

## UMA ABORDAGEM NEURAL APLICADA NA LOCALIZAÇÃO DE FALHAS EM INSTALAÇÕES SUBTERRÂNEAS.

Jorge Fernando Brisolla Aith,  
André Nunes de Souza – Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia de Bauru – Campus de Bauru

As instalações subterrâneas necessitam de um dispositivo preciso e automático para determinar as falhas ocasionadas por problemas técnicos e operacionais. A determinação precisa de falhas implica na agilidade em seu reparo, não interrupção do fornecimento de energia, redução dos custos de reparo devido à dificuldade de identificação do local onde a falha ocorreu, entre outros.

Os métodos tradicionais de localização de falhas em instalações subterrâneas são realizados basicamente através de testes de continuidade, o que demanda bastante tempo e inclui grande quantidade de escavações na via pública. Neste sentido, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional inteligente para a localização de falhas nestas instalações poderá promover uma diminuição dos tempos de reparo, bem como o aumento da segurança nos procedimentos de manutenção, além de melhorar o fornecimento de energia elétrica.

O primeiro passo para o restabelecimento de energia após a ocorrência de uma falha é estimar o quanto antes o ponto onde esta ocorreu. Desta forma, o objetivo deste trabalho consiste na implementação de uma Rede Neural Artificial (RNA) que possa auxiliar no processo de localização de falhas em instalações subterrâneas de energia elétrica.

As RNAs são modelos computacionais que utilizam técnicas de processamento inerentemente paralelas e adaptativas através de um grande número de unidades simples de processamento (Haykin, 1999). A semelhança entre os sistemas biológicos e as redes está no fato que ambas possuem altas taxas de computação através de um grande número de elementos simples de processamento com alto grau de conectividade entre si. As características mais atrativas das RNAs consistem em sua elevada habilidade em mapear sistemas não-lineares e em tratar as eventuais incertezas associadas aos mesmos.

Os dados de treinamento e validação da RNA implementada foram obtidos através de ensaios experimentais. Para a realização destes ensaios, uma Linha Piloto foi construída nas dependências do Laboratório de Sistemas de Potência e Técnicas Inteligentes, na UNESP Bauru. A disposição desta Linha Piloto pode ser observada na Figura 1.



**Figura 1 - Disposição da Linha Piloto.**

Este circuito possui as principais características observadas nos sistemas subterrâneos de distribuição. Na Linha Piloto existe 11 terminais disponíveis, sendo acessíveis apenas alguns terminais. Uma representação da Linha Piloto e do cabo de extensão também utilizado durante os ensaios podem ser observados na Figura 2 e na Figura 3, respectivamente.

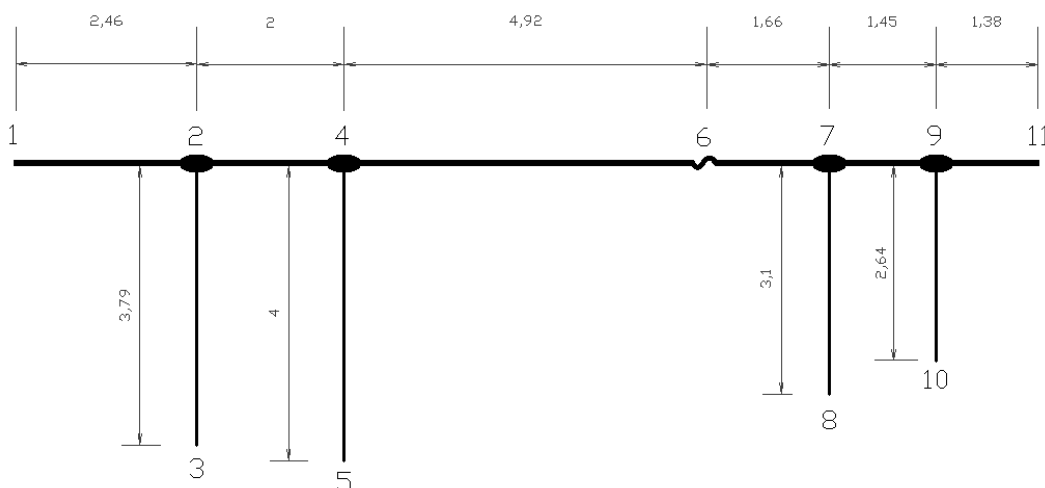


Figura 2 – Representação da Linha Piloto.

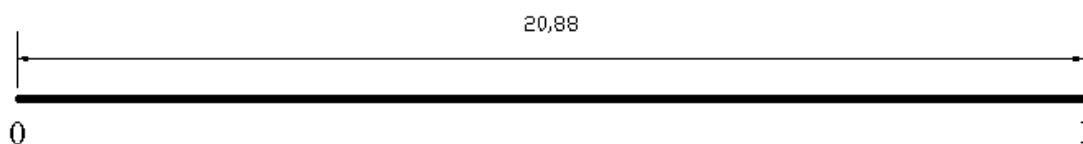


Figura 3 - Representação do cabo de extensão.

A aquisição dos sinais obtidos durante os ensaios experimentais foi realizada com o aparelho TDR 4200 da Riser Bond, mostrado na Figura 4.



Figura 4 – TDR 4200 da Riser Bond.

Este aparelho realiza a determinação de falhas e sua localização pelo método da reflexão de ondas (TDR - Time Domain Reflectometry). Este método é um dos mais comuns de detecção de falhas em linhas aéreas e subterrâneas. A reflectometria no domínio do tempo é um método para o envio de pulsos de tensão através de um fio ou cabo desenergizado com a finalidade de detectar curtos ou circuitos abertos. Este método é muito vantajoso, pois não há necessidade de se intervir em toda a rede de distribuição. Esta metodologia de determinação de falhas é consagrada para a aplicação em linhas de transmissão (Galé, 1975; Ancell, 1992; Komoda, 1991; Magnago, 1998; Magnan, 1992). A aplicação do TDR em linhas de baixa tensão é um método inovador que possui alta confiabilidade e uma capacidade muito alta de indicar o local exato da falha.

Os ensaios foram realizados com e sem o cabo de extensão. Para cada ensaio, três medidas com o TDR conectado no terminal acessível 1, foram efetuadas, sendo duas entre o terminal neutro (enumerado como 0) e duas fases enumeradas 1 e 2, e outra entre as fases 2 e 3. Uma medida com o

TDR conectado nos terminais acessíveis 3, 5, 6 8, 10 e 11 entre o condutor neutro e a fase 1 também foi realizada quando nenhum ponto se encontrava curto-circuitado.

As falhas simuladas foram realizadas sempre entre os dois condutores enumerados "0" e "1" em todos os pontos acessíveis da linha, com exceção do ponto 1 onde foi conectado o TDR para as medições sem a extensão. Estes pontos acessíveis da linha, as emendas, representam a distância em relação ao ponto de aplicação do TDR.

Depois de muitas análises e da realização de simulações, utilizando-se do toolbox Neural Network, do software Matlab, a RNA foi implementada. A arquitetura neural utilizada neste trabalho foi a seguinte:

- i. **Camada de Entrada:** 288 neurônios (valores de tensão dos pontos amostrados).
- ii. **Camadas Ocultas:**
  - *Primeira camada oculta:* 31 neurônios.
    - Função de ativação: Sigmóide
  - *Segunda camada oculta:* 21 neurônios.
    - Função de ativação: Sigmóide
- iii. **Camada de Saída:** 3 neurônios (que combinados representam as emendas)
  - Função de ativação: Sigmóide.

Para o treinamento da RNA, foram seguidos os seguintes parâmetros básicos:

- ❖ Algoritmo de Treinamento: Traingd
- ❖ Critério de parada por erro:  $1.0 \cdot 10^{-4}$
- ❖ Critério de parada por épocas: 100000

O número de épocas significa a quantidade de vezes que todo o conjunto de treinamento deve ser apresentado à rede neural para que a mesma consiga mapear adequadamente o relacionamento entre as entradas e saídas.

A Figura 5 mostra a arquitetura visual da RNA desenvolvida, onde  $x$  representa as entradas e  $y$  as saídas.

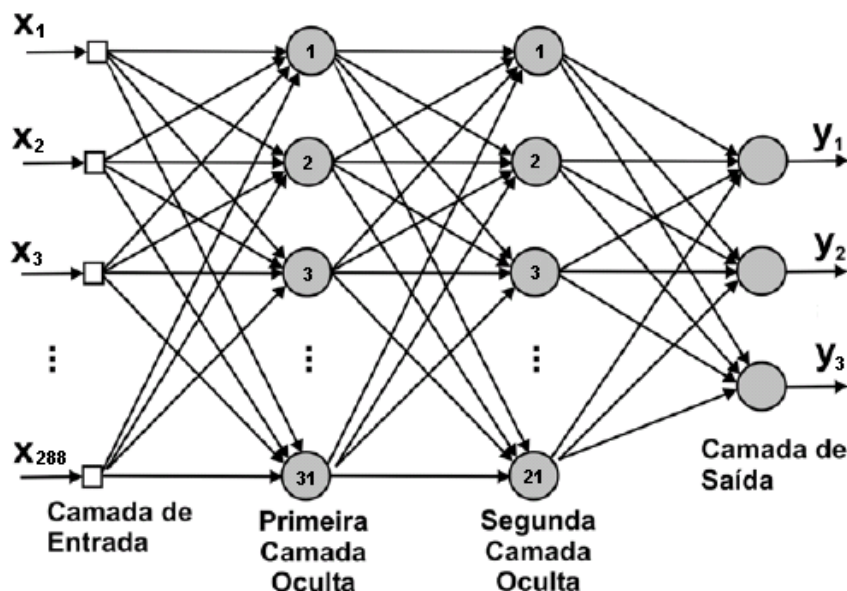


Figura 5 - RNA desenvolvida.

A RNA implementada foi treinada e simulada. A Figura 6 apresenta o desempenho da RNA durante o treinamento.



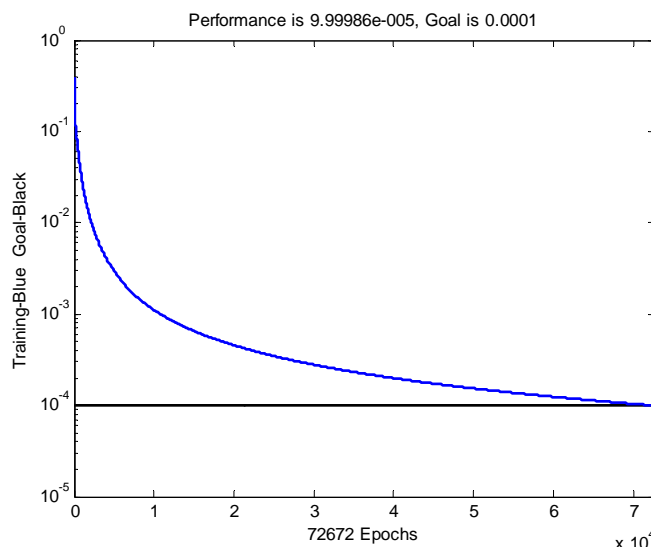


Figura 6 - Gráfico da evolução da RNA durante o treinamento.

Depois do término do treinamento e das simulações da RNA, os resultados obtidos foram analisados. Baseado nos resultados apresentados pode-se considerar que a RNA obteve um resultado satisfatório localizando corretamente os terminais onde a falha estava presente. Assim, as informações fornecidas pela RNA implementada permitiriam a uma equipe de manutenção saber em que terminal, ou seja, à distância em relação ao ponto em que o TDR foi aplicado à linha, ocorreu o defeito, agindo com maior rapidez, diminuindo os tempos de interrupção do sistema.

Como contribuição deste trabalho, ressalta-se a minimização dos tempos de reparo, já que a ferramenta desenvolvida vem ao encontro à necessidade de maior precisão na localização das falhas em instalações subterrâneas. A determinação precisa destas falhas poderá implicar na agilidade em seu reparo, não interrupção do fornecimento de energia, redução dos custos de reparo devido à dificuldade de identificação do local onde a falha ocorreu, melhoria nos indicadores de qualidade, melhoria no relacionamento entre consumidores e concessionária, entre outros, proporcionando, possivelmente, a melhora do fornecimento de energia elétrica, trazendo um enorme benefício tanto para a concessionária de energia como também para a sociedade.

### Referências Bibliográficas

- S. Haykin, **"Neural Networks – A Comprehensive Foundation"**, McMillan Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1999.
- P. F. Gale, **"Cable fault location by impulse current method"**, *Proc. IEE*, vol. 122, no. 4, pp. 403–408, Apr. 1975.
- G. B. Ancell and N. C. Pahalawaththa, **"Effects of frequency dependence and line parameters on single-phase ended traveling wave based fault location"**, *IEE Proceedings—C*, vol. 139, no. 4, pp. 332–342, July 1992.
- M. Komoda and M. Aihara, **"Development of a current detection type cable fault locator"**, *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 6, no. 2, pp. 541–545, Apr. 1991.
- F. H. Magnago and A. Abur, **"Fault location using wavelets"**, *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 13, no. 4, pp. 1475–1480, Oct. 1998.
- K. K. Kuan and K. Warwick, **"Real-time expert system for fault location on high voltage underground distribution cables"**, *IEE Proceedings—C*, vol. 139, no. 3, pp. 235–240, May 1992.

Bolsa: FAPESP