Dados a partir do SAGE – Base Histórica

O sistema SAGE possui basicamente as seguintes bases de dados [14]:

- Base Fonte: serve para descrever as características do sistema de supervisão e controle;
- Base Referência: serve para armazenar dados provenientes dos equipamentos, por isso, apresenta uma subdivisão em base quente e base fria;
- Base On-line: serve para que as aplicações do SAGE troque informações em tempo real;
- Base Histórica: serve para armazenar os dados que são monitorados no sistema elétrico, permitindo armazenar a evolução da topologia e as informações de tempo real. Esta base de dados é implementada por um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Base de Dados) do tipo relacional, e.g. SGBD PostGreSQL.

Neste projeto, o interesse está em obter os dados armazenados na Base Histórica do SAGE. Esta Base é alimentada pelo Sistema de Gerenciamento da Base Histórica (GBH) ou GBH-SAGE com os dados obtidos a partir do sistema elétrico monitorado. A atividade de carga da base histórica é feita pelo programa STI_cargbh que obtém os dados da base on-line e os salva no SGBD relacional como PostGreSQL que contém a base histórica.

A Base Histórica do SAGE (Figura 2) pode ser dividida em dois grupos de tabelas:

- Tabela de referência: esta tabela tem por função ligar uma Entidade Tempo Real com uma Tabela Dinâmica. Ela permite ligar a Base On-line com a Base Histórica;
- Tabela dinâmica: armazena de fato os dados sobre uma Entidade Tempo Real como, por exemplo, valores medidos e estados digitais.

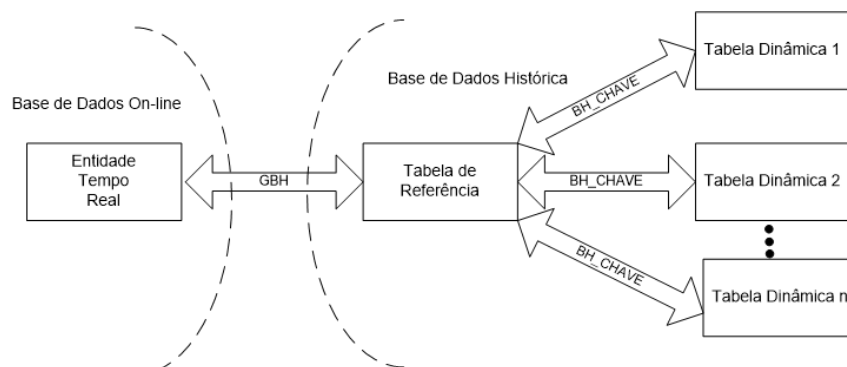


FIGURA 2. Base on-line e Base Histórica (adaptado de [14]).

O programa de aquisição de dados do projeto DIFASE foi desenvolvido com as seguintes características:

- Linguagem de programação: C#;
- Plataforma: dotNET versão 4.0;

- Conector para PostgreSQL: NPGSQL (versão 2.2.1);
- Compilado para processador: x86;
- Ambiente de desenvolvimento: Visual Studio 2010 Professional

Instalação, pré-requisitos e capacidade do programa

Para que o programa seja instalado corretamente os seguintes pré-requisitos devem ser seguidos: plataforma dotNET versão 4.0 e compilador para processador x86. O programa foi desenvolvido com as seguintes capacidades: números máximo de alarmes → 2000 e número máximo de pontos (gráficos) → 100000. Executando o programa aparecerá uma tela de login, ao qual, o usuário digitará o nome e senha exibindo em seguida a tela principal do programa. A tela principal engloba todos os módulos necessários para efetuar o diagnóstico de faltas na subestação. Nesta tela, o usuário define o modo de investigação: on-line ou off-line. Para modificar o modo, deve-se selecionar entre o modo desejado (on-line ou off-line) e clicar no botão "Versão" localizado no canto inferior esquerdo da tela principal do programa.

Os gráficos gerados pelo DIFASE possuem as seguintes propriedades.

- Copiar: imagem copiada para o clipboard.
- Gravar imagem: formatos emf, png, gif, jpg, tif e bmp são compatíveis no programa.
- Configurar página: configura tamanho, orientação e margens.
- Imprimir: escolher a impressora.
- Ver os valores dos pontos: se selecionada, pode-se observar os pontos na curva.
- Escala original: volta para escala de origem.

Para gerar o relatório de saída contendo informações sobre o diagnóstico discreto e contínuo basta acessar o sub-menu "Integrador" e clicar em Relatório.

2.2 Testes com o Sistema Computacional DIFASE

O programa DIFASE foi testado a partir de faltas reais (base histórica da subestação) e hipotéticas criadas exclusivamente para este fim.

a) Sinais Digitais

O desempenho de qualquer sistema de diagnóstico pode ser avaliado usando dados históricos bem como outros conjuntos de eventos que representam adequadamente o problema de interesse. Para a subestação em particular considerada aqui, os dados de teste correspondem a eventos que representam fielmente um distúrbio real e foram coletados pelos sistemas de controle supervisorio e de aquisição de dados (SCADA) de forma que podem ser usados para treinar as redes. Os eventos seguintes foram usados para testar o protótipo. Todas as simulações foram realizadas em tempo real, e o estado de cada equipamento foi constantemente checado.

Caso 1: Falta na linha de transmissão LDLI-LT6-01

O evento fez disparar os alarmes dos relés de distância (21) e de sobrecorrente (50SOTF) seguido da abertura dos disjuntores e das chaves. O protótipo identificou o evento corretamente emitindo na tela do operador uma mensagem (em destaque) informando a data, horário e o equipamento defeituoso, como ilustrado na Figura 3. O equipamento sob defeito pode ser identificado pelo operador usando o fator de participação mostrado na Figura 4. Os alarmes ativados estão listados na Tabela 1.

Date/Time	Status
12/07/2016 20:41:44	Normal
12/07/2016 20:42:06	Normal
12/07/2016 20:42:27	Normal
12/07/2016 20:42:49	Normal
12/07/2016 20:43:10	Normal
12/07/2016 20:43:32	Normal
12/07/2016 20:43:53	Normal
12/07/2016 20:44:17	Normal
12/07/2016 20:44:40	Normal
12/07/2016 20:45:02	Normal
12/07/2016 20:45:24	Normal
12/07/2016 20:45:50	Normal
12/07/2016 20:46:15	Normal
12/07/2016 20:46:37	Normal
12/07/2016 20:46:59	Normal
12/07/2016 20:47:20	Normal
12/07/2016 20:47:42	Fault - LDLI-LT6-01
12/07/2016 20:48:35	Normal
12/07/2016 20:48:57	Normal
12/07/2016 20:49:19	Normal
12/07/2016 20:49:41	Normal
12/07/2016 20:50:02	Normal
12/07/2016 20:50:24	Normal
12/07/2016 20:50:45	Normal
12/07/2016 20:51:07	Normal
12/07/2016 20:51:30	Normal

FIGURA 3. Mensagem de alerta – Caso 1.

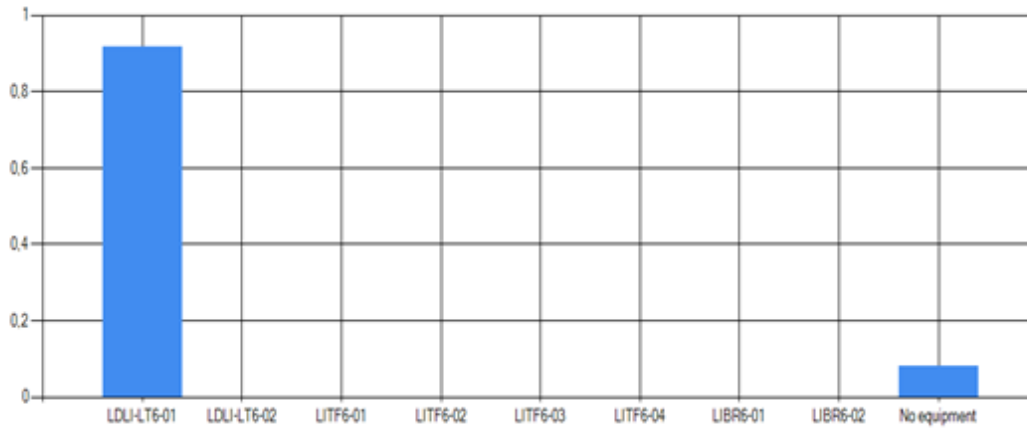


FIGURA 4. Fator de participação – Caso 1.

TABELA 1 - Alarmes ativados – Caso 1.

LIE21006,1,1,LDLILT601
LIE21007,2,1,LDLILT601
LIE21008,3,0,LDLILT601
LILDLT60187LPFA,4,1,LDLILT601
LILDLT60187LPFB,5,1,LDLILT601
LILDLT60187LPFV,6,1,LDLILT601
LIDJ601POS,123,1,SWITCH
LIDJ602POS,124,0,SWITCH
LIDJ603POS,125,1,SWITCH
LIDJ604POS,126,0,SWITCH
LIDJ605POS,127,0,SWITCH

b) Sinais Analógicos

As simulações seguintes utilizam sinais de transitórios eletromagnéticos gerados pelo programa ATP (Caso 2) e do oscilopertubógrafo (Caso 3).

Caso 2: Curto-circuito monofásico na linha de transmissão LDLI-LT6-01

Um curto-circuito monofásico (fase c – terra) ocorreu 13 km de distância da barra LDLI-LT6-01 no instante $t = 0.08$ segundos. As formas de onda de tensão e de corrente e o tipo de falta estão ilustrados na Figura 5.

Caso 3: Curto-circuito bifásico na linha de transmissão LDLI-LT6-02

Um curto-circuito bifásico (fases a-b) ocorreu 18 km distante da barra LIBR6-02 no instante $t = 0.08$ segundos. As formas de onda de tensão e de corrente e o tipo de falta estão ilustradas na Figura 6.

Caso 4: Evento Real

O diagnosticador de faltas detectou corretamente um distúrbio real, associado a um curto-circuito bifásico (fase b-c terra) na linha de transmissão LDLI-LT6-01 e está ilustrado na Figura 7.

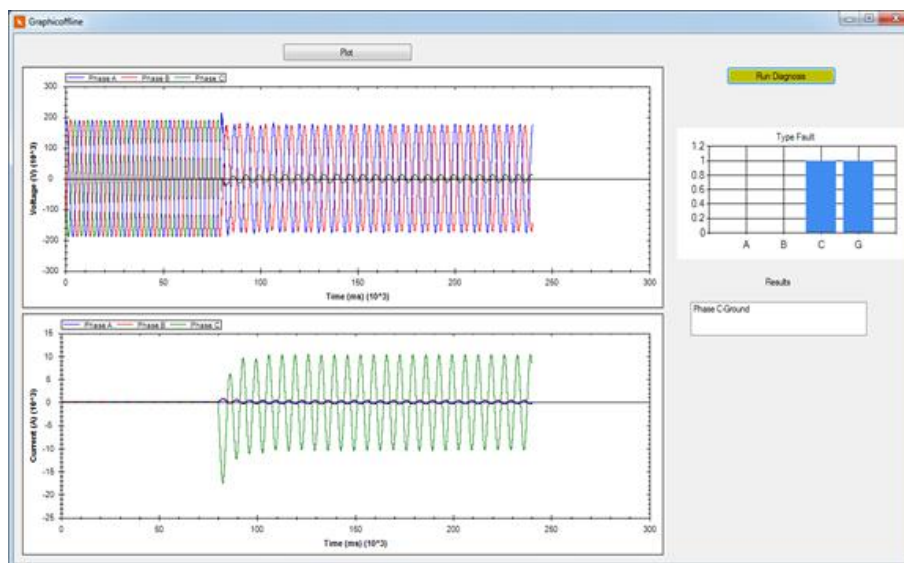


FIGURA 5. Diagnóstico e identificação de curto-circuito monofásico - Caso 2.

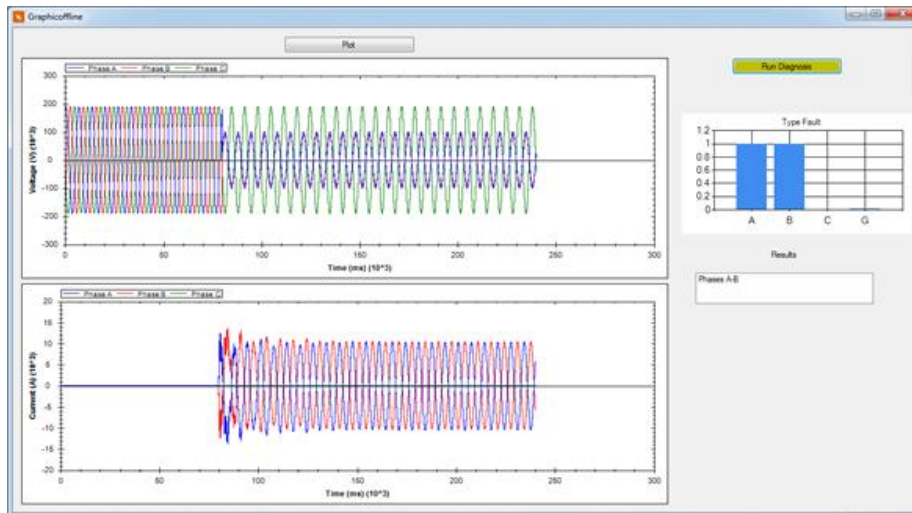


FIGURA 6. Diagnóstico e identificação de curto-circuito bifásico - Caso 3.

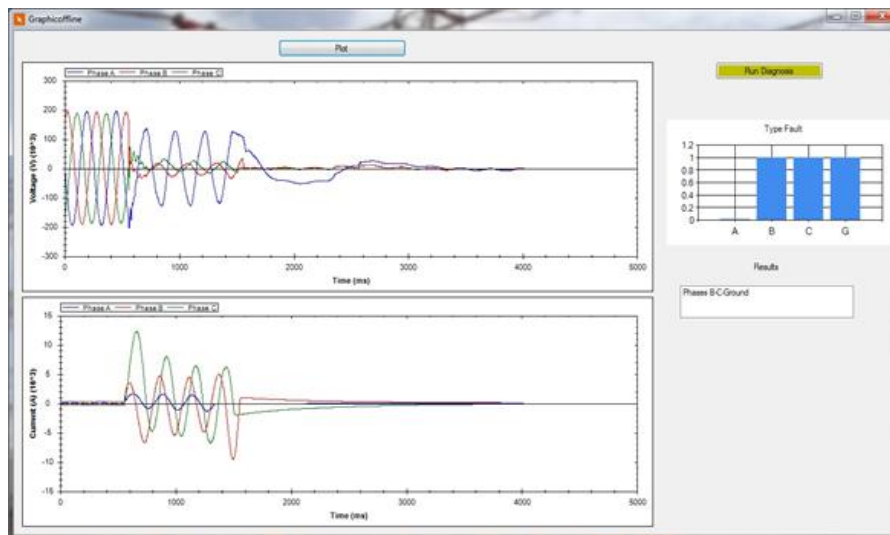


FIGURA 7. Diagnóstico e identificação de curto-circuito bifásico na linha de transmissão LDLI-LT6-01 - Caso 4.

3.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o desenvolvimento, teste e implementação em uma subestação de transmissão de 230 kV de um software para diagnóstico de faltas nos modos on-line ou off-line usando redes neurais artificiais. Sinais discretos e analógicos obtidos do sistema de aquisição SCADA, de simulações de transitórios eletromagnéticos e de um oscilopertubógrafo foram usados para treinar e testar as redes neurais. O uso de sinais discretos no diagnóstico de faltas permite identificar não apenas os alarmes e os estados dos disjuntores e das chaves, mas também os equipamentos sob defeito e seus respectivos índices de participação que podem ser visualizados através de gráficos ou de relatórios. O uso de sinais analógicos aumenta a diversidade dos dados de treinamento, melhorando a eficiência da ferramenta resultando em uma classificação mais precisa do tipo de falta. Embora os casos simulados confirmem a sua eficiência, a atual versão está sob observação para identificar qualquer ajuste ou melhoria que se faça necessário.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Fukui, C.; Kawakami, J., "An Expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relays and Circuit Breakers" IEEE Power Eng. Review, vol.PER-6, no.10, pp.29-30, Oct. 1986.
- (2) Tomsovic, K.; Chen-Ching Liu; Ackerman, Paul; Pope, Steve, "An Expert System as a Dispatchers' Aid for the Isolation of Line Section Faults", IEEE Trans. Power Delivery, vol.2, no.3, pp.736-743, July 1987.
- (3) Girgis, A.A.; Johns, Melisa B., "A hybrid expert system for faulted section identification, fault type classification and selection of fault location algorithms", IEEE Trans. Power Delivery, vol.4, no.2, pp.978-985, April, 1989.

- (4) C. A. Protopapas, K.P. Psaltiras, A. V. Machias, "An expert system substation fault diagnosis and alarm processing," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 6, no. 2, pp. 648-655, April 1991.
- (5) Hong-Tzer Yang; Wen-Yeau Chang; Ching-Lien Huang, "On-line fault diagnosis of power substation using connectionist expert system," IEEE Trans. on Power Systems, vol.10, no.1, pp.323-331, Feb 1995.
- (6) Alves da Silva, A.P.; Insfran, A.H.F.; da Silveira, P.M.; Torres, G.L., "Neural networks for fault location in substations", IEEE Trans. Power Delivery, vol.11, no.1, pp.234-239, Jan 1996.
- (7) H. Lee, B. Ahn and Y. Park, "A fault diagnosis expert system for distribution substations," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 15, no. 1, pp. 92-97, Jan. 2000.
- (8) W. Chen, C. Liu and M. Tsai, "On-line fault diagnosis of distribution substations using hybrid cause-effect network and fuzzy rule-based method," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 15, no. 2, pp. 710-717, April 2000.
- (9) de Souza, J.C.S.; Meza, E.M.; Schilling, M.T.; Brown Do Coutto Filho, M., "Alarm processing in electrical power systems through a neuro-fuzzy approach", IEEE Trans. Power Delivery, vol.19, no.2, pp.537-544, April 2004.
- (10) Wanderley, M.A.; Souza, J.C.S.; Do Coutto Filho, M.B.; Schilling, M.Th., "Fault location in substations using artificial neural networks", IEEE Power Tech, Russia, vol., no., pp.1-6, 27-30 June 2005.
- (11) Zhang Mingrui, "Modeling and simulation of substation fault diagnosis based on Petri nets" Eighth Intern. Conf. Elect. Machines and Systems, ICEMS 2005. on, vol.3, no., pp.1978-1982 Vol. 3, 29-29 Sept. 2005.
- (12) Gao Zhanjun; Chen Qing; Li Zhaofei, "Fault diagnosis method for smart substation" Inter. Conf. on Adv. Power System Auto-mation and Protection (APAP), 2011, vol.1, no., pp.427-430, 16-20 Oct. 2011.
- (13) J. C. S. Souza, M. A. P. Rodrigues, M. Th. Schilling and M. B. do Coutto Filho. "Fault location in electrical power system using intelligent systems techniques," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 16, pp. 59-67, Jan. 2001.
- (14) CEPEL, Manual da Base Histórica, Novembro de 2005.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

José Eduardo O. Pessanha – Doutor em Engenharia Elétrica pela Puc-Rio (1997). Professor Associado no Departamento de Engenharia Elétrica da UFMA.

Leonardo Paucar - Doutor em Engenharia Elétrica pela Unicamp (1998). Atualmente é Professor Associado no Departamento de Engenharia Elétrica da UFMA.

Denivaldo Lopes - Doutorado em Informática pelo Université de Nantes, França(2005). Professor Adjunto da UFMA.

Raimundo Costa Filho - Mestrado em Engenharia de Eletricidade pela Universidade Federal do Maranhão, Brasil(2014). Professor Assistente A- nível 1 da UFMA.

Júlio César R. Buzar - Mestrado em Engenharia de Eletricidade pela Universidade Federal do Maranhão, Brasil(2004). Engenheiro no Centro de Operações da Subestação São Luís I - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A - Eletrobras Eletronorte.

Frederico Doener - Graduação em Engenharia Eletrônica pela Universidade Paulista, Brasil(2006). Engenheiro das Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A - Eletrobras Eletronorte.

Vilson Castro - Pós-graduação em Rede de Computadores pela Universidade Católica de Brasília - UCB. Atualmente exerce o cargo de Assistente Técnico da Superintendência de Engenharia de Operação de Sistema na Eletrobras Eletronorte em Brasília – DF.