DETECÇÃO DE DEFEITOS EM JUNTAS SOLDADAS UTILIZANDO UM CLASSIFICADOR NEURAL ALIMENTADO POR SINAIS ULTRASSÔNICOS PRÉ-PROCESSADOS PELA TRANSFORMADA DE WAVELET

Francisco G. de Paula[1], Maria Cléa S. de Albuquerque[2], Renata T. M. Sotero[3], Claúdia T. T. Farias[4], Eduardo F. de Simas Filho[5], Inaian S. S. Souza[6]

[1]Graduando em Engenharia Industrial Mecânica – LEUS/GPEND/IFBA, e-mail: franciscodepaula@ifba.edu.br
[2]Drª Engenharia de Processos - LEUS/GPEND/IFBA, e-mail: cleaalbuquerque@ifba.edu.br
[3]Graduanda em Engenharia Industrial Mecânica – LEUS/GPEND/IFBA, e-mail: renata.sotero@hotmail.com
[4]Drª Engenharia Metalúrgica e de Materiais - LEUS/GPEND/IFBA, e-mail: cfarias@ifba.edu.br
[5]Dr Engenharia Elétrica – DEE/UFBA, e-mail: eduardo.simas@ufba.br
[6]Graduanda em Engenharia Industrial Elétrica – LEUS/GPEND/IFBA, e-mail: inaian@ifba.edu.br

Resumo: Foram realizadas inspeções ultrassônicas em chapas de aço carbono soldadas pelos processos de soldagem ao arco elétrico TIG e eletrodo revestido. A técnica Pulso Eco foi utilizada devido à sua simplicidade e eficiência. Foram obtidos sinais ultrassônicos de regiões sem defeito e contendo falta de penetração, inclusão de escória e porosidade, intencionalmente produzidos durante a soldagem. Posteriormente os sinais foram pré-processados pela Transformada de *Wavelet* e alimentados em uma Rede Neural Artificial (RNA) para a classificação automática dos sinais obtidos. Após o treinamento e teste da RNA, foi alcançada a eficiência de 93,5%.

Palavras–chave: defeitos de solda, pulso eco, redes neurais artificiais, transformada de *wavelet*

1. INTRODUÇÃO

ISBN 978-85-62830-10-5
VII CONNEPI©2012

Os ensaios não destrutivos (END´s) são largamente utilizados na indústria com a finalidade de prevenir acidentes e a perda de vidas humanas, além de evitar a paralisação de serviços básicos. Os END´s são utilizados para reduzir o custo de produção, pois geralmente têm baixo custo, possibilitam inspeções repetidas numa mesma peça, além também de permitir acompanhar a evolução do desgaste das máquinas, evitando assim paradas desnecessárias para manutenção (SILVA, 2006, CUNHA FILHO et al., 2002).

Dentre os END´s a técnica ultrassônica pulso eco é uma das mais utilizadas, por apresentar elevada simplicidade de execução e eficiência na detecção de pequenas descontinuidades presentes no material. No entanto, esta técnica pode apresentar dificuldade na análise e interpretação dos resultados obtidos, mesmo para inspetores experientes (VEIGA, 2003).

Para reduzir a dificuldade da classificação de sinais, redes neurais artificias (RNA´s) podem ser utilizadas em conjunto com técnicas de processamento digital de sinais para o reconhecimento de padrões (SOUZA et al, 2011, RIBEIRO et al, 2010, SOUZA et al. 2012)**.** Neste trabalho, as RNA´s foram alimentadas pelas informações obtidas a partir da Transformada de *Wavelet* para identificar regiões com e sem defeitos de solda (falta de penetração, inclusão de escória e porosidades).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho consistiu de chapas de aço comum ao carbono soldadas pelos processos de soldagem ao arco elétrico TIG e Eletrodo Revestido, cujas dimensões são especificadas através da Figura 01. Durante o processo de soldagem, alguns defeitos como porosidades, inclusão de escória e falta de penetração foram propositadamente inseridos aleatoriamente ao longo da peça e suas localizações, identificadas através de Raios-X.

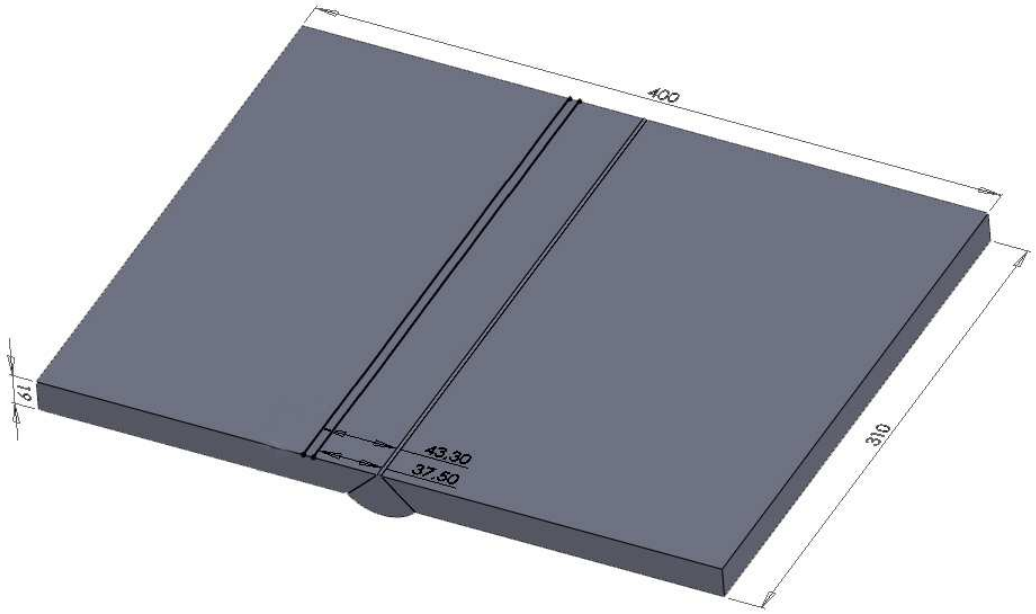

Figura 01 – Ilustração esquemática das dimensões da chapa de aço (400 x 310 x 19 mm).

A metodologia empregada consistiu na realização de ensaios ultrassônicos por pulso eco em regiões com e sem os defeitos de solda pré-produzidos.

Foram demarcadas duas linhas, paralelas ao cordão de solda, onde os sinais foram adquiridos. A primeira linha foi traçada a uma distância de 37,50 mm do cordão de solda e a segunda, a 43,30 mm, conforme ilustrado na Figura 01. Essas distâncias foram escolhidas por causa da interferência do campo próximo do transdutor em relação a distâncias menores ao cordão de solda.

Os ensaios ultrassônicos foram realizados com um transdutor angular de 45º nas duas linhas supracitadas, de onde foram coletados sinais oriundos de regiões com e sem os defeitos de solda pré-produzidos (falta de penetração, inclusão de escória e porosidades).

Posteriormente, utilizando o ambiente computacional *MATLAB*®, foi realizado o processamento digital de sinais, através da Transformada de *Wavelet* nos sinas ultrassônicos referentes a cada uma das quatro classes, com o objetivo de melhorar o desempenho da rede neural artificial.

Após o processamento dos sinais, os dados obtidos foram utilizados como conjunto de entrada no treinamento da RNA, sendo que 70% destes sinais foram utilizados para treinamento e 30% para teste da rede neural artificial.

Foram adquiridos 100 sinais relativos a cada região com e sem os defeitos de solda. Estes sinais alimentaram um algoritmo de treinamento do tipo *backpropagation* (HAYKIN, 2001). Este método de treinamento de redes neurais com múltiplas camadas envolve o cálculo do erro na saída, associado a cada entrada do conjunto de treinamento e sua retropropagação para as camadas intermediárias. Os pesos sinápticos dos neurônios artificiais são ajustados em busca da minimização do erro na saída. A Figura 02 (LOPES, 2010) mostra o modelo de um neurônio artificial.

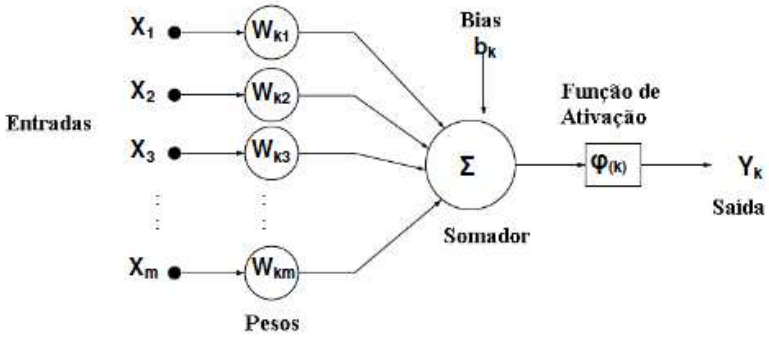

Figura 02 – Modelo não-linear de Neurônio Arficicial (HAYKIN, 2001)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 03, 04, 05 e 06 apresentam os sinais obtidos das regiões sem defeitos e com os defeitos de solda pré-produzidos: inclusão de escória, falta de penetração e porosidade respectivamente.

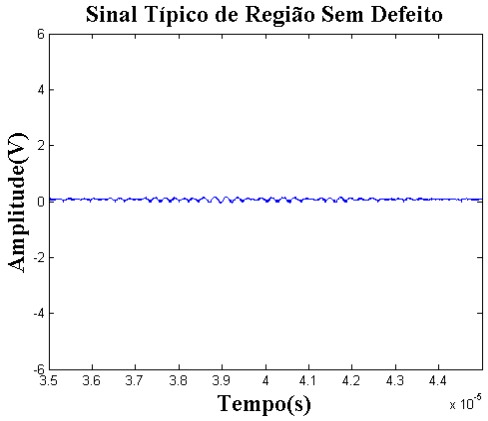

Figura 03 – Sinal típico de região sem defeito

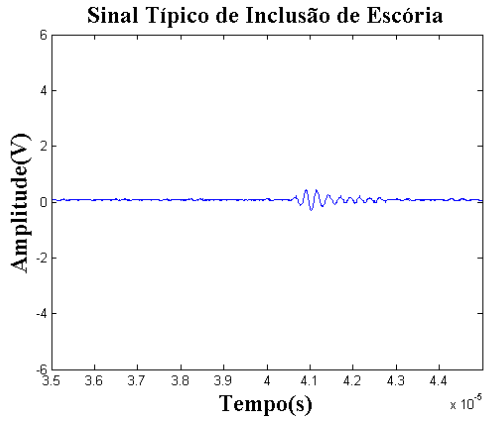

Figura 04 – Sinal típico de inclusão de escória

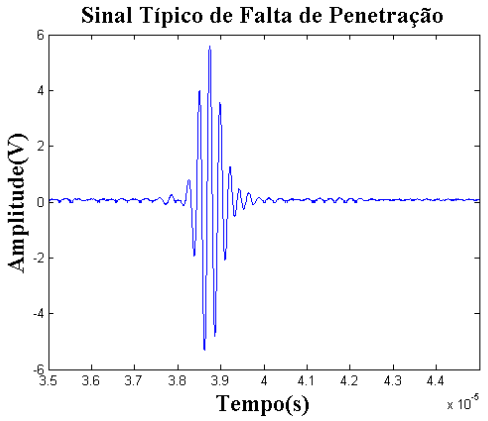

Figura 05 – Sinal típico de falta de penetração

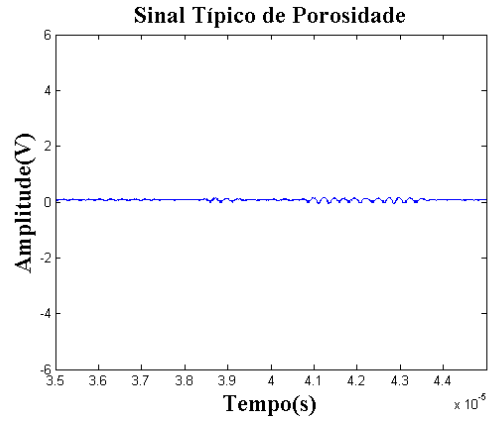

Figura 06 – Sinal típico de porosidade

Em seguida, os sinais foram pré-processados pela Transformada de *Wavelet* (TW), conforme ilustram as Figuras 07, 08, 09 e 10.

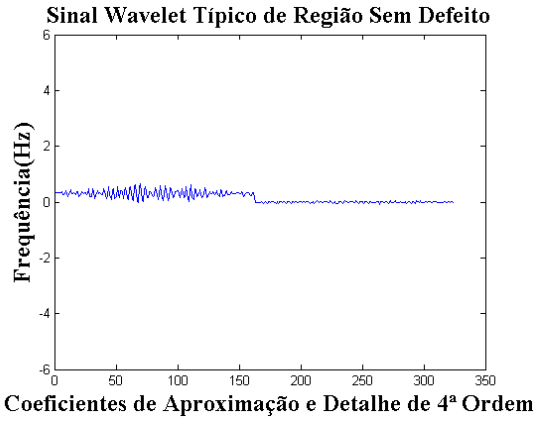

Figura 07 – Sinal típico de região sem defeito após TW

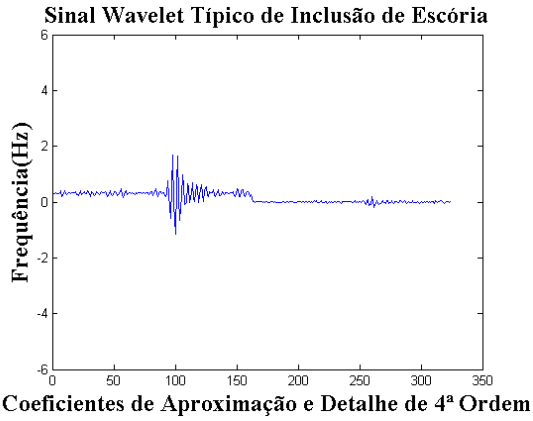

Figura 08 – Sinal típico de inclusão de escória após TW

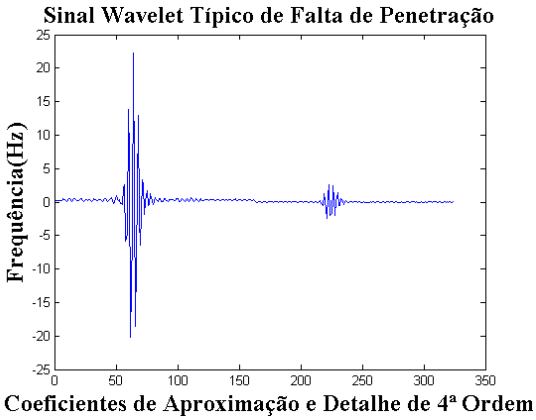

Figura 09 – Sinal típico de falta de penetração após TW

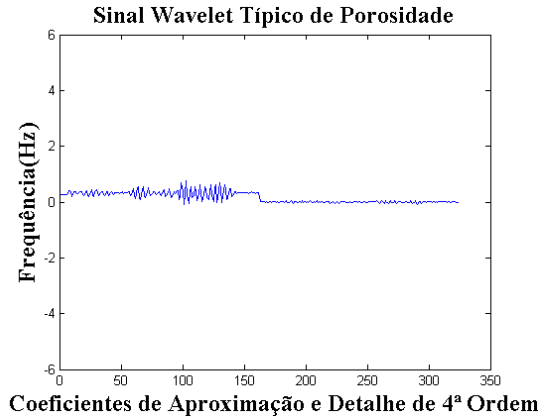

Figura 10 – Sinal típico de porosidade após TW

Após o pré-processamento dos sinais através da Transformada de *Wavelet* foi realizado o treinamento da rede neural, utilizando um conjunto de entrada em 70% dos sinais ultrassônicos de cada classe. Por último, foi feito o teste da RNA, com 30% dos sinais, conforme ilustrado na Figura 11.

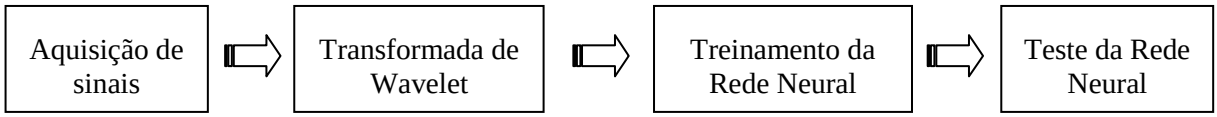

Figura 11 – Fluxograma do Classificador Neural.

O resultado do treinamento é exibido na Tabela 01.

Tabela 01 – Matriz de Confusão.

CLASSE	SEM DEFEITO	FALTA DE PENETRAÇÃO	INCLUSÃO DE ESCÓRIA	POROSIDADE
SEM DEFEITO	**97**	1	2	3
FALTA DE PENETRAÇÃO	2	**91**	3	0
INCLUSÃO DE ESCÓRIA	1	1	**92**	3
POROSIDADE	0	7	3	**94**

De acordo com a Tabela 01, com o treinamento e teste da Rede Neural Artificial, foi obtida uma eficiência média de 93,5% na inspeção automática de juntas soldadas.

Os sinais sem defeitos foram identificados com eficiência de 97%. Entre as três classes de defeitos, o de mais difícil identificação foi a falta de penetração (91% de eficiência) e 94% dos sinais com porosidades foram corretamente identificados.

4. CONCLUSÕES

A técnica ultrassônica pulso eco é a mais utilizada na indústria, devido, principalmente, à sua simplicidade e eficiência. Neste trabalho foi possível obter um sistema de classificação automático de defeitos em juntas soldadas com eficiência média da ordem de 93,5%, combinando a extração de características através da Transformada de *Wavelet* com a discriminação por uma rede neural artificial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESB pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

CUNHA FILHO, J. S.; MOTTA, M. S. **Ensaios Não Destrutivos: Análise de Custos Versus Benefícios**, *In*: CONFERÊNCIA DE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS, 2002, Salvador.

HAYKIN S. **Redes Neurais: princípios e práticas**, 2. ed. Porto Alegre, Bookman, 2001.

LOPES, D. B. P.; FARIAS, C. T. T.; SIMAS FILHO, E.F.; SILVA, J. C. B.; SILVA, I. C.; SILVA, L. A. S.; LOPES, J. L. S. **Utilização De Redes Neurais Artificiais Como Ferramenta de Auxílio na Detecção e Dimensionamento de Pites de Corrosão em Aços Inoxidavéis 304**, *In*: CONGRESSO NACIONAL DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO, 2010, Santos.

RIBEIRO, I. S.; FARIAS, C. T. T. ; SIMAS FILHO, E.F.; SOUZA, Y. N.; BORGES JUNIOR, E. A. T.; LOPES, D. B. P. **Processamento Digital De Sinais E Inteligência Computacional Aplicados Aos Ensaios Ultrassônicos**, *In*: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 2010, Alagoas.

SILVA, S. F. J. **Ensaios Não Destrutivos**, Belo Horizonte, 2006.

SOUZA, I. S. S.; ALBUQUERQUE, M. C. S.; SIMAS FILHO, E.F.; FARIAS, C. T. T. **Signal Processing Techniques for Ultrasound Automatic Identification of Flaws in Steel Welded Joints – A Comparative Analysis**, *In*: World Conference on Nondestructive Testing, 2012, Durban.

SOUZA, Y. N.; SIMAS E. F. F.; FARIAS C. T. T.; LEITE V. L. C.; SOUZA I. S. S.; LOPES J. L. S.; ARAUJO P. R. A. **Avaliação Não Destrutiva da Integridade Estrutural de Compósitos de Alumínio e Epóxi Utilizando Processsamento Estatístico e Redes Neurais Artificiais como Ferramenta De Auxílio**, *In*: CONFERÊNCIA DE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS, 2011, Porto de Galinhas.

VEIGA, J. L. B. C., ALVES, A. C., SILVA, I. C., REBELLO, J. M. A., **Automação da Análise do Ensaio Ultra-Sônico Pulso-Eco Utilizando Redes Neurais Artificiais**, *In*: PAN-AMERICAN CONFERENCE FOR NON DESTRUCTIVE TESTING, 2003, Rio de Janeiro.