

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas

ISSN 1413-2214
BT/PEA/0410

Algoritmo Baseado em Redes
Neurais Artificiais para a Proteção de
Distância de Linhas de Transmissão

Ricardo Caneloi dos Santos
Eduardo Cesar Senger

São Paulo – 2004

1402343

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Ricardo Caneloi dos Santos, sob orientação do Prof. Dr. Eduardo Cesar Senger: "Algoritmo Baseado em Redes Neurais Artificiais para a Proteção de Distância de Linhas de Transmissão", defendida em 19/02/2004, na EPUSP.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Ricardo Caneloi dos

Algoritmo baseado em redes neurais artificiais para a proteção de distância de linhas de transmissão / Ricardo Caneloi dos Santos, Eduardo Cesar Senger. — São Paulo : EPUSP, 2004.

20 p. — (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas ; BT/PEA/0410)

1. Proteção de sistemas elétricos 2. Redes neurais 3. Relés
I. Senger, Eduardo Cesar II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas III. Título IV. Série
ISSN 1413-2214

CDD 621.317
006.3
621.317

ALGORITMO BASEADO EM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA A PROTEÇÃO DE DISTÂNCIA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Ricardo Caneloi dos Santos

Eduardo Cesar Senger

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
Av. Prof. Luciano Gualberto, trav.3, nº 158 – São Paulo – SP – CEP: 05508-900
E-mail: ricardo.santos@poli.usp.br

Resumo

Este artigo apresenta um algoritmo baseado em Redes Neurais Artificiais (RNA) para efetuar a proteção de distância de linhas de transmissão. Diferentemente dos demais algoritmos baseados nesta técnica, o algoritmo apresentado possui a característica de ser genérico, ou seja, o mesmo pode ser utilizado em qualquer linha de transmissão, independentemente das peculiaridades desta (nível de tensão, geometria das torres, cabos, etc), sem ajustes adicionais na topologia ou nos parâmetros da RNA. Para tornar possível a implementação de tal algoritmo, foram desenvolvidas as etapas de pré e pós-processamento das RNA. O desempenho do algoritmo proposto é comparado com o desempenho de um algoritmo convencional (Fourier) utilizado na proteção de distância, frente a situações operativas idênticas de uma linha de transmissão. Os resultados desta comparação servem de indicação sobre a viabilidade de implementação prática do algoritmo proposto.

Palavras-chave

Proteção de distância, Relés digitais, Redes MLP, Proteção de linhas de transmissão.

1. INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão percorrem grandes distâncias, passando sobre os mais variados tipos de terrenos e ficando permanentemente exposta ao tempo. Sob estas condições, dentre os componentes do sistema elétrico de potência, a linha de transmissão é o que apresenta o maior índice de defeito.

Para que os defeitos em linhas de transmissão tenham o menor impacto possível, é necessário que a linha tenha um adequado sistema de proteção. Esse sistema de proteção visa, no menor tempo possível, detectar, localizar e isolar o trecho da linha de transmissão com defeito (BLACKBURN, 1997; HOROWITZ, 1996; STEVENSON, 1986). Algumas das consequências de um defeito, caso este persista, devido a falhas no sistema de proteção, são:

- 1- Redução na margem de estabilidade do sistema;
- 2- Danos a equipamentos vizinhos;
- 3- Desligamento em cascata de uma área maior do sistema;
- 4- Danos a pessoas devido a explosões.

Na implantação do sistema de proteção, o nível de tensão da linha deve ser considerado, visto que os níveis mais altos (normalmente, linhas de transmissão mais importantes) requerem dispositivos mais rápidos, confiáveis e precisos. Tal necessidade exige a aplicação de relés mais complexos e sofisticados para atender aos requisitos de velocidade e confiabilidade. Essa medida torna a solução mais onerosa, porém, plenamente justificável.

A proteção de distância é a mais empregada nas linhas de transmissão, e por esse motivo, o presente trabalho propõe uma implementação do esquema de proteção de distância convencional, a partir da utilização de RNA. Tal proposta visa aproveitar a filosofia da proteção existente, somada a algumas vantagens das RNA. Visto que o algoritmo proposto, encontra-se vinculado ao esquema convencional de proteção de distância, uma abordagem sobre este último é realizada no próximo item.

1.1 Proteção de Distância

Através dos sinais de tensão e corrente provenientes da linha de transmissão, o relé de distância mede permanentemente a impedância “vista” a partir de sua localização. Neste caso, quando ocorre um curto-circuito na linha de transmissão, o relé mede a impedância do seu ponto de localização até o ponto de falta e, indiretamente, a distância da falta – daí o nome relé de distância.

1.2 Motivação para o Desenvolvimento deste Trabalho

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho provém de três fatos:

- 1- A grande importância de um eficiente esquema de proteção para as linhas de transmissão, razão pela qual existem tantos algoritmos disponíveis para essa função e tanto esforço, por parte dos pesquisadores, para aprimorar esses algoritmos.
- 2- A lacuna deixada quando se trata de algoritmos, baseados em RNA, aplicados a proteção de linhas de transmissão, que são desenvolvidos para uma linha de transmissão específica, o que inviabiliza a utilização prática dos mesmos.
- 3- A restrição apresentada pelos algoritmos existentes, baseados em RNA, que são empregados como classificadores de sinais, discriminando somente a zona faltosa da linha de transmissão, impedindo uma estimativa mais precisa sobre a localização do defeito.

Portanto, com vista ao exposto nos três fatos anteriores, a motivação do presente estudo é orientada pelo desenvolvimento de uma proteção de distância cujo algoritmo do elemento de medição é baseado em RNA. Tal algoritmo deve responder, com medidas de resistência e reatância, aos sinais de tensão e corrente presentes nos secundários dos TP e TC, proporcionando uma estimativa da localização do defeito. Como grande motivação, essas medidas fornecidas pelo algoritmo devem estar desvinculadas das características do sistema elétrico protegido. Isso significa que o tipo dos condutores, a geometria das torres, ou o nível de tensão da linha, não devem ter influência sobre o algoritmo proposto. Com essa abordagem acredita-se estar contribuindo para estender a fronteira das pesquisas, voltadas para a aplicação das RNA na proteção de distância, à medida que se viabiliza a utilização dessa solução na prática.

2. TRABALHOS ANTERIORES

A aplicação de RNA em sistemas elétricos de potência é uma linha de pesquisa que atrai cada vez mais os pesquisadores da área de sistemas de potência. Em particular, a utilização de RNA na proteção das redes elétricas vêm chamando a atenção dos engenheiros de proteção. Esse fato é justificado pelos bons resultados obtidos nas pesquisas que descrevem a utilização de RNA na proteção de equipamentos, proteção de linhas, diagnóstico de falhas, entre outros. Tal êxito é atribuído à capacidade das RNA extrair características importantes dos sinais provenientes dos elementos protegidos, além de representarem funções complexas sem envolver grande formalismo matemático, como ocorre nos métodos atuais.

Em especial, a aplicação de RNA na proteção de linhas de transmissão é um ramo cada vez mais explorado, visto a importância deste componente nos sistemas elétricos de potência, e o alto índice de defeitos relacionados ao mesmo. Em Santos (2004) é apresentada uma abordagem sobre a utilização de RNA na proteção de linhas de transmissão. Tal abordagem destaca alguns aspectos importantes com relação aos trabalhos desenvolvidos até o momento, visando discriminar onde o algoritmo proposto contribui para o estado da arte.

Através dos trabalhos apresentados por Santos (2004), são verificadas as inúmeras possibilidades oferecidas pelas RNA na implementação de algoritmos para a proteção de linhas de transmissão, bem como, são salientados os bons resultados que podem ser obtidos quando a referida técnica é empregada. Os seguintes pontos se destacam nos algoritmos desenvolvidos até o momento:

- 1- Todos os algoritmos tem suas RNA treinadas para operarem numa única linha de transmissão. Portanto, para a sua utilização em uma nova linha, seria necessário refazer a simulação de centenas ou milhares de casos de faltas dessa linha, além de todo o processo de treinamento da RNA. Tal necessidade inviabiliza a aplicação prática da solução baseada na teoria de RNA;
- 2- As RNA utilizadas nos algoritmos trabalham como classificadores de sinais, indicando se o defeito ocorreu dentro ou fora da zona de proteção, não oferecendo uma localização precisa do defeito;
- 3- Os algoritmos possuem RNA treinadas a partir de sinais oriundos de simulações de sistemas elétricos de potência modelados na íntegra, o que demanda um razoável esforço inicial.

A observação dos itens 1, 2 e 3 torna evidente que existem algumas lacunas deixadas nos atuais algoritmos para a proteção de linhas de transmissão. Sendo assim, o que se propõe neste trabalho é um algoritmo, baseado em RNA, que atenda à certos requisitos fundamentais, elaborados para preencher as lacunas existentes nos algoritmos apresentados anteriormente e contribuir para o estado da arte. Tais requisitos são descritos, genericamente, nos itens a e b apresentados a seguir.

a- O algoritmo deve ser aplicável a qualquer linha de transmissão;

b- A RNA deve atuar como um aproximador de função, e não como classificador de sinais;

Visando satisfazer os itens a e b e contribuir para o estado da arte, foi desenvolvido um algoritmo com as seguintes características, para a implementação de uma proteção de distância: o algoritmo possui um comportamento genérico, ou seja, pode ser aplicado a qualquer linha de transmissão, independentemente das peculiaridades da mesma; o algoritmo é capaz de estimar com precisão a localização do defeito, estimando valores de resistência e reatância a partir de amostras de tensão e corrente (provenientes da linha de transmissão);

o algoritmo proposto é passível de treinamento através de um sistema de primeira ordem (circuito monofásico de sequência positiva), dispensando a necessidade da modelagem completa do sistema elétrico de potência.

3. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Entre as técnicas de inteligência artificial, uma que desperta especial interesse nos engenheiros de sistemas de potência são as Redes Neurais Artificiais (RNA). Nesta técnica encontra-se grande possibilidade de resolução de problemas complexos, sem requerer um grande formalismo matemático, comum na solução clássica.

Dependendo do tipo de problema que se deseja resolver (Proteção, Fluxo de Carga, Confiabilidade, entre outros), as RNA podem dispor de duas características essenciais: (DEMUTH, 1996; HAYKIN, 1994)

- 1- Capacidade de interpretação e classificação de dados;
- 2- Capacidade de aproximar qualquer função desejada.

Neste trabalho, que se destina à implementação de um dispositivo para a proteção de linhas de transmissão, é feito o uso da característica de aproximação de função da RNA. Neste item, são contemplados os principais tópicos relacionados às redes MLP (utilizadas no algoritmo proposto), visando formar uma base de conhecimento suficiente para a apresentação do algoritmo desenvolvido.

3.1 Redes MLP

Rosenblatt desenvolveu na década de 50, as redes compostas por Perceptron dispostos em várias camadas, denominadas de Multilayer Perceptron (MLP). Nestas redes, os neurônios que recebem os sinais de entrada constituem a camada de entrada, enquanto que os neurônios na saída da rede constituem a camada de saída. Os neurônios que se encontram entre as camadas de entrada e saída, constituem as camadas ocultas. A figura 3.1 apresenta, a título de exemplo, uma rede MLP com seis neurônios dispostos em de três camadas.

Cada camada é composta por um conjunto de neurônios, pesos, valores de polarização e função de ativação (BRAGA, 2000; KOVÁCS, 1996).

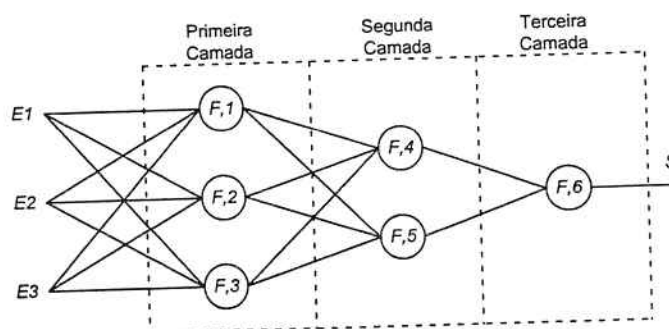


Figura 3.1 – Rede MLP com 3 camadas

O grande poder computacional deste tipo de rede torna possível a solução dos problemas não linearmente separáveis: “uma RNA composta de camada de entrada, camada de saída e pelo menos uma camada oculta, pode representar qualquer função com um número finito de discontinuidades, desde que tenha número de neurônios suficientes e uma função não linear na camada oculta” (HAYKIN, 1994; WASSERMAN, 1989).

Redes MLP procuram, simplificadamente, simular o comportamento do cérebro humano, processando as informações presentes na camada de entrada da RNA, até a camada de saída desta, transportando tais informações ao longo de uma rede de neurônios artificiais, dispostos em várias camadas. As conexões sinápticas presentes no sistema biológico, são simuladas nas RNA, através de pesos localizados nas entradas de cada neurônio artificial. O ajuste desses pesos traduz o conhecimento adquirido pela RNA, e é conseguido a partir de um processo de aprendizado da mesma – treinamento da RNA.

3.1.1 Tipos de Treinamento

Para ajustar os pesos da RNA de forma que esta “aprenda” uma função de interesse, ou seja, adquira “conhecimento”, é necessário que a mesma passe por um processo de treinamento. Após tal processo, a RNA é submetida a um teste de generalização, que visa, através da análise das suas respostas, diante de situações desconhecidas, verificar se a mesma “aprendeu” corretamente a tarefa desejada. O processo de treinamento da RNA pode ser realizado basicamente de duas maneiras:

Treinamento supervisionado: neste caso existem pares de vetores entrada/saída conhecidos (denominados de conjunto de treinamento). Para cada vetor de entrada (conhecido) aplicado à RNA, compara-se a saída emitida pela rede (calculada) com a saída esperada (conhecida). Caso a saída emitida pela RNA, para uma determinada entrada, não seja a saída esperada, os pesos da rede são alterados de forma a minimizar o erro entre as saídas emitida e esperada. Este processo dura até que o erro entre tais saídas atinja um valor mínimo esperado ou o processo alcance o número máximo de iterações determinado inicialmente.

Treinamento não supervisionado: Neste método de treinamento existe mais plausibilidade biológica do que no método anterior, visto que não existem pares de vetores entrada/saída, para realimentar o sistema e minimizar o erro (WASSERMAN, 1989). Desenvolvido por Kohonen em 1984, o treinamento não supervisionado consiste apenas de vetores de entrada e, à medida que estes são aplicados à rede, os pesos desta são modificados para formar vetores de saída consistentes. Portanto, após o treinamento, a RNA é capaz de classificar corretamente os dados de entrada, gerando saídas previsíveis para tais vetores. Conforme observado, neste tipo de treinamento, a rede se auto-configura para criar (internamente) classes referentes aos vetores de entrada.

3.2 Algoritmo *Backpropagation*

O algoritmo *Backpropagation* foi desenvolvido para redes de neurônios de múltiplas camadas (MLP), resolvendo uma das limitações fundamentais para o treinamento de redes complexas. Conforme Kovács (1996), o objetivo deste algoritmo é determinar novos pesos para a RNA, visando reduzir o erro quadrático entre o par de vetores saída desejada e saída calculada. A figura 3.2 apresenta uma descrição de alto nível do algoritmo *Backpropagation* (LOONEY, 1997; WASSERMAN, 1989).

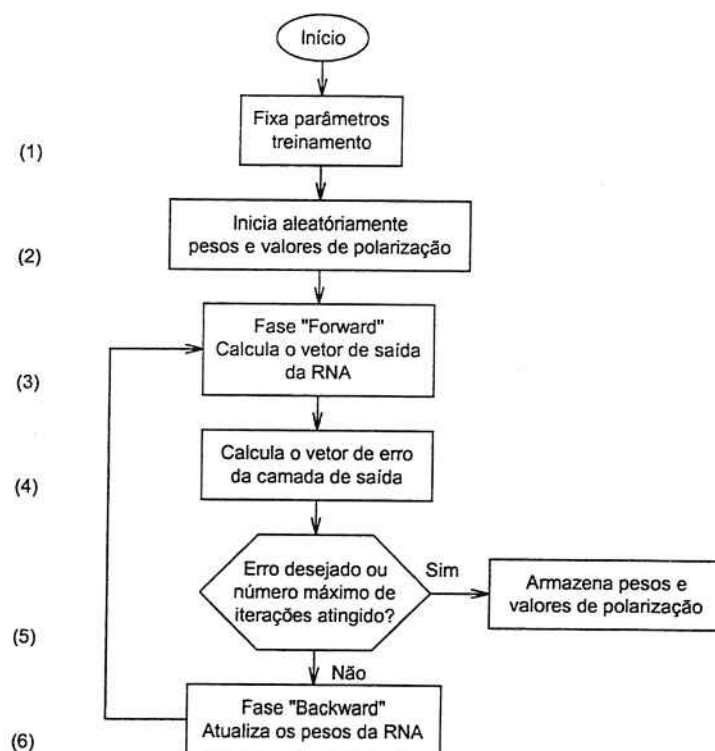


Figura 3.2 – Diagrama de alto nível do algoritmo *Backpropagation*

Passo 1: Para uma determinada arquitetura de RNA, fixam-se os parâmetros de treinamento, tais como: taxa de aprendizado (tamanho do passo para a correção dos pesos), número máximo de iterações e erro máximo desejado sobre o conjunto de treinamento;

Passo 2: Inicializa aleatoriamente os pesos e valores de polarização da RNA;

Passo 3: Dado um conjunto de treinamento, calcula-se o vetor de saída da RNA;

Passo 4: Determina-se o erro, na camada de saída, referente ao conjunto de treinamento apresentado;

Passo 5: Verifica-se se o número máximo de iterações ou o erro máximo desejado, ambos fixados no passo 1, foi atingido. Em caso afirmativo, os valores dos pesos e de polarização são armazenados e o treinamento é encerrado. Caso contrário, tais valores são recalculados no passo 6 e retorna-se ao passo 3;

Passo 6: Os pesos são recalculados na camada de saída e nas camadas ocultas.

4. PROPOSTA DO RELÉ BASEADO EM RNA

A proposta principal deste trabalho é o desenvolvimento de um algoritmo, baseado em Redes Neurais Artificiais (RNA), para efetuar a proteção de linhas de transmissão. A contribuição principal do algoritmo desenvolvido é a sua capacidade de ser empregado em qualquer linha de transmissão, independentemente das peculiaridades da mesma. Essa característica de ser genérico, tida como principal para o algoritmo desenvolvido, é o que o diferencia dos demais algoritmos baseados em RNA, os quais são projetados para resolver problemas de uma situação específica, ou seja, treinados para operar em uma única linha de transmissão. Essa limitação, própria das RNA, é causada pelos casos utilizados no processo de treinamento das mesmas, que são gerados a partir da situação problema (ou seja, da linha que se deseja proteger). Para tornar o algoritmo baseado em RNA genérico, foi desenvolvido um esquema de pré e pós-processamento dos sinais de tensão e corrente, o qual é descrito em detalhes nos itens a seguir.

4.1 Diagrama Funcional do Relé de Distância

Para um diagrama funcional típico de relé digital, conforme o apresentado na figura 4.1, o algoritmo desenvolvido é alocado no bloco microprocessador.

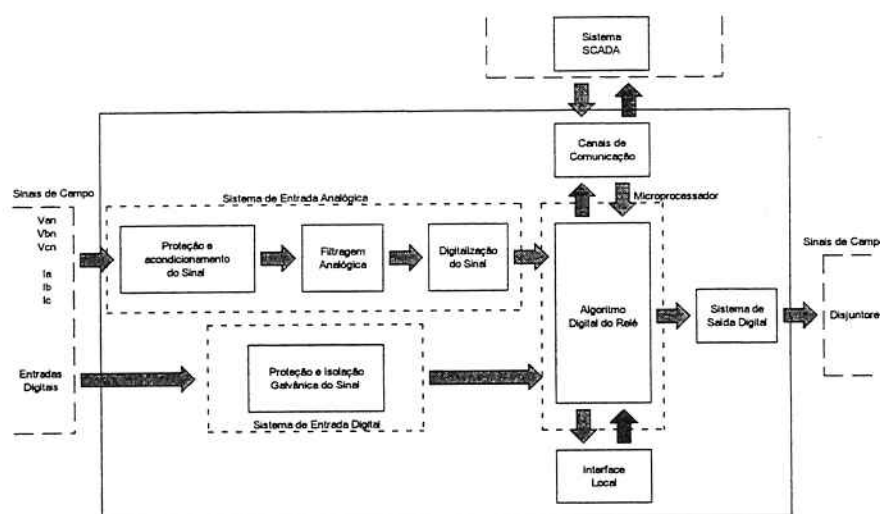


Figura 4.1 – Diagrama funcional típico dos Relés Digitais

A figura 4.2 ilustra o fluxo dos sinais de tensão e corrente, sem discriminação de fase, no algoritmo proposto. Os próximos itens detalham os blocos apresentados nesta figura.

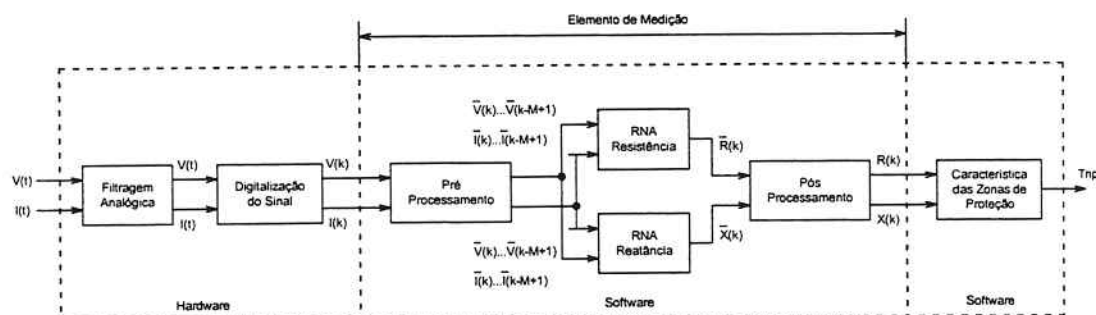


Figura 4.2 – Fluxo dos sinais de tensão e corrente no algoritmo proposto

4.1.1 Digitalização do Sinal

No processo de digitalização do sinal, os dois parâmetros mais importantes são a resolução do conversor A/D e a frequência de amostragem. Com relação ao primeiro parâmetro, conversores com resolução de 12 a 16 bits garantem um baixo ruído de amostragem e uma boa precisão em toda a faixa dinâmica de operação do relé. Já com relação à frequência de amostragem, foram analisadas as frequências típicas de 16 e 32 amostras por ciclo, utilizadas em grande parte dos equipamentos comerciais. Com essas frequências de amostragem procura-se limitar a carga computacional imposta ao microprocessador. No algoritmo proposto,

estas duas frequências de amostragem são utilizadas, proporcionando um estudo comparativo da frequência de amostragem mais conveniente para a aplicação em questão.

4.1.2 Filtragem Analógica

O filtro projetado para ser utilizado no algoritmo em questão provém da opção de se utilizar um único filtro para as frequências de amostragens de 960 Hz (16 Amostras/Ciclo) e 1920 Hz (32 Amostras/Ciclo), e possui as seguintes características: filtro analógico classe Butterworth, passa-baixa, ordem 3 e frequência de corte de 200 Hz. A frequência de corte deste filtro foi determinada de forma a impor uma atenuação de no mínimo dez vezes para as componentes de frequência superiores a 480 Hz, respeitando a condição de Nyquist.

4.2 Algoritmo do Elemento de Medição de Impedância

É importante destacar que o algoritmo a ser desenvolvido é relativo somente ao módulo de medição da impedância de falta, ficando subentendido que a detecção do defeito e a classificação do mesmo são realizadas pelos métodos convencionais. A abordagem de tais métodos encontra-se fora do escopo deste trabalho.

Conforme salientado anteriormente, o relé de distância utiliza seis elementos de medição para estimar corretamente a impedância para os dez tipos possíveis de falta (BLACKBURN, 1997; HOROWITZ, 1996; STEVENSON, 1986). Desses seis elementos, três são denominados de elementos de fase (AB, BC e CA) e monitoram as faltas envolvendo duas ou mais fases. Os outros três elementos são denominados de elementos de terra (AN, BN, CN) e monitoram as faltas envolvendo uma fase e a terra.

No algoritmo proposto, os elementos de fase e de terra são implementados com RNA que, a partir das entradas com os sinais de tensão e corrente, devidamente processadas, determinam a cada instante a impedância de sequência positiva “vista” pelo relé, em relação à sua localização. Para realizar tal tarefa, o algoritmo de medição desenvolvido possui as etapas de pré-processamento, RNA e pós-processamento.

A etapa de pré-processamento está presente em cada elemento de medição do algoritmo, sendo responsável pela geração dos sinais de entrada das RNA, conforme ilustram as figuras 4.3 e 4.4, para o elemento de fase AB e o elemento de terra AN. Para os demais elementos do algoritmo, processamento análogo ao apresentado para os elementos AB e AN são utilizados.

Na etapa das RNA os sinais pré-processados, referentes a cada elemento de medição, são aplicados a duas RNA convenientemente treinadas, que determinam a resistência e a reatância “vistas” pelo relé, a partir de seu ponto de localização. Uma vez que os sinais de entrada das RNA foram normalizados pela etapa de pré-processamento, os valores de resistência e reatância na saída dessas redes, também encontram-se normalizados.

Na etapa de pós-processamento os valores normalizados nas saídas das RNA são novamente passados para valores de resistência e reatância em Ohms. Após essa etapa, os valores de impedância são submetidos ao módulo que testa as zonas de proteção do relé e decide pela geração ou não do sinal de *trip*.

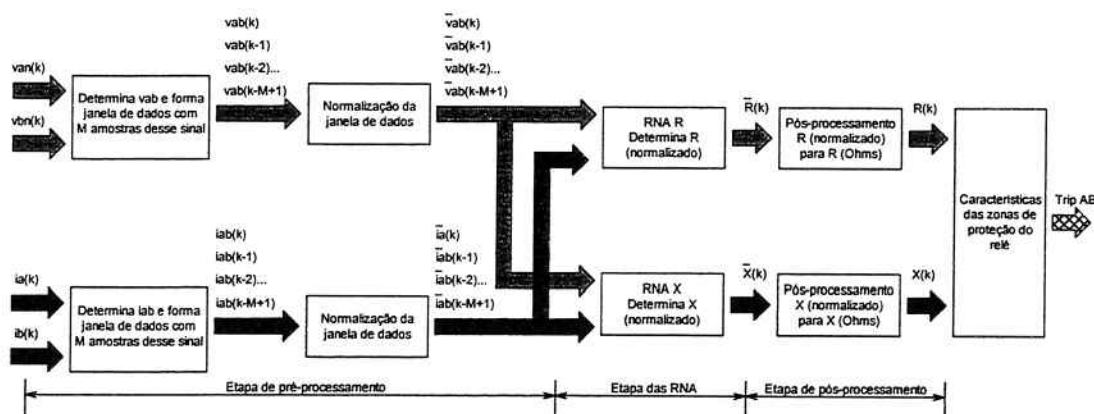


Figura 4.3 – Etapas do algoritmo proposto - elemento de fase AB

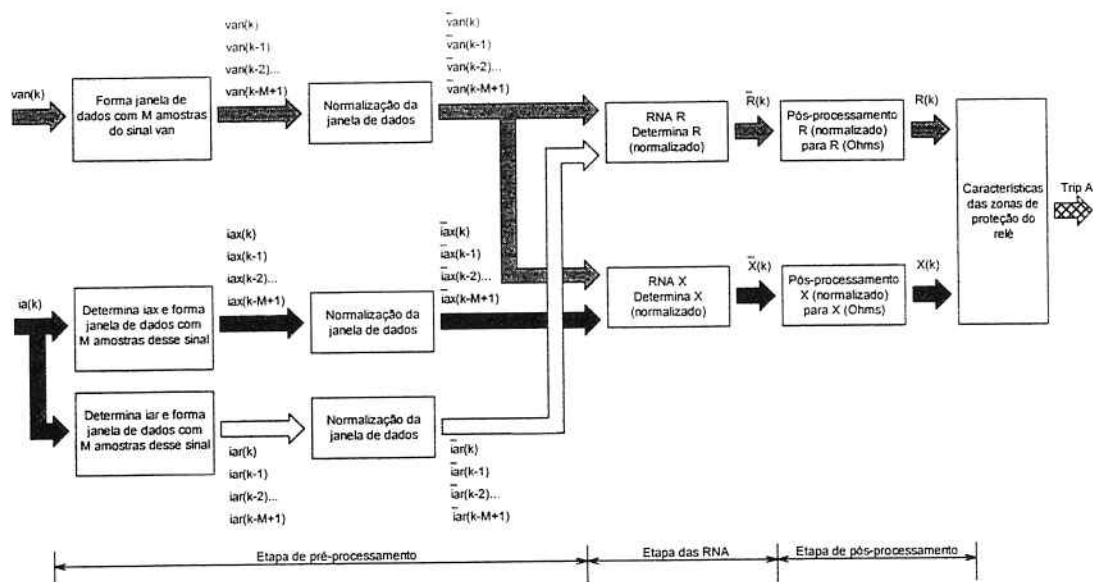


Figura 4.4 – Etapas do algoritmo proposto - elemento de terra AN

4.3 Etapa de Pré-Processamento

A função desta etapa é gerar os sinais de entrada para as RNA, conforme apresentado nas figuras 4.3 e 4.4, para os elementos de medição AB e AN. A partir das referidas figuras, observa-se que as etapas de pré-processamento dos elementos de fase e dos elementos de terra do algoritmo são diferentes. Entretanto, o mesmo tratamento é dado a todos os elementos de fase (AB, BC e CA), diferindo apenas nos sinais de entrada utilizados por cada elemento de medição. Analogamente, todos os elementos de terra (AN, BN e CN) sofrem o mesmo processamento, tendo como única diferença os sinais de entrada utilizados em cada elemento de medição. Sendo assim, neste item será abordado o esquema de pré-processamento imposto aos sinais de entrada dos elementos de fase e de terra do algoritmo em questão.

4.3.1 Geração dos Sinais de Entrada dos Elementos de Medição

Neste trabalho, cada elemento de medição é composto por duas RNA, sendo, em cada elemento, uma para determinar R e outra para determinar X. É importante ressaltar que independentemente do elemento que se deseja representar, não há distinção entre as redes que estimam a resistência, o mesmo ocorrendo para as redes que estimam a reatância. Dessa forma existem somente duas RNA, que são idênticas em termos de arquitetura, diferindo apenas nos seus processos de treinamento, ou seja, uma foi treinada para estimar R e a outra X.

Quando se deseja treinar uma RNA para estimar a resistência, o conjunto de treinamento desta deve ser composto por vetores de entrada com amostras de tensão e corrente (devidamente processadas), enquanto que o vetor de saída deve conter amostras com valores de resistência. Já para o treinamento de uma RNA que estima a reatância, as amostras de tensão e corrente que constituem o vetor de entrada devem estar associadas a um vetor de saída com amostras de reatância (ver item 5).

Para exemplificar o princípio de funcionamento dos elementos de terra do algoritmo proposto, a figura 4.5 apresenta o esquema utilizado no elemento de terra AN. Para o entendimento dos demais elementos de terra, raciocínio análogo ao apresentado para o elemento AN deve ser empregado.

Uma abordagem mais detalhada sobre o esquema de pré-processamento é apresentada em Santos (2004), que deduz as expressões utilizadas para gerar os sinais de entrada das RNA (elementos de terra e fase).

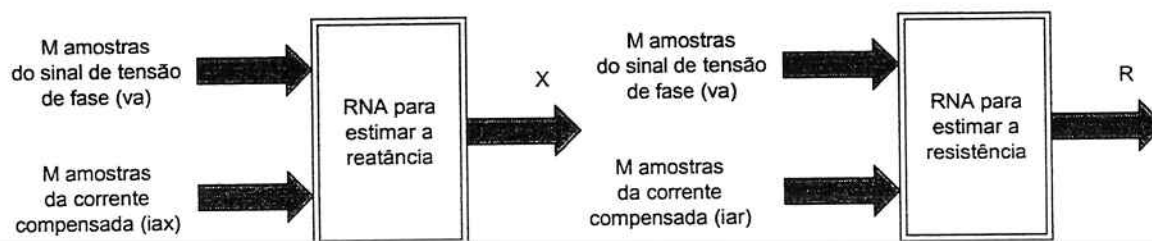


Figura 4.5 – Esquema baseado em RNA para a estimativa de R e X – Elemento de terra AN

A partir do esquema apresentado na figura 4.5, observa-se que os valores de resistência e reatância, “vistas” pelo relé, na ocasião de um curto-circuito monofásico, ficam em função exclusivamente da tensão de fase (v_a) e das correntes compensadas (i_{ar} e i_{ax}) no ponto de instalação do relé, onde:

$$i_{ar(k)} = i_{a(k)} + Kr.i^0(k) \quad (1)$$

$$i_{ax(k)} = i_{a(k)} + Kx.i^0(k) \quad (2)$$

$$v_{a(k)} \quad (3)$$

$$Kr = \frac{R^0 - R^1}{R^1} = \frac{r^0 - r^1}{r^1} \quad (4)$$

$$Kx = \frac{L^0 - L^1}{L^1} = \frac{l^0 - l^1}{l^1} \quad (5)$$

sendo,

R^1, R^0 = Resistências de sequência positiva e zero do trecho com defeito (Ohms);

r^1, r^0 = Resistências de sequência positiva e zero da linha (Ohms/km)

L^0, L^1 = Indutâncias de sequência positiva e zero do trecho com defeito (Ohms);

l^0, l^1 = Indutâncias de sequência positiva e zero da linha (Ohms/km);

v_a = Tensão na fase A no local do relé;

i_a = Corrente de linha na fase A;

i^0 = Corrente de sequência zero;

Kr e Kx = Fator de compensação;

k = Representação da amostra mais recente.

Conforme destacado na abordagem sobre o relé de distância convencional, a corrente utilizada pelo elemento de terra do relé deve ser corrigida, de forma que resulte num equacionamento utilizando somente a impedância de sequência positiva. Para isso, é utilizado um fator de compensação que, quando se trabalha no domínio da frequência, é aplicado diretamente sobre a corrente de linha que chega em cada elemento de terra (BLACKBURN, 1997; HOROWITZ, 1996). Entretanto, como no algoritmo proposto trabalha-se com uma sequência de amostras e, portanto, no domínio do tempo, o fator de compensação utilizado para a correção da corrente que chega em cada elemento de terra do algoritmo é obtido através das expressões 4 e 5.

Os sinais de entrada do elemento de terra AN para uma janela de dados de M amostras, são apresentados a seguir.

Sinais de entrada para estimar a resistência (sinais de entrada da rede R)

$$\text{Janela do sinal } v_a = [v_{a(k)} \quad v_{a(k-1)} \quad v_{a(k-2)} \quad \dots \quad v_{a(k-M+1)}]$$

$$\text{Janela do sinal } i_{ar} = [i_{ar(k)} \quad i_{ar(k-1)} \quad i_{ar(k-2)} \quad \dots \quad i_{ar(k-M+1)}]$$

Sinais de entrada para estimar a reatância (sinais de entrada da rede X)

$$\text{Janela do sinal } v_a = [v_{a(k)} \quad v_{a(k-1)} \quad v_{a(k-2)} \quad \dots \quad v_{a(k-M+1)}]$$

$$\text{Janela do sinal } i_{ax} = [i_{ax(k)} \quad i_{ax(k-1)} \quad i_{ax(k-2)} \quad \dots \quad i_{ax(k-M+1)}]$$

Após a análise da geração dos sinais de entrada dos elementos de terra, será efetuada uma análise da geração dos sinais de entrada dos elementos de fase do algoritmo proposto. Igualmente aos relés convencionais, este algoritmo utiliza como entrada para os elementos de fase AB, BC e CA, os respectivos sinais v_{ab} e i_{ab} , v_{bc} e i_{bc} , v_{ca} e i_{ca} (BLACKBURN, 1997; HOROWITZ, 1996).

Com a finalidade de abordar o princípio de funcionamento dos elementos de fase do algoritmo proposto, a figura 4.6 ilustra o esquema utilizado para o elemento de fase AB, sendo que os demais elementos de fase possuem comportamento análogo a este.

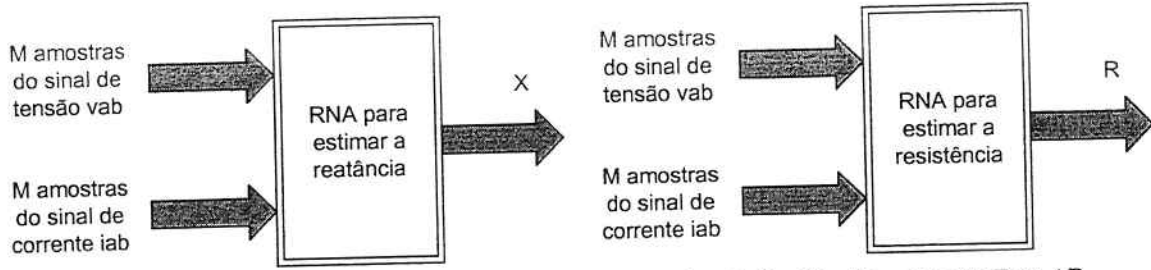


Figura 4.6 – Esquema baseado em RNA para a estimativa de R e X – Elemento de Fase AB

No domínio do tempo, as expressões 6 – 7 são empregadas para determinar os sinais de entrada do elemento de fase AB do algoritmo em questão.

$$v_{ab(k)} = v_{a(k)} - v_{b(k)} \quad (6)$$

$$i_{ab(k)} = i_{a(k)} - i_{b(k)} \quad (7)$$

A título de exemplo, os sinais de entrada utilizados no elemento de fase AB, para uma janela de dados de M amostras, são apresentados na sequência.

Sinais de entrada para estimar a resistência (sinais de entrada da rede R)

$$\text{Janela do sinal } v_{ab} = [v_{ab(k)} \quad v_{ab(k-1)} \quad v_{ab(k-2)} \quad \cdots \quad v_{ab(k-M+1)}]$$

$$\text{Janela do sinal } i_{ab} = [i_{ab(k)} \quad i_{ab(k-1)} \quad i_{ab(k-2)} \quad \cdots \quad i_{ab(k-M+1)}]$$

Sinais de entrada para estimar a reatância (sinais de entrada da rede X)

$$\text{Janela do sinal } v_{ab} = [v_{ab(k)} \quad v_{ab(k-1)} \quad v_{ab(k-2)} \quad \cdots \quad v_{ab(k-M+1)}]$$

$$\text{Janela do sinal } i_{ab} = [i_{ab(k)} \quad i_{ab(k-1)} \quad i_{ab(k-2)} \quad \cdots \quad i_{ab(k-M+1)}]$$

4.3.2 Utilização de Valores Normalizados

Como parte do processo, para proporcionar um comportamento genérico ao algoritmo, a cada nova amostra de tensão e corrente, as janelas de dados dos sinais dos seis elementos de medição são normalizadas. Dessa forma, pretende-se que os sinais de entrada, que constituem os vetores de entrada das RNA, fiquem independentes do nível de tensão da linha de transmissão protegida. Essa medida ainda visa satisfazer a condição imposta pela função de ativação dos neurônios presentes na camada de entrada das RNA, que só permite vetores de entrada com valores limitados entre -1 e +1 – função tangente hiperbólica (Tansig).

A normalização de uma janela de dados é realizada a partir da divisão de todos os seus elementos (amostras), pelo elemento de maior valor absoluto. Quando este procedimento é realizado numa janela de dados de tensão, o maior elemento da janela é chamado de Vb (tensão de base da janela). Já quando o procedimento ocorre numa janela de dados de corrente, o maior elemento é chamado de Ib (corrente de base da janela). A cada nova janela de dados a relação entre Vb e Ib gera Zb , denominado de impedância de base da janela de dados. Esse procedimento é retratado nos pontos (1 - 5) descritos na sequência, para uma janela de M amostras se deslocando sobre os sinais v_{ab} e i_{ab} (sinais de entrada do elemento de fase AB). Para as demais fases e sinais, a análise é análoga ao caso exemplificado a seguir.

Devido a semelhança entre o processo de normalização descrito neste item e o processo de aplicação do sistema p.u., usualmente empregado em sistemas de potência, adotou-se, neste trabalho, para o referido processo de normalização, a mesma notação utilizada no sistema p.u.. Isso significa que os valores normalizados são indicados por uma barra horizontal sobre a variável em questão (corrente, tensão ou impedância).

Convém salientar que tal processo de normalização não consta somente da adequação dos valores de entrada das RNA, sendo, entretanto, bastante semelhante à utilização do sistema p.u., visto que gera uma impedância de base Zb que possibilita a determinação dos valores de resistência e reatância em Ohms.

1- Sinais de entrada para o elemento AB

$$\text{Janela do sinal } v_{ab} = [v_{ab(k)} \quad v_{ab(k-1)} \quad v_{ab(k-2)} \quad \dots \quad v_{ab(k-M+1)}]$$

$$\text{Janela do sinal } i_{ab} = [i_{ab(k)} \quad i_{ab(k-1)} \quad i_{ab(k-2)} \quad \dots \quad i_{ab(k-M+1)}]$$

2- Determina os valores de base das janelas de tensão (v_{ab}) e corrente (i_{ab}) para o instante da amostra k

$$Vb_{ab(k)} = \max [|v_{ab(k)}| \quad |v_{ab(k-1)}| \quad |v_{ab(k-2)}| \quad \dots \quad |v_{ab(k-M+1)}|]$$

$$Ib_{ab(k)} = \max [|i_{ab(k)}| \quad |i_{ab(k-1)}| \quad |i_{ab(k-2)}| \quad \dots \quad |i_{ab(k-M+1)}|]$$

3- Determina a impedância de base para o instante da amostra k

$$Zb_{ab(k)} = \frac{Vb_{ab(k)}}{Ib_{ab(k)}}$$

4- Normaliza as amostras do sinal de entrada

(8)

$$\text{Janela do sinal } v_{ab(nor)} = \frac{\text{Janela do sinal } v_{ab}}{Vb_{ab(k)}} = [\bar{v}_{ab(k)} \quad \bar{v}_{ab(k-1)} \quad \bar{v}_{ab(k-2)} \quad \dots \quad \bar{v}_{ab(k-M+1)}]$$

$$\text{Janela do sinal } i_{ab(nor)} = \frac{\text{Janela do sinal } i_{ab}}{Ib_{ab(k)}} = [\bar{i}_{ab(k)} \quad \bar{i}_{ab(k-1)} \quad \bar{i}_{ab(k-2)} \quad \dots \quad \bar{i}_{ab(k-M+1)}]$$

5- Forma os vetores de entrada das RNA

$$\text{Vetor de entrada (AB)} = \begin{bmatrix} \text{Janela do sinal } v_{ab(nor)} \\ \text{Janela do sinal } i_{ab(nor)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{v}_{ab(k)} \\ \bar{v}_{ab(k-1)} \\ \bar{v}_{ab(k-2)} \\ \vdots \\ \bar{v}_{ab(k-M+1)} \\ \bar{i}_{ab(k)} \\ \bar{i}_{ab(k-1)} \\ \bar{i}_{ab(k-2)} \\ \vdots \\ \bar{i}_{ab(k-M+1)} \end{bmatrix}$$

Onde o índice “nor” indica que a janela de dados está normalizada.

Conforme salientado anteriormente, o relé proposto consta de duas RNA para cada elemento de medição, sendo em cada elemento, uma rede para determinar a resistência e outra para determinar a reatância. Independentemente do elemento de medição, todas as redes que estimam a resistência são iguais entre si, sendo que o mesmo ocorre com as redes que estimam a reatância. Portanto, em função do elemento de medição que se deseja representar, faz-se necessária somente a alteração do vetor de entrada das respectivas RNA. O vetor de entrada de cada RNA é obtido mediante a adequada associação da janela de dados de tensão e corrente, para o elemento de proteção que se deseja implementar. As figuras 4.3 e 4.4 ilustram os dois pares de redes neurais dos elementos de medição AB e AN, com as suas respectivas entradas. Como já observado, para cada RNA o vetor de entrada possui os M primeiros elementos referentes à janela de dados de tensão, seguido de outros M elementos referentes à janela de dados de corrente.

Neste trabalho foram analisadas janelas de dados de 4, 8, 12 e 16 amostras, implicando em RNA com 8, 16, 24 e 32 entradas, respectivamente. Em termos de arquitetura da RNA, neste trabalho, o número de entradas da rede é sempre igual ao comprimento do vetor de entrada da mesma, ou seja, duas vezes o comprimento da janela de dados utilizada (uma janela de tensão e outra de corrente).

4.4 Etapa das Redes Neurais Artificiais

A etapa das RNA é o núcleo do algoritmo desenvolvido e consta, basicamente, de redes previamente treinadas para aproximar funções. No presente trabalho, são utilizados dois tipos de redes neurais: a primeira treinada para determinar o valor da resistência (rede R); a segunda treinada para determinar o valor de reatância (rede X). Estas duas redes determinam esses valores a partir das amostras de tensão e corrente, aplicadas nas suas entradas, por intermédio dos seus respectivos vetores de entrada. Tanto os valores de entrada, como os valores de saída da rede neural, encontram-se normalizados. Isso se deve em parte à imposição da função de ativação utilizada nas camadas de entrada e saída das RNA (tangente hiperbólica, -1 a $+1$) porém, principalmente, como parte do esquema para proporcionar um funcionamento genérico do algoritmo, ficando este independente do nível de tensão da linha de transmissão protegida.

A figura 4.7 apresenta a RNA utilizada neste projeto para processar o vetor de entrada do elemento de medição AB, supondo uma janela de dados com M amostras.

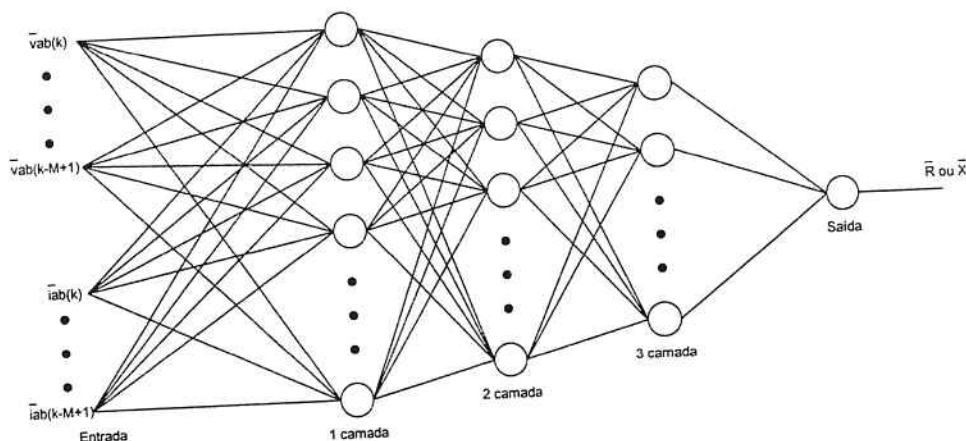


Figura 4.7 – Exemplo de RNA utilizada no algoritmo proposto

4.5 Etapa de Pós-Processamento

Esta etapa transforma em Ohms, os valores de resistência e reatância (normalizados) presentes nas saídas das RNA. Essa transformação consiste simplesmente em multiplicar a saída da rede (resistência ou reatância normalizada) pelo valor de Z_b , (impedância de base) calculado através dos valores de V_b (tensão de base) e I_b (corrente de base), definidos para cada janela de dados de tensão e corrente que formam o vetor de entrada (vide expressão 8). A partir dos valores de resistência e reatância em Ohms e da característica de atuação ajustada para o elemento de fase 21 ou para o elemento de terra 21N, o relé pode gerar ou não o sinal de *trip*.

5. METODOLOGIA PARA O TREINAMENTO DAS RNA

Este item detalha o procedimento adotado para a geração dos sinais utilizados nos processos de treinamento e validação das RNA analisadas neste trabalho. Tais sinais são constituídos por janelas de dados representando as diversas condições operativas encontradas nas linhas de transmissão, possibilitando o treinamento das RNA (rede R e rede X) para as condições de regime permanente e transitório de curto-circuito. Após treinadas, as redes são submetidas a testes de validação.

O software Matlab e o seu respectivo *Toolbox* de RNA (*Neural Network Toolbox*) foram empregados para a simulação das RNA e execução das rotinas de treinamento e validação das mesmas.

5.1 Treinamento das RNA

Para o algoritmo proposto são necessárias duas categorias de RNA: uma que estima o valor de resistência (normalizado) e outra que estima o valor de reatância (normalizado), para amostras de tensão e corrente contidas nos seus vetores de entrada (normalizados). Para que a rede seja capaz de realizar a função descrita, deve-se submeter a mesma a um processo de treinamento, que é utilizado para “ensinar” à rede a função de interesse – neste caso determinar R ou X a partir de amostras de V e I. Portanto, devem existir dois conjuntos de treinamento, um para treinar a rede R e outro para treinar a rede X.

No presente trabalho optou-se pela utilização de redes MLP (próprias para a aproximação de funções), treinamento supervisionado (para cada vetor de entrada é apresentado o vetor de saída desejado) e algoritmo de aprendizado *Backpropagation* (BRAGA, 2000; DEMUTH, 1996; WASSERMAN, 1989). Conforme Santos (2004), a configuração adotada para a RNA é típica das aplicações desta tecnologia em sistemas elétricos de

potência. Todas as etapas envolvendo RNA foram implementadas no Matlab (*Neural Network Toolbox*) (DEMUTH, 1996).

5.2 Conjuntos de Treinamento Gerados com um Sistema Monofásico de Primeira Ordem

O sistema monofásico de primeira ordem utilizado para gerar os sinais de treinamento das RNA é mostrado na figura 5.1. Esse sistema consta da tensão da barra A alimentando uma carga através de uma resistência e uma indutância, representando a impedância série de sequência positiva da linha de transmissão. Nesse modelo a condição de falta é simulada através do fechamento de uma chave K no instante $t = 0$.

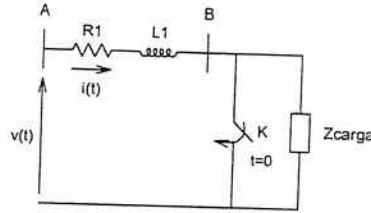


Figura 5.1 – Sistema monofásico de primeira ordem

As expressões 9 – 16, deduzidas a partir do sistema monofásico apresentado na figura 5.1, são utilizadas para gerar (já normalizados) os sinais referentes às possíveis condições operativas de uma linha de transmissão (SANTOS, 2004).

1- Condição de pré-falta

1a- Vetores de entrada para o treinamento das redes R e X.

$$\{v_k\} = \frac{\cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot k + \theta\right)}{V_{base}} \quad (9)$$

$$\{i_k\} = \frac{\cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot k + \theta - \phi\right)}{I_{base}} \quad (10)$$

1b- Vetor de saída para o treinamento da rede R e X

$$\overline{R} = \frac{\cos(\phi)}{Z_{base}} \quad (11)$$

$$\overline{X} = \frac{\sin(\phi)}{Z_{base}} \quad (12)$$

2- Condição de falta

2a- Vetores de entrada para o treinamento das redes R e X.

$$\{v_k\} = \frac{\cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot k + \theta\right)}{V_{base}} \quad (13)$$

$$\{i_k\} = \frac{\left[-\cos(\theta - \beta)e^{-\alpha \cdot k \cdot \frac{T}{N}} + \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot k + \theta - \beta\right)\right]}{I_{base}} \quad (14)$$

2b- Vetor de saída para o treinamento da rede R e X

$$\overline{R} = \frac{\cos(\beta)}{Z_{base}} \quad (15)$$

$$\overline{X} = \frac{\sin(\beta)}{Z_{base}} \quad (16)$$

Uma vez fixada a taxa de amostragem (N) e o tamanho da janela de dados (k), decidiu-se pelo sorteio aleatório das seguintes variáveis: fator de potência da carga (ϕ); ângulo da tensão em que ocorre o defeito (θ); inverso da constante de tempo do sistema de primeira ordem (α); ângulo relativo aos parâmetros R^1 e X^1 da linha de transmissão (β). A cada novo sorteio dessas variáveis, nas expressões 9 – 12 (para os casos de pré-falta) e 13 – 16 (para os casos de falta), são calculados os valores das amostras de tensão e corrente (normalizados) que formam as janelas de dados (vetores de entrada das RNA), bem como, os valores de resistência e reatância (normalizados) associados a cada situação sorteada. Com essa medida acredita-se estar contemplando as mais variadas condições operativas (na forma de janela de dados) de um sistema monofásico de primeira ordem. Além disso, para cada caso gerado, os valores das variáveis sorteadas são armazenados e inseridos em expressões que correspondem às condições de pré-falta e falta com corrente negativa (expressões 10 e 14 multiplicadas por -1), representando uma situação de defeito no sentido oposto ao originalmente considerado. Essa inversão no sentido da corrente visa gerar situações operativas para compor um vetor de treinamento capaz de “ensinar” as RNA a discriminarem o sentido do defeito, possibilitando que o relé em questão possa ser instalado no final da linha de transmissão (barra B da figura 5.1) sem alteração desempenho.

Na fase final da rotina implementada para rodar as supracitadas expressões e gerar o conjunto de treinamento das RNA, todos os pares de vetores entrada/saída são normalizados, viabilizando o treinamento das RNA com sinais exatamente iguais àqueles que serão disponibilizados pela etapa de pré-processamento, apresentada no item 4.3.

5.3 Arquitetura e Parâmetros Utilizados no Processo de Treinamento

Neste trabalho várias configurações de rede e parâmetros de treinamento foram testadas, frente aos conjuntos de treinamento gerados no item 5.2. Na configuração final, os parâmetros de treinamento mais relevantes são:

Momentum = 0,9

Taxa de Aprendizagem = 0,01

Erro desejado = 1.10^{-9}

Número máximo de iterações = 500.000

Algoritmo de aprendizado = Backpropagation

Função de transferência utilizada em todos os neurônios = Tansig

É importante ressaltar que foram avaliadas RNA com janelas de dados de 4, 8, 12 e 16 amostras, obtidas a partir de uma taxa de amostragem de 16 amostras por ciclo (60 Hz). Também foi considerada uma RNA com janela de dados de 16 amostras, obtida a partir de uma taxa de amostragem de 32 amostras por ciclo (60 Hz). Os resultados obtidos no treinamento das RNA consideradas neste trabalho são apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2.

Onde:

N = Taxa de Amostragem (Amostras / Ciclo);

M = Tamanho da Janela de Dados (Amostras);

E = Erro da Rede R ou X.

Arquitetura da RNA Neurônios / Camada				N	M	E Rede R	Denominação da Rede
1	2	3	4				
8	17	6	1	16	4	$1,9.10^{-7}$	Rede-16-4-r
16	33	6	1	16	8	$2,32.10^{-8}$	Rede-16-8-r
24	49	6	1	16	12	$7,58.10^{-5}$	Rede-16-12-r
32	65	6	1	16	16	$1,82.10^{-7}$	Rede-16-16-r
32	65	8	1	32	16	$6,42.10^{-5}$	Rede-32-16-r

Tabela 5.1 – Características das RNA (rede R) submetidas ao processo de treinamento

Arquitetura da RNA Neurônios / Camada				N	M	E Rede X	Denominação da Rede
1	2	3	4				
8	17	6	1	16	4	$8,89.10^{-8}$	Rede-16-4-x
16	33	6	1	16	8	$1,72.10^{-9}$	Rede-16-8-x
24	49	6	1	16	12	$6,05.10^{-5}$	Rede-16-12-x
32	65	6	1	16	16	$7,2.10^{-7}$	Rede-16-16-x
32	65	8	1	32	16	$2,95.10^{-5}$	Rede-32-16-x

Tabela 5.2 – Características das RNA (rede X) submetidas ao processo de treinamento

5.4 Validação das RNA

Antes das RNA serem avaliadas frente a um sistema elétrico modelado na íntegra, é realizada uma verificação (isolada) de desempenho destas redes, aqui denominada de teste de validação. A finalidade dessa medida é verificar se as RNA aprenderam durante o treinamento a estimar corretamente os valores de R e X.

5.4.1 Validação das RNA Frente a Sinais Aleatórios das Situações de Regime e Falta

Para a avaliação das RNA frente a sinais não pertencentes aos seus conjuntos de treinamento, são gerados sinais aleatórios representativos das condições de pré-falta e falta de uma linha de transmissão. Estes sinais (já normalizados), no formato de janela de dados de tensão e corrente, com número de amostras e taxas de amostragem adequadas, são agrupados para formar os vetores de entrada das RNA. Para cada vetor de entrada, os valores de resistência e reatância são previamente calculados, possibilitando a comparação entre estes e os valores de resistência e reatância emitidos pelas RNA. É importante ressaltar que os sinais gerados são baseados num sistema de primeira ordem (figura 5.1), não contemplando, portanto, as situações de ondas trafegantes. Os resultados da validação das redes R e X são apresentados na tabela 5.3.

16 amostras/ciclo – 1ª ordem		Pré-Falta	Falta
Janela de Dados 4 amostras	Resistência Rede-16-4-r	1492 8	1446 54
	Reatância Rede-16-4-x	1498 2	1490 10
Janela de Dados 8 amostras	Resistência Rede-16-8-r	1500 0	1486 14
	Reatância Rede-16-8-x	1498 2	1500 0
Janela de Dados 12 amostras	Resistência Rede-16-12-r	1279 221	1037 463
	Reatância Rede-16-12-x	1275 225	1304 196 ⁽¹⁾
Janela de Dados 16 amostras	Resistência Rede-16-16-r	1479 21	1470 30
	Reatância Rede-16-16-x	1452 48	1500 0
32 amostras/ciclo – 1ª Ordem		Pré-Falta	Falta
Janela de Dados 16 amostras	Resistência Rede-32-16-r	1364 136	1047 453
	Reatância Rede-32-16-x	1356 144	1301 199

Tabela 5.3 – Resultados da avaliação das RNA

É importante destacar que cada rede foi submetida a 1500 casos de pré-falta e 1500 casos de falta, sendo o número em destaque na tabela 5.3, a quantidade de vezes que a RNA calculou a impedância com um erro absoluto não superior a 3%. Ressalta-se nesta avaliação um fato de extrema relevância, que corresponde à capacidade das RNA filtrarem a componente exponencial (casos de falta), respondendo corretamente quando há ou não componente aperiódica no sinal de entrada.

6. ESTUDO COMPARATIVO DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Neste item o algoritmo proposto será implementado com as RNA avaliadas no item anterior. Como foi verificado, tais redes foram treinadas com sinais provenientes de uma linha monofásica, representada através de um modelo de primeira ordem, e obtiveram elevados índices de acertos (tabela 5.3), frente a sinais representativos das condições de pré-falta e falta, neste modelo simplificado. Dessa forma, resta avaliar as referidas redes frente às condições reais de operação de uma linha de transmissão trifásica, possibilitando, inclusive, verificar a reação dessas redes frente às situações de defeito que resultam em ondas tráfegantes, situações estas não contempladas no processo de treinamento das RNA. Portanto, com essa medida, torna-se possível avaliar qual das RNA é a mais apropriada para a implementação do algoritmo proposto. Entende-se por “rede mais apropriada” aquela capaz de propiciar que o algoritmo proposto responda satisfatoriamente (boa precisão e baixo tempo de *trip*) a todas as situações operativas geradas – apresentadas em Santos (2004).

Para viabilizar a geração das situações operativas das linhas de transmissão adotadas neste trabalho, foram utilizados os softwares ATP (*Line Constants* – para a determinação dos parâmetros de sequência dos sistemas de transmissão adotados) e Simulink (*Power System Toolbox* - para a simulação dos sistemas adotados).

6.1 Sistemas Elétricos Adotados neste Estudo

Para efeito de teste e validação do algoritmo proposto, este deve ser submetido às mais variadas situações operativas de uma linha de transmissão. Um requisito importante para viabilizar a implementação prática desse algoritmo é que as situações operativas simuladas sejam referentes a sistemas de transmissão reais. Dessa forma, foram adotados sistemas que abrangem os níveis de tensão de transmissão mais usuais na prática (138 kV, 230 kV, 345 kV, 500 kV e 765 kV), bem como possuem comprimentos e capacidades de transferência de potência coerentes com tais níveis de tensão. Os dados referentes a tais sistemas foram obtidos junto a ONS.

6.2 Situações Operativas do Sistema Elétrico

Neste item são consideradas cinco alternativas para o algoritmo proposto, diferenciando uma da outra em termos da RNA utilizada no mesmo, ou seja, cada alternativa é implementada com uma das redes apresentadas no item 5.3. Essas cinco alternativas são testadas frente a doze situações operativas do sistema elétrico, conforme a tabela 6.1. Considerando-se os cinco níveis de tensão adotados neste trabalho e as cinco RNA em teste, chegou-se a um universo de trezentos casos simulados. A partir desses casos é realizado um estudo da influência da taxa de amostragem e da janela de dados no desempenho do algoritmo, possibilitando determinar qual é a RNA mais adequada para a implementação do mesmo.

Caso	Zth (%)	Local da Falta (p.u.)	Rfalta (Ω)	Teta ($^{\circ}$)	Tipo de Curto
1	100	0,2	0	0	A-T
2	100	0,2	0	0	AB-T
3	100	0,2	0	0	AB
4	100	0,2	0	0	ABC
5	30	0,5	10	45	A-T
6	30	0,5	10	45	AB-T
7	30	0,5	0	45	AB
8	30	0,5	0	45	ABC
9	120	0,8	20	90	A-T
10	120	0,8	20	90	AB-T
11	120	0,8	0	90	AB
12	120	0,8	0	90	ABC

Tabela 6.1 – Casos utilizados para a avaliação das alternativas de algoritmo

É importante ressaltar que a avaliação dos algoritmos (cada um implementado com uma das RNA apresentadas, perfazendo um total de cinco alternativas de algoritmos) consiste na observação de dois indicadores principais, que são:

Ttrip: Tempo para gerar o sinal de *trip*

O sinal de *trip* é gerado quando o algoritmo emite três respostas consecutivas (valores de R e X) no interior da primeira zona de proteção do relé. A zona de proteção em questão, no presente trabalho, foi ajustada para proteger 85% da linha de transmissão, e apresenta característica Mho.

Testab: Tempo de estabilização

O tempo de estabilização é alcançado quando o algoritmo passa a emitir respostas sucessivas com um erro menor do que 5%. Esse erro é medido com relação ao valor correto da impedância de falta, previamente conhecido.

6.3 Desempenho do Algoritmo Implementado com as RNA Consideradas

Após todas as alternativas de algoritmo serem submetidas a situações operativas de uma linha de transmissão (vide tabela 6.1) operando em cada um dos níveis de tensão citados anteriormente, as tabelas 6.2 e 6.3 apresentam os tempos médios de estabilização e *trip* obtidos. É importante observar que os resultados obtidos para cada alternativa de algoritmo foram levantados frente a 60 casos de operação do sistema elétrico (12 situações operativas x 5 níveis de tensão).

Nível de Tensão (kV)	Rede-16-4	Rede-16-8	Rede-16-12	Rede-16-16	Rede-32-16
138	7,45	7,81	11,00	14,00	8,72
230	7,27	7,99	9,72	12,99	8,54
345	12,73	12,82	13,72	17,63	10,55
500	9,17	11,54	9,27	12,00	7,63
765	8,63	10,18	9,95	15,00	8,04
Tempo médio total	9,05	10,07	10,73	14,32	8,69

Tabela 6.2 – Tempo médio de *trip* em cada nível de tensão (ms)

Nível de Tensão (kV)	Rede-16-4	Rede-16-8	Rede-16-12	Rede-16-16	Rede-32-16
138	9,75	13,50	16,50	17,00	12,70
230	17,67	26,40	19,30	21,91	15,91
345	40,33	39,40	32,67	27,08	17,00
500	16,41	18,33	61,16	20,75	35,08
765	36,58	28,75	52,00	22,91	39,25
Tempo médio total	24,15	25,28	36,32	21,93	23,99

Tabela 6.3 – Tempo médio de estabilização em cada nível de tensão (ms)

Em função dos tempos médios apresentados nas tabelas 6.2 e 6.3, e de uma análise detalhada de cada caso simulado, apresentada em Santos (2004), a Rede-32-16 foi considerada a melhor alternativa para a implementação do algoritmo proposto. Sendo assim, no próximo item tal alternativa será comparada com um algoritmo convencional (Fourier) para a proteção de distância de linhas de transmissão (SENGER, 1998).

7. COMPARAÇÃO ENTRE OS ALGORITMOS PROPOSTO E CONVENCIONAL

Neste item é realizada uma comparação entre o algoritmo selecionado no item anterior (Rede-32-16), e um algoritmo convencional utilizado na proteção de distância - Algoritmo de Fourier. Esta comparação consta da análise das respostas de cada um desses algoritmos, frente a 96 simulações de possíveis condições operativas das linhas de transmissão consideradas no presente estudo (itens 6.1 e 6.2), em cada um dos níveis de tensão adotados. Considerando os cinco níveis de tensão adotados, cada algoritmo responderá a 480 possíveis situações operativas, cujos detalhes são discutidos em Santos (2004).

Os resultados obtidos pelos algoritmos em cada nível de tensão são apresentados nas tabelas 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 e 7.5, que contém os tempos de estabilização e *trip* (milissegundos - ms) dos 96 casos simulados, formados através de 32 situações operativas da linha de transmissão para três comprimentos diferentes. Nas

referidas tabelas os números entre parânteses correspondem, em termos percentuais, a quantidade de vezes em que o algoritmo baseado em RNA gerou o sinal de *trip* ou estabilizou primeiro do que o algoritmo convencional.

		Comprimento da Linha de Transmissão – 138 kV			
Tempo	Algoritmo	50 km		74 km	
<i>Testab</i>	RNA	12,28	(94%)	13,65	(97%)
	Fourier	17,97		18,75	
<i>Ttrip</i>	RNA	06,88	(97%)	08,16	(100%)
	Fourier	14,20		15,63	

Tabela 7.1 – Tempos médios (ms) de estabilização e *trip* em 138 kV – RNA x Fourier

		Comprimento da Linha de Transmissão – 230 kV			
Tempo	Algoritmo	80 km		100 km	
<i>Testab</i>	RNA	17,28	(72%)	17,04	(72%)
	Fourier	17,22		17,18	
<i>Ttrip</i>	RNA	09,00	(93%)	08,83	(93%)
	Fourier	13,30		13,03	

Tabela 7.2 – Tempos médios (ms) de estabilização e *trip* em 230 kV – RNA x Fourier

		Comprimento da Linha de Transmissão – 345 kV			
Tempo	Algoritmo	100 km		145 km	
<i>Testab</i>	RNA	17,15	(75%)	17,57	(69%)
	Fourier	19,50		18,30	
<i>Ttrip</i>	RNA	11,40	(100%)	10,55	(100%)
	Fourier	16,70		16,20	

Tabela 7.3 – Tempos médios (ms) de estabilização e *trip* em 345 kV – RNA x Fourier

		Comprimento da Linha de Transmissão – 500 kV			
Tempo	Algoritmo	181 km		300 km	
<i>Testab</i>	RNA	36,85	(41%)	35,03	(47%)
	Fourier	16,93		17,00	
<i>Ttrip</i>	RNA	07,60	(97%)	06,77	(97%)
	Fourier	13,06		12,43	

Tabela 7.4 – Tempos médios (ms) de estabilização e *trip* em 500 kV – RNA x Fourier

		Comprimento da Linha de Transmissão – 765 kV			
Tempo	Algoritmo	265 km		350 km	
<i>Testab</i>	RNA	36,70	(41%)	35,54	(38%)
	Fourier	17,65		17,59	
<i>Ttrip</i>	RNA	07,01	(100%)	06,75	(97%)
	Fourier	13,46		13,10	

Tabela 7.5 – Tempos médios (ms) de estabilização e *trip* em 765 kV – RNA x Fourier

8. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal contribuição o desenvolvimento de uma proteção de distância genérica baseada em RNA, ou seja, iniciar uma caminhada em direção a uma utilização mais prática dessa poderosa ferramenta, desvinculando os dispositivos de proteção baseados nessa filosofia da aplicação a uma única linha de transmissão. Para alcançar tal objetivo, no presente estudo, foram desenvolvidos esquemas e procedimentos específicos, que constituem etapas de extrema relevância nesta pesquisa. Tais etapas são relatadas a seguir e, posteriormente, discutidas isoladamente, devido à importância de cada uma delas na contribuição final do algoritmo proposto.

- 1- Esquema de pré-processamento desenvolvido para o algoritmo proposto;
- 2- Metodologia de treinamento das RNA;
- 3- Metodologia de validação das RNA;
- 4- Estudo comparativo entre as cinco alternativas de algoritmos consideradas.

Após as conclusões parciais, referentes a cada etapa supracitada, será apresentada a conclusão global do trabalho, abordando os pontos marcantes do algoritmo proposto, com relação às situações operativas reais impostas ao mesmo.

Sobre o esquema de pré-processamento, considerado uma contribuição deste trabalho, ressalta-se que este possibilita um adequado funcionamento do algoritmo proposto, independentemente do nível de tensão da linha de transmissão protegida. Isso é possível através de RNA previamente treinadas para estimarem a resistência e a reatância (seqüência positiva) de uma linha de transmissão, a partir de janelas de dados com amostras de tensão e corrente devidamente processadas. Conforme os testes de validação das RNA, apresentados na tabela 5.3, o esquema de pré-processamento é bastante eficaz, para sinais gerados a partir de um sistema monofásico de primeira ordem.

Com relação à metodologia de treinamento das RNA, em se tratando de tempo e desempenho de treinamento, obteve-se um elevado ganho com o procedimento adotado neste trabalho. Tal ganho é obtido porque as RNA utilizadas nos elementos de medição do algoritmo proposto são treinadas a partir de sinais provenientes de um sistema monofásico de primeira ordem, o que é possível devido ao esquema de pré-processamento discutido anteriormente. Já no processo de treinamento convencional, as RNA devem ser treinadas com sinais provenientes dos locais onde estas redes serão utilizadas na fase pós treinamento. Visto que esses sinais são de maior complexidade, pois foram extraídos de sistemas trifásicos, tanto o desempenho, como o tempo de treinamento das RNA, tendem a serem afetados negativamente.

A terceira conclusão parcial diz respeito à rotina elaborada para efetuar um rápido teste de generalização das RNA treinadas a partir de um sistema monofásico de primeira ordem. Este teste também evita que seja necessária a submissão da RNA a um sistema modelado na íntegra, o que despenderia um tempo elevado para validar a rede, frente a um número razoável de situações operativas. Portanto, como solução prévia para a validação da RNA, foi elaborada uma rotina que gera sinais referentes às diversas condições operativas de um sistema de primeira ordem. Através dos resultados emitidos pela RNA, para tais sinais, é possível verificar a qualidade do treinamento desta, seja qual for a taxa de amostragem ou o tamanho da janela de dados com que a mesma foi treinada. Tal método indica rapidamente se a RNA "aprendeu" a estimar a resistência ou a reatância em função das amostras de tensão e corrente contidas nos seus vetores de entrada, contenham estas amostras os efeitos da componente aperiódica, ou não. O sucesso nesta etapa habilita a RNA a ser, posteriormente, avaliada frente a situações reais de sistemas trifásicos.

Finalizando as conclusões parciais, salienta-se a importância do estudo realizado para determinar qual é a melhor alternativa de algoritmo para compor uma proteção de distância genérica baseada em RNA. Tal estudo constou da avaliação do algoritmo proposto implementado com cinco alternativas diferentes de RNA, onde cada alternativa possui tamanho de janela de dados ou taxa de amostragem diferentes. Todas as alternativas de algoritmo foram submetidas a inúmeras situações operativas de linhas de transmissão operando em diversos níveis de tensão. Considerando os tempos médios de estabilização e *trip*, segundo os critérios adotados, a alternativa Rede-32-16 se apresentou como a mais adequada para compor o algoritmo de proteção proposto neste trabalho, visto que a mesma atende satisfatoriamente às expectativas de tempo em todos os níveis de tensão.

Uma vez apresentadas as considerações e conclusões parciais, iniciam-se as ponderações sobre os pontos marcantes e as conclusões do presente trabalho. Portanto, as colocações a seguir são efetuadas num âmbito global, ou seja, através da análise dos resultados obtidos com o algoritmo desenvolvido (testado no item 7) e dos resultados esperados do algoritmo idealizado inicialmente.

Como exposto oportunamente, o algoritmo idealizado possui a capacidade de ser genérico, podendo, apesar de ser implementado com RNA, proteger qualquer linha de transmissão, independentemente do seu nível de tensão ou comprimento. Essa importante característica do algoritmo proposto (ser genérico) conduz a uma conclusão em duas etapas: a-) capacidade do algoritmo responder adequadamente (com as medidas de R e X), independentemente do nível de tensão da linha de transmissão protegida; b-) aplicação prática do algoritmo

proposto, considerando os tempos de estabilização e *trip* do mesmo, com respeito às necessidades das linhas de transmissão.

Com relação à primeira colocação (generalidade do algoritmo desenvolvido), constatou-se que o esquema de pré-processamento torna genérica qualquer uma das alternativas de algoritmo implementadas neste trabalho, independentemente da taxa de amostragem adotada ou do tamanho da janela de dados.

Com relação aos tempos de estabilização e *trip* do algoritmo proposto, pode-se dizer que, incondicionalmente, este leva vantagem com relação ao algoritmo convencional até o nível de 345 kV. Entretanto, para os casos de 500 kV e 765 kV, o desempenho do algoritmo convencional é nitidamente superior ao do algoritmo proposto, quando se trata de tempo de estabilização. Já com relação aos tempos de *trip*, mesmo nesses níveis de tensão, o algoritmo proposto possui atuação mais rápida, levando vantagem sobre o algoritmo convencional.

LISTA DE REFERÊNCIAS

- BLACKBURN, J.L. **Protective Relaying – Principles and Applications**. 2.ed., New York, Marcel Dekker, Inc, 1998.
- BRAGA, A.P.; LUDERMIR, T.B.; CARVALHO, A.C.P.L.F. **Redes Neurais Artificiais – Teoria e Aplicação**. Rio de Janeiro, LTC, 2000.
- DEMUTH, H.; BEALE, M. **Neural Network Toolbox – For Use With Matlab**. 3.ed., The Math Works, Inc, 1994.
- HAYKIN, S. **Neural Networks – A comprehensive Foundation**. USA, Prentice-Hall, Inc, 1994.
- HOROWITZ, S.H.; PHADKE, A.G. **Power System Relaying**. 2.ed., England, Research Studies Press, 1996.
- KOVÁCS, Z.L. **Redes Neurais Artificiais. Fundamentos e Aplicações**. São Paulo, Edição Acadêmica, 1996 (Universidade de São Paulo).
- LOONEY, C.G. **Patter Recognition Using Neural Networks – Theory and Algorithms for Engineers and Scientists**. New York, Oxford University Press, 1997.
- MASON, C.R. **The Art & Science of Protective Relaying**. General Electric, 1956.
- SANTOS, R.C.; SENGER, E.C. **Algoritmo Baseado em Redes Neurais Artificiais para a Proteção de Distância de Linhas de Transmissão**. Tese de Doutorado, EPUSP, 2004.
- SENGER, E.C.; SANTANA, N.N. “Pré-Filtragem da Componente Aperiódica Exponencial para os Algoritmos Utilizados em Relés de Distância”. **Seminário Técnico de Proteção e Controle – STPC**. Natal, 1998.
- STEVENSON JR., W.D. **Elementos de Análise de Sistemas de Potência**. 2.ed., Rio de Janeiro, McGraw-Hill do Brasil, 1986.
- WASSERMAN, P.D. **Neural Computing – Theory and Practice**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1989.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas - CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abridadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.

- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SERGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÖES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Falhas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovíarios - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaio para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9801 - Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodo-Ferrovária - RUBENS LOPES ROLIM, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9802 - Projeto de um Ondulador Híbrido e Estudo de Onduladores Derivados de Solenóide, para Utilização em Laser a Elétrons Livres - FRANCISCO SIRCILLI NETO
- BT/PEA/9803 - Configuração de Redes de Distribuição de Energia Elétrica com Múltiplos Objetivos e Incertezas através de Procedimentos Heurísticos - CARLOS C. BARIONI DE OLIVEIRA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9804 - Conceituação e Aplicação de Metodologia de Gerenciamento pelo Lado da Demanda em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica - FERNANDO MONTEIRO DE FIGUEIREDO, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9805 - Acoplamento Circuito Elétrico - Método dos Elementos Finitos em Regime Transitório Utilizando a Metodologia de Dommel - NANCY MIEKO ABE, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9806 - Modelo de Arco Elétrico Aplicado ao Estudo da Interrupção da Corrente em Disjuntores de Média Tensão - LUCILIUS CARLOS PINTO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9807 - Proteção para Falta de Alta Impedância Utilizando o Sistema de Rádio Troncalizado - MARCO ANTONIO BRITO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/9808 - Contribuição ao Estudo e Projeto dos Motores Síncronos de Relutância - IVAN EDUARDO CHABU, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9809 - Cabos Cobertos: Metodologia para a Determinação da Espessura da Cobertura - ANTONIO PAULO DA CUNHA, JOSÉ ANTÔNIO JARDINI
- BT/PEA/9810 - Eletrificação Rural - Avaliações em São Paulo - MARCELO APARECIDO PELEGRINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9811 - Política de Eletrificação Rural em São Paulo - LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/9812 - Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares - ANDRÉ LUIZ MONTEIRO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/9813 - Diretrizes para a Regulação da Distribuição de Energia Elétrica - JAMES S. S. CORREIA, LINEU BELICO DOS REIS

- BT/PEA/9814 - Distribuição da Tensão de Impulso em Enrolamentos de Transformadores de Distribuição - PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/9815 - Estudo Comparativo entre os Diversos Métodos de Determinação do Rendimento de Motores de Indução - FRANCISCO ANTONIO MARINO SALOTTI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9816 - A Nodal Analysis Approach Applied to Electric Circuits Coupling in Magnetodynamic 2D FEM - MAURÍCIO CALDORA COSTA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9817 - Informatização e Automação dos Órgãos Gestores de Mão de Obra - EDUARDO MARIO DIAS, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9818 - Frequência de Ocorrência de Sobreensões Originárias de Descargas Atmosféricas em Linhas de Distribuição - NELSON MASSAKAZU MATSUO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9819 - Um Método de Imposição de Pólos no Estudo da Estabilidade de Redes Elétricas a Pequenas Perturbações - PERCIVAL BUENO DE ARAUJO, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9820 - Inter-Relação do Planejamento Agregado de Investimentos com o Planejamento Localizado de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - JUCEMAR SALVADOR SIMÕES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9821 - A Produção de Energia Através das Células de Combustível - JOSÉ LUIZ PIMENTA PINHEIRO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9822 - Automação de Processos - Revisão e Tendências - SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9823 - Metodologia para Seleção e Gerenciamento de Transformadores e Distribuição, Aplicando Técnicas de Redes Neutras Artificiais - SE UN AHN, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9901 - Contribuição ao Modelamento e Simulação de Motores em Ímãs Permanentes e Comutação Eletrônica de Alta Rotação - WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/9902 - Estudos de Sistemas de Potência e Automação: Plantas Industriais de Grande Porte - MAURÍCIO G. M. JARDINI, JOSÉ A. JARDINI
- BT/PEA/9903 - Synchronous Machines Parameters Identification Using Load Rejection Test Data - E. C. BORTONI, J. A. JARDINI
- BT/PEA/9904 - Identificação de Locais e Opções Tecnológicas para Implantação de Termoelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro: Contribuição ao Estado da Arte e Aplicação ao Caso do Gás Natural - ELIANA APARECIDA FARIA AMARAL FADIGAS, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9905 - Sistema de Manutenção Preventiva de Subestações: Uma Abordagem Semântica para o Monitoramento Integrado - ELIAS ROMA NETO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9906 - Previsão das Perdas Magnéticas na Presença de Harmônicos - MARCELO S. LANCAROTTE, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9907 - Comportamento do Aterramento de Sistemas e Equipamentos de Distribuição sob Impulso - CLEVERSON LUIZ DA SILVA PINTO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9908 - Modelo de Sistema de Supervisão e Controle Operacional de Terminais de Contêineres - LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/9909 - Medição de Altas Correntes em Frequência Industrial: Instrumentação, Dispositivos de Medição e Calibrações - HÉLIO EIJI SUETA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/9910 - Conversores Auto-Comutados Aplicados em Derivações de Sistemas de Transmissão de Corrente Contínua e Alta Tensão - WILSON KOMATSU, WALTER KAISER
- BT/PEA/9911 - Análise de Desempenho de Sistemas de Aterramento em Alta Frequência pelo Método dos Elementos Finitos - ANGELO PASSARO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/9912 - Simulação de Motores "Shaded Pole": Uma Nova Abordagem Analítico-Numérica - PASCHOAL SPINA NETO, SÍLVIO IKUO NABETA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9913 - Estimadores de Estado para Sistemas de Potência: Análise do Estado da Arte - CLEBER ROBERTO GUIRELLI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9914 - Análise sobre o Comportamento de Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas Utilizando o Método dos Elementos Finitos - SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR., LUCIANO MARTINS NETO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9915 - Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica - H. K. Kiyohara, L. C. Magrini, E. P. PARENTE, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9916 - Controle Digital de Tensão e Reativos - PAULA S. D. KAYANO, LUIZ CARLOS MAGRINI, LINEU BELICO DOS REIS, ANTONIO JOSÉ GOMES CARMO, ELIAS DE SOUZA NETO
- BT/PEA/9917 - Localizadores Digitais de Falhas em Linhas de Transmissão - CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9918 - Religamento Monopolar em Linhas de Transmissão - Propostas de Uma Ferramenta para Investigações Paramétricas - IVANIL POMPEU, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9919 - Viabilidade Técnica de Abertura Monopolar Permanente em Linhas de Transmissão Extra Alta Tensão - FABIANA AP. DE TOLEDO SILVA, JOSÉ ANTONIO JARDINI

- BT/PEA/9920 – Avaliação do U-Net em Custers com Rede My com Rede Myrinet – PAULO A. GEROMEL, SERGIO T. KOFUJI
- BT/PEA/9921 – SAG – Sistema de Apoio Gerencial via Internet – ADRIANO GALINDO LEAL, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9922 – Desequilíbrio de Tensão em Redes Secundárias de Distribuição – PAULO VINÍCIUS SANTOS VALOIS, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9923 – Sistema Não Lineares Controlados pela Lógica Difusa: Uma Aplicação em Acionamentos Constituídos por Motores Assíncronos – WERNER W. PACHECO LUJAN, CÍCERO COUTO MORAES
- BT/PEA/9924 – Arborescência em Cabos Elétricos de Média e Alta Tensão – JOÃO JOSÉ ALVES DE PAULA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/9925 – Estudo para Otimização de Desempenho de Plantas Industriais Automatizadas – ANTONIO ORLANDO UGULINO, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9926 – Simulação e Análise de Desempenho de Processos Visando a Otimização de Sistemas Integrados de Produção – CÍCERO COUTO DE MORAES, SERGIO LUIZ PEREIRA, JOSÉ ROBERTO R. DE GODOY
- BT/PEA/9927 – Automação Moderna de Processos: Análise de Necessidade, Viabilidade e Tendências Tecnológicas – SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/9928 – Modelo de Compensação Série Controlada Aplicado ao Estudo do Amortecimento de Oscilações em Sistemas de Potência – JOSÉ ROBERTO PASCON, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9929 – Cálculo de Trajetórias de Elétrons em Estruturas Magnéticas – YASMARA CONCEIÇÃO DE POLLI, VIVIANE CRISTINE SILVA
- BT/PEA/0001 – Monitoramento de Transformadores de Potência Direcionado à Manutenção com Base nas Condições – SERGIO COSTA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0002 – Redes Neurais Artificiais Aplicadas a Estudos de Subestações de Alta Tensão Abridadas Frente a Ensaios de Impulsos Atmosféricos – ANDRÉ NUNES DE SOUZA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0003 – Relé Diferencial para Transformador de Potência Implementado com uma Rede MLP – RICARDO CANELOI DOS SANTOS, EDUARDO CESAR SENGER
- BT/PEA/0004 – Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia – PAULO HÉLIO KANAYAMA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0005 – Modelamento de Conversores CC/CC por meio da Chave PWM – LUIZ FERNANDO P. DE MELLO, WALTER KAISER
- BT/PEA/0006 – Estudo de Surtos em Redes Secundárias de Distribuição Causados por Descargas Atmosféricas Diretas na Rede Primária – WELSON BASSI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEA/0007 – Modelagem da Magnetohidrodinâmica em 3D pelo Método de Elementos Finitos – SERGIO LUÍS LOPES VERARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0008 – Metodologia para Avaliação do Comportamento e Vida Útil de Motores Alimentados por Fontes Assimétricas de Tensão – JOSÉ LUIZ ANTUNES DE ALMEIDA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0009 – Esquema de Aterramento Híbrido (EAH) – FRANCISCO CARLOS PARQUET BIZZARRIA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0010 – Ferro-Ressnância em Redes Subterrâneas de Distribuição – REGINA LÚCIA LAMY, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0011 – A Análise do Ciclo de Vida e os Custos Completos no Planejamento Energico – CLÁUDIO ELIAS CARVALHO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0012 – A Agregação de Valor à Energia Elétrica através da Gestão Integrada de Recursos – ANDRÉ LUIZ VEIGA GIMENES, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0013 – Tochas a Plasma: Características Básicas para Projeto e Construção – MIGUEL BUSSOLINI, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/0014 – Um Estudo de Correntes Induzidas em Meios Maciços Ferromagnéticos – Aplicação no Projeto de Freios de Correntes Parasitas – ALVARO BATISTA DIETRICH, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0015 – Incorporação de Sistemas de Co-Geração aos Sistemas Elétricos de Potência: Um Roteiro para Avaliação de Viabilidade Técnico-Econômica – LUÍZ DONIZETI CLEMENTINO, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0016 – Metodologia para Análise da Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo de Energia Elétrica em Baixa Tensão – ALEXANDRE ANGRISANO, RONALDO P. CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0017 – Análise de Índices de Qualidade no Planejamento Agregado de Investimentos em Ambiente de Incertezas – CARLOS ALEXANDRE DE SOUSA PENIN, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0018 – Controle de Descarregadores de Navios Utilizando Lógica Fuzzy – ANTONIO DAGOBERTO DO AMARAL JÚNIOR, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0019 – The Energy Absorption Capacity of Metal Oxide Surge Arresters An Approach for Switching Surges – MANUEL LUÍS BARREIRA MARTINEZ, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR

- BT/PEA/0020 – Utilização Racional de Energia Elétrica em Instalações Elétricas Comerciais Empregando Sistemas de Automação – JOEL ROCHA PINTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0021 – Sistema Automatizado para Aquisição de Dados de Consumo de Energia Elétrica, Água e Gás – JOSÉ WALTER PARQUET BIZARRIA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0022 – Estudo de Ignitores de Pulsos Superpostos para Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão – ALEXANDER FERNÁNDEZ CORREA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0023 – Desenvolvimento de Medidor Eletrônico de Energia Elétrica de Custo Competitivo Associado a Estudos sobre Medições de Energia Elétrica – DOUGLAS ALEXANDRE DE A. GARCIA, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0024 – Uma Visão Educacional do Método dos Elementos Finitos Aplicado ao Eletromagnetismo – LUIZ NATAL ROSSI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0025 – An Application of the Finite-Element Method to Desig a Switched Reluctance Motor – PEDRO P. DE PAULA, SÍLVIO I. NABETA, JOSÉ R. CARDOSO
- BT/PEA/0026 – Algoritmos de Alta Velocidade para a Proteção de distância de Linhas de Transmissão – ERVALDO GARCIA JÚNIOR, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/0027 – Sistema de Aquisição e Tratamento de Dados para a Monitoração da Tensão em Regime Permanente – SÍLVIO XAVIER DUARTE, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0028 – Análise da Confiabilidade e Manutenibilidade de Topologias do Sistema de Telefonia Fixa – RICARDO ELIAS CAETANO, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0029 – Aspectos Tecnológicos Referentes à Repotenciação de Usinas Termoelétricas – MÁRCIO NESTOR ZANCHETA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR
- BT/PEA/0030 – Controle de Iluminação Utilizando Dimerização por Lógica Fuzzy, Compensando a Iluminação Natural – ANDRÉ VITOR BONORA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0031 – Identificação do Nível de Redundância das Medidas de um Sistema, para Efeito da Estimação de seus Estados – JOÃO BOSCO AUGUSTO LONDON JUNIOR, NEWTON GERALDO BRETAS
- BT/PEA/0101 – Aplicação do Controlador de Subestação a um Sistema Digital Integrado de Supervisão e Controle – RENATO CAMPANINI TEIXEIRA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0102 – Uma proposta de um Filtro Ativo de Tensão para Aplicações em Redes Elétricas – JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0103 – Causas de Falhas e Critérios de Reaproveitamento de Transformadores de Distribuição de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – MIGUEL ANGEL HERNANDEZ TORRES, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0104 – Um Sistema para Avaliação de Indicadores de Qualidade da Distribuição de Energia Elétrica – GERSON YUKIO SAIKI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0105 – Métodos de Análise de Sistemas de Aterramento de Linhas Metroviárias – ARMANDO DE OLIVEIRA ALVES DE SOUZA, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0106 – Caracterização de Acionamentos na Indústria de Beneficiamento de Minério de Ferro – FERNANDO MARCELO CALADO DE ANDRADE, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0107 – Impacto da Privatização das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica na Qualidade da Energia Suprida – MITSUO NITTA, ADERBAL DE AARUDA PENTEADO JÚNIOR
- BT/PEA/0108 – Estudo Comparativo de Ensaios de Chapa Única para Medidas de Perdas em Aços Elétricos – RONALDO ALVES SOARES, CARLOS SHINITI MURAKA
- BT/PEA/0109 – Modelagem de Transformadores de Distribuição para Altas Frequências – ARNALDO G. KANASHIRO, ALEXANDRE PIANTINI, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/0110 – Análise e Localização de Descargas Parciais em Transformadores de Potências por Métodos Elétricos – HÉDIO TATIZAWA, GERALDO FRANCISCO BURANI
- BT/PEA/0111 – A Eletrificação Rural em São Paulo – Custos e Padrões – LUIZ FERNANDO KURAHASSI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0112 – A Escola Rural sem Luz em São Paulo – OSWALDO TADAMI ARIMURA, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0113 – Eletrificação Rural no Novo Cenário: O Caso de São Paulo – LUIZ HENRIQUE ALVES PAZZINI, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0114 – Simulação do Aterramento em Sistemas MRT – OCTÁVIO FERREIRA AFFONSO, FERNANDO SELLES RIBEIRO
- BT/PEA/0115 – Otimização do Dimensionamento de Equipamentos para Automação de Terminal de Contêineres – FÁBIO LOPES CARNELOS, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0116 – Sistema de Localização de Falhas para Redes Primárias de Distribuição – GIOVANNI MANASSERO JUNIOR, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0117 – Proteção de Distância para Linhas de Transmissão com Compensação Série – JOSÉ GERALDO BARRETO MONTEIRO DE ANDRADE, EDUARDO CESAR SENER

- BT/PEA/0118 – Proposta de Acionamento Microprocessado para Empilhadeira Elétrica – MARCO AURÉLIO VILELA DE OLIVEIRA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0119 – Técnicas "Anti-Windup" – LUIZ AUGUSTO PEREIRA FERNANDES, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0120 – Regulador de Tensão de Gerador – HERALDO SILVEIRA BARBUY, CLÓVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0121 – Eficiência Operativa e Confiabilidade de Equipamentos Associados à Automação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica – REINALDO BURIAN, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0122 – Cálculo de Forças sobre Ímãs Permanentes: Uma Análise do Problema 23 do Team Workshop – HÉLIO JOSÉ DAMANTE, LUIZ LEBENSZTAJN
- BT/PEA/0123 – Análise de Guias de Ondas Ópticos pelo Método dos Elementos Finitos – MARCOS A. R. FRANCO, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0124 – Transient Induced Voltage Computation in a High Building Struck by Lightning – CARLOS A. F. SARTORI, A. ORLANDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0125 – Metodologia para Cálculo de Perdas Técnicas por Segmento do Sistema de Distribuição – ANDRÉ MÉFFE, CARLOS CÉSAR BARIONI DE OLIVEIRA
- BT/PEA/0126 – Cálculo da Distribuição da Corrente de Falta em Sistemas de Aterramento de Redes Primárias – GILBERTO DE MAGALHÃES FALCOSKI, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0127 – Acionamento de Velocidade Variável Utilizando Motores de Corrente Alternada Assíncronos – JOSÉ ALBERTO MARQUES, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0201 – Unified Power Quality Conditioner with Energy Storing Module for Medium Voltage Adjustable Speed Drive – VALBERTO FERREIRA DA SILVA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JUNIOR
- BT/PEA/0202 – Simulação de Marcha de Composição Ferroviária Acionada por Motores de Indução e PWM – CASSIANO LOBO PIRES, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0203 – Conservação de Energia Elétrica em Edificações Comerciais: Sistemas de Ar Condicionado com Central de Água Gelada – TEODORO MONGE DE AMORIM FILHO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0204 – Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Informações Geográficas – FERDINANDO CRISPINO, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0205 – Previsão de Carga em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Redes Neurais Artificiais – JORGE YASUOKA, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0206 – Correção de Distorções Harmônicas, em Sistemas Industriais, Através de Filtros Passivos – ANTONIO PESTANA NETO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0207 – Proposta de Metodologia para Controle da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica a Partir da Segmentação do Mercado Consumidor em Famílias de Redes Elétricas – RODOLFO COLI DA CUNHA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0208 – Modelagens das Funções de uma Subestação Automatizada Empregando Modelos Orientados a Objetos – MILTHON SERNA SILVA, AUGUSTO F. BRANDÃO JR
- BT/PEA/0209 – Automação de Instalações Elétricas Prediais Através da Internet – ROBSON REBOUÇAS CARDOSO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JUNIOR
- BT/PEA/0210 – Identificação Automática de Vagões na Área Portuária: Uma Solução com Análise de Imagens – EDUARDO MANTOVANI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0211 – Concepção de Sistema de Supervisão e Controle no Processo de Descarga Rodoviária em Terminais Portuários Utilizando Identificadores Automáticos de Veículos – ROGÉRIO COSTA DE OLIVEIRA, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0212 – Metodologia para Análise de Perda de Vida Útil de Transformadores, Alimentando Cargas não Lineares – ARLINDO GARCIA FILHO, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/0213 – Sistema de Automação para Gestão do Carregamento de Transformadores Baseado na Confiabilidade – JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0214 – A Conservação, Considerando Aspectos Relacionados à Qualidade de Energia Elétrica na Indústria Têxtil: Estudo de Caso – MÁRIO CÉSAR GIACCO RAMOS, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/0215 – Cálculo de Parâmetros Operacionais de Desempenho de Redes Primárias de Distribuição Utilizando Redes Neurais Artificiais – ANA MARIA GARCIA CABEZAS, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0216 – Análise Dinâmica de um Motor de Indução Linear pelo Método dos Elementos Finitos – EDUARDO FERREIRA DA SILVA, SILVIO IKUYO NABETA
- BT/PEA/0217 – Reômetro Rotativo de Taxa de Cisalhamento Imposta Acionado por Motor de Passo – SAMUEL E. DE LUCENA, WALTER KAISER
- BT/PEA/0218 – Acionamentos com Motores Brushless para Sistemas de Ventilação de Emergência – RENATO DE ALMEIDA PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0219 – Retificador Trifásico de Alta Eficiência para Tochas de Plasma – MARIO GONÇALVES GARCIA JÚNIOR, LOURENÇO MATAKAS JÚNIOR

- BT/PEA/0220 – Impacto de Modelos de Mercado Espacial no Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia – MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0221 – Proposta de Recuperador Dinâmico para Correção de Afundamentos de Tensão – FRANCISCO COSTA SARAIVA FILHO, EDUARDO CESAR SENER
- BT/PEA/0222 – Análise Preditiva de Defeitos em Motores de Indução Trifásicos Utilizando a Corrente de Alimentação – JOSÉ DANIEL SOARES BERNARDO, LUIZ CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/0223 – Cálculo de Iluminação Auxiliado por Computadores – NESTOR CÂNDIDO FERREIRA SEGUNDO, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0224 – Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Geração Distribuída – JAMEA CRISTINA BATISTA SILVA, NELSON KAGAN
- BT/PEA/0301 – Algoritmo Digital para a Proteção da Interligação Concessionária – Indústria Operando em Sistemas de Cogeração – FRANCISCO ANTONIO REIS FILHO, EDUARDO C. SENER
- BT/PEA/0302 – Dimensionamento da Infra-Estrutura para Automação de Terminais de Granéis Sólidos – FABIO DEL PAPA, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0203 – Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia para Estudos de Viabilidade de Plantas de Cogeração – RICARDO SHEIGI ABE, SERGIO LUIZ PEREIRA
- BT/PEA/0304 – Applying Object-Oriental Technology to Project Hydroelectric Power Plant SCADA Systems – CARLOS ALBERTO VILLACORTA CARDOSO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/0305 – Impactos Econômicos Causados pelos Distúrbios na Rede Básica de Energia Elétrica – JOSÉ JULIO DE ALMEIDA LINS LEITÃO, LINEI BELICO DOS REIS
- BT/PEA/0306 – Fault Location in Transmission Lines Using One Terminal Post Fault Voltage Data – CARLOS EDUARDO DE MORAIS PEREIRA, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/0307 – Impactos da Aplicação de Lâmpadas Fluorescentes Compactas em Habitações de Baixa Renda no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica – LUIS VENTURA CASTELLS PEÑA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0308 – Análise e Melhoria do Controle Automático de Concentração de uma Planta de Ácido Nítrico Diluído – ELCIO RODRIGUES ARANHA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/0309 – Criação de Valor na Avaliação de Projetos Termelétricos sob Condições de Risco no Mercado Brasileiro de Energia Elétrica – WAGNER DA SILVA LIMA, DOREL SOARES RAMOS
- BT/PEA/0310 – Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico como Instrumento de Apoio a Regulação da Energia Elétrica – LUIZ MARIO TORTORELLO, MARCOS ROBERTO GOUVÊA
- BT/PEA/0311 – Análise de Transientes em Motor de Indução Modelo ABC/abc Aplicado ao Modelamento e Simulação de Soft-Starters - LUIS CARLOS RIBEIRO DOS SANTOS – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0312 – Modelamento Matemático e Análise do Funcionamento do Acionamento para Motores de Anéis em Cadeia Sub-Síncrona – SÉRGIO LUIZ VOLPIANO – CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0313 – Considerações do Ambiente Eletromagnético Urbano na Análise de Interferências Eletromagnéticas em Veículos Automotores – GLÁUCIO SANTOS – CARLOS ANTONIO FRANÇA SARTORI
- BT/PEA/0314 – Contribuição a Aplicação das Wavelets na Eletrostática – ALDO ARTUR BELARDI, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/0315 – Avaliação Ponderada da Hidreletricidade e Termeletricidade Através dos Custos Completos – JULIO HENRIQUE BOARATI, MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA
- BT/PEA/0401 - Previsão Espacial de Carga em Sistemas de Distribuição Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial e Plataforma GIS – FRANZ HENRY PEREYRA ZAMORA, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/0402 – Modeling of Impulse Stressed Distribution Transformer Winding Oriented to Maintenance Purposes – PEDRO LUÍS SANTUCCI DE MENDONÇA, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JÚNIOR
- BT/PEA/0403 – Sistema para o Gerenciamento de Imóveis e Ocupação das Faixas de Linhas de Transmissão Utilizando Dados Georreferenciados e de Sensoriamento Remoto – MAURICIO GEORGE MIGUEL JARDINI, HERNAN PRIETO SCHMIDT
- BT/PEA/0404 – Proposta de Novas Topologias de Conversores “C-DUMP” para o Acionamento de Motores e Geradores de Relutância Chaveados – WANDERLEI MARINHO DA SILVA, CLOVIS GOLDEMBERG
- BT/PEA/0405 – Proposta de Aplicação de Motor de Indução Linear Tubular na Extração de Petróleo – BERNARDO PINHEIRO DE ALVARENGA, IVAN EDUARDO CHABU
- BT/PEA/0406 – Aplicação da Automação Elétrica no Controle de Temperatura de Grandes Edifícios – MARLENE DA SILVA BOSCATTO, AUGUSTO FERREIRA BRANDÃO JR.
- BT/PEA/0407 – Metodologia de Segurança para Intercâmbio Eletrônico de Documentos Aplicado ao Sistema Portuário Brasileiro – LEVI SALVI, EDUARDO MARIO DIAS
- BT/PEA/0408 – Proposta de um Novo Protocolo de Comunicação para a Saída Serial de Usuário de Medidores de Energia – ANDRÉ LUIZ MONTERO ALVAREZ, MARCO ANTONIO SAIDEL
- BT/PEA/0409 – Estimação de Estado da Rede Durante Variações de Tensão de Curta Duração para o Monitoramento de Qualidade de Energia Elétrica – TANIA PAOLA LEDESMA ARANGO, NELSON KAGAN

