

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CONFIGURAÇÃO DE SISTEMA DE ENSAIO ULTRASSÔNICO, AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE SINAIS

Igor RIBEIRO (1); Lillian SILVA (2); Cláudia FARIAS (3); Eduardo SIMAS FILHO (4); Elmo BORGES JUNIOR (5)

(1) IFBA, Rua Emídio dos Santos, s/n, (71) 2102-9423, e-mail: igorsr@ifba.edu.br; (2) IFBA, e-mail: lilian.asena@ifba.edu.br; (3) IFBA, e-mail: cfarias@ifba.edu.br; (4) IFBA, e-mail: esimas@ifba.edu.br; (5) IFBA, e-mail: elmo.alberto@ifba.edu.br

RESUMO

O avanço da microeletrônica e da computação tem permitido a aquisição e armazenamento de quantidades cada vez maiores de dados. Além da dificuldade em lidar com grandes fluxos de arquivos, a crescente complexidade do processamento aplicado pode representar maiores possibilidades de erro na análise. Interfaces gráficas são utilizadas no intuito de ser uma ferramenta útil e confiável para a realização de blocos de tarefa, permitindo ao usuário interagir com o computador de forma simples e eficiente funcionalmente. Neste trabalho foi desenvolvida interface gráfica em ambiente Matlab® para configurar sistema de ensaio ultrassônico, composto de aparelho de ultrassom e osciloscópio digital, armazenar sinais e processá-los digitalmente, através de rotinas para visualização do A-Scan, espectro de frequência e decomposição Wavelet. O programa é capaz de reproduzir os resultados a cada aquisição de sinais, que pode acontecer de forma temporizada.

Palavras-chave: interface gráfica, ensaio não destrutivo ultrassônico, processamento digital de sinais

1. INTRODUÇÃO

Ensaaios não destrutivos ultrassônicos normalmente são aplicados com objetivo de detectar falhas e caracterizar materiais, sendo realizados por sistemas digitais compostos basicamente por gerador de pulso, transdutores, objeto de teste e conversor analógico-digital (HELLIER, 2001; KUNDU, 2004).

Neste trabalho, foi desenvolvida interface em Matlab® para coletar, armazenar e processar sinais digitais de forma intuitiva, a partir de sistema composto por aparelho de ultrassom e osciloscópio. A ferramenta computacional é capaz de gerar visualização no domínio do tempo, espectro de frequência e decomposição Wavelet em três estágios, além de possibilitar a aquisição e armazenamento temporizado e sequencial de sinais. A interface permite aplicação dos recursos implementados aos sinais do osciloscópio provenientes de distintas fontes, sendo que a utilização em conjunto ao ultrassom torna a técnica mais dinâmica quanto à interação do usuário com as grandezas envolvidas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Ensaio Não Destrutivo Ultrassônico

Segundo Hellier (2001), o ensaio não destrutivo (END) é definido como um exame, teste ou avaliação realizada em um corpo de prova sem modificá-lo de qualquer forma, a fim de determinar características (dimensões, dureza, conteúdo de liga, tamanho de grão etc.), identificar condições ou descontinuidades que possam influenciar a funcionalidade ou manutenção do objeto. Como tecnologia, os ensaios não destrutivos evoluíram significativamente nos últimos 30 anos, sendo aplicados na indústria para: avaliação de matéria-prima antes do processamento; controle de processo; análise de produtos acabados e avaliação de produtos e estruturas em serviço.

Comparada aos demais métodos de avaliação não destrutiva, a técnica ultrassônica é a mais adaptável para detecção de falhas e automação, além de que a grande variedade de ondas em relação às formas de

propagação e frequências possibilita inúmeras aplicações ao ultrassom. No entanto, dentre as limitações que a técnica apresenta estão: a necessidade da utilização de acoplante e de treinamento específico dos inspetores, sendo que as propriedades físicas do material a ser inspecionado e o tipo de falha que se quer monitorar podem ser agravantes na complexidade dos sinais coletados, aumentando, desta forma, a probabilidade de identificação equivocada de descontinuidades.

Além das utilizações convencionais do ensaio ultrassônico para caracterização e detecção de falhas, pode-se ainda determinar: textura e propriedades elásticas de materiais cristalinos, tensões em sólidos, dureza e tamanho de grão (KUNDU, 2004).

Segundo Chen (1999), os sinais ultrassônicos normalmente são adquiridos a partir de equipamentos digitais constituídos basicamente por: gerador de pulso, transdutor emissor, objeto de teste, transdutor receptor, circuito amplificador, conversor analógico-digital e unidade de processamento de sinais. O transdutor emissor recebe um pulso elétrico, transformando-o em pulso mecânico de alta frequência. Após interação com o meio, o receptor capta as vibrações de baixa amplitude, convertendo-as novamente em sinal de tensão, que é amplificado e digitalizado.

A forma mais comum de representar a interação do ultrassom com o meio é a curva tempo x tensão, chamada de A-Scan. A utilização de sistemas ultrassônicos com memória permite armazenar sinais A-Scan, de modo a obter registro permanente do ensaio para posterior inclusão em base histórica de dados, avaliação ou processamento em computadores, fornecendo resultados mais elaborados, como a geração de imagens tridimensionais (CARVALHO, 2001; CHEN, 2007).

Dentre os modos mais comuns de configuração do ensaio ultrassônico, o modo pulso-eco se destaca pela simplicidade, podendo ser utilizado com transdutores mono ou duplo cristal, ou ainda com transdutores *phased array*, que se comportam como uma malha de cristais acionados eletronicamente (KUNDU, 2007). No caso da utilização de sensores com dois cristais, deve-se configurar o dispositivo de ultrassom para que o pulso seja transmitido por um canal e recebido por outro.

2.2. Interface Gráfica e Tratamento de Sinais em Matlab®

O caráter matricial da representação de dados no Matlab® e a existência de inúmeras funções para manipulação demonstram a capacidade de se tratar sinais de forma simples, visto que tanto sinais unidimensionais, quanto multi-canais e bidimensionais são naturalmente representados em matrizes. Além disso, neste ambiente, é notável a facilidade em se criar rotinas computacionais ou expandir a funcionalidade das funções existentes, de forma a encontrar soluções numéricas adequadas à aplicação nas mais distintas áreas do conhecimento, incluindo pesquisa, projeto e processamento de sinais (MathWorks, 2001).

Na prática, normalmente se observa a utilização repetitiva de determinados algoritmos em aplicações específicas, mas quase sempre não apresentam um grau satisfatório de interatividade com o usuário. Como forma de atender à necessidade de permitir acesso rápido e direto a rotinas implementadas anteriormente, são desenvolvidas interfaces gráficas (GUI, *Graphical User Interface*), que são o ponto de contato ou método de interação entre uma pessoa e um programa, a fim de trocarem informações, sendo possível definir a aparência e a facilidade de uso do computador. Desta forma, o Matlab® reúne habilidade de desenvolver aplicações gráficas que desfrutem de vasta biblioteca matemática.

2.3. Processamento Digital de Sinais Ultrassônicos

2.3.1. Análise Espectral

A análise espectral é uma ferramenta útil a uma grande variedade de aplicações, com objetivo de descrever a distribuição de energia do sinal, em relação à frequência, sendo possível extrair também informações de fase. Normalmente se utiliza o algoritmo da FFT (Transformada Rápida de Fourier) para implementar a DFT (Transformada Discreta de Fourier), expressa matematicamente pela Eq. 1. Para realizar a FFT, faz-se com que o número de amostras do sinal seja uma potência de dois, aumentando a eficácia do algoritmo quanto ao processamento (MADISETTI, 1999; MathWorks, 2001).

$$S(e^{j\omega T}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s[n]e^{-j\omega Tn} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Aplicada aos sinais ultrassônicos, a análise espectral é capaz de extrair informações que poderiam ser mascaradas no domínio do tempo. Existem parâmetros em fase ou amplitude que evidenciam características específicas de determinados defeitos, seja através da análise janelada do eco de fundo, do ecograma (sinal característico da varredura ultrassônica, composto por eco de fundo e sinal retroespalhado), ou do sinal retroespalhado (KRUGER, 1996).

2.3.2. Análise Wavelet

As wavelets reproduzem um sinal transiente de modo mais adequado que as senóides, visto que são capazes de decompor a dinâmica global e local de um sinal, isto é, a Transformada Discreta Wavelet (DWT) se baseia na decomposição do sinal em aproximações e detalhes, através de filtros de alisamento (passa-baixa) e outros trazendo informações de detalhes (passa-alta).

A decomposição usando wavelets é capaz de manter a quantidade de pontos iniciais, através de um processo denominado sub-amostragem, conforme ilustrado na Fig. 1, produzindo os coeficientes DWT (PAGODINAS, 2002). Inicialmente, o sinal é subdividido, através de filtro passa-baixa e passa-alta, com frequência de corte variando com a frequência a que o sinal foi amostrado, visto que a largura de banda do sinal digital varia de acordo com o Teorema de Nyquist, expresso na Eq. 2. Dois sinais são originados e passam por um processo denominado sub-amostragem, em que são produzidos os coeficientes DWT e a quantidade de amostras dos novos sinais é reduzida, de forma que, caso sejam reconstruídos, mantenham o mesmo número de pontos originais (MISITI, 2002; DINIZ, 2004; CHEN, 2007).

$$\omega_a = 2\omega_{\max} \quad [\text{Eq. 2}]$$

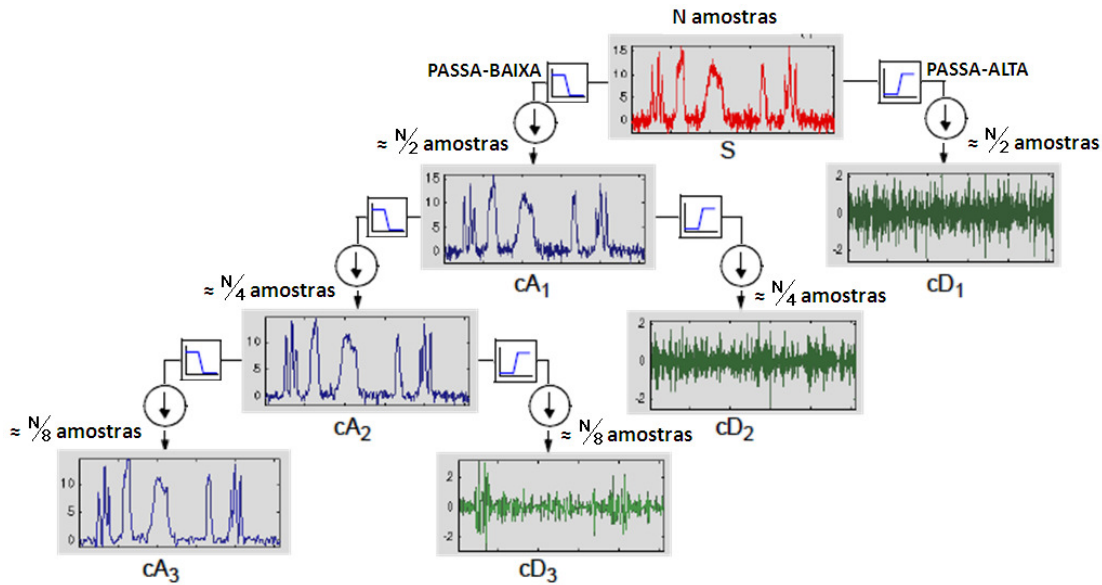


Figura 1 – Decomposição Multinível Wavelet

A escolha da wavelet-mãe, a partir da qual o sinal é decomposto, determina a qualidade dos resultados em casos de decomposição e reconstrução. Algumas famílias de wavelets são comumente empregadas por serem úteis em diversas aplicações, como a série Daubechies, ilustrada em parte na Fig. 2, que inclui a primeira e mais simples wavelet, a Haar (que é descontínua e representa a função degrau).

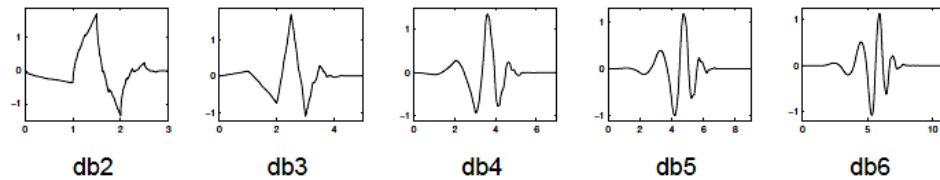


Figura 2 – Wavelets da família Daubechies (MISITI, 2002)

3. METODOLOGIA

3.1. Ensaios Ultrassônicos

Os ensaios ultrassônicos serviram de base para desenvolver o sistema computacional, visto que variáveis e parâmetros que influenciam o sinal, a partir da configuração dos equipamentos, definiram o escopo das interfaces. Para a realização do ensaio foi utilizado sistema composto por: dispositivo de ultrassom Krautkrämer®, modelo USM 25; transdutor Krautkrämer®, modelo MB-4S, de frequência central 4 MHz; e osciloscópio Tektronix®, modelo TDS2024B.

A varredura ultrassônica foi realizada em bloco padrão V1, de aço SAE 1020, em diferentes configurações dos equipamentos, de forma a possibilitar a avaliação do funcionamento do programa.

3.2. Interface Gráfica

A interface gráfica foi desenvolvida em ambiente Matlab®, como forma de desfrutar da vasta biblioteca matemática de forma simples para o usuário. As telas permitem configurar o sistema ultrassônico, realizar processamento digital de sinais e coletar sinais.

3.3. Comunicação e Controle de Dispositivos

O sistema empregado no ensaio ultrassônico utiliza dois protocolos de comunicação: USB e RS-232. O aparelho de ultrassom USM 25 é capaz de transmitir o sinal digitalizado, no entanto, amostra apenas 220 pontos. Como forma de aumentar a precisão dos dados, optou-se por utilizá-lo apenas como gerador de pulso, sendo conectado através de cabo coaxial ao osciloscópio, capaz de utilizar taxas de amostragem de até 2 GS/s em 2500 pontos. O osciloscópio, por sua vez, é ligado ao computador através de porta USB, com taxa de transmissão de dados superior ao da comunicação serial via RS-232.

A Fig. 3 ilustra a configuração experimental adotada, incluindo os protocolos utilizados na comunicação entre os equipamentos.

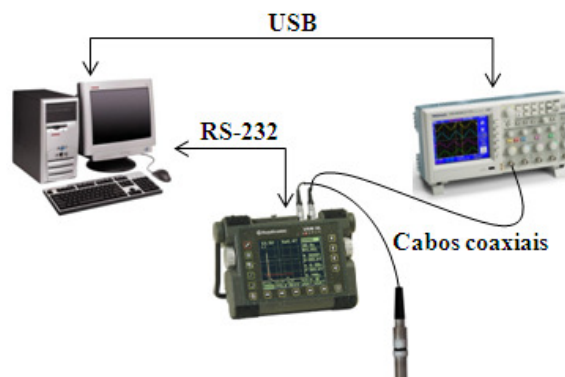


Figura 3 – Configuração experimental dos ensaios ultrassônicos

3.4. Processamento Digital de Sinais

A interface de processamento digital de sinais permitiu a aplicação de duas técnicas: Transformada de Fourier, implementada computacionalmente pelo algoritmo pré-definido da FFT; e Transformada Wavelet,

através da DWT. A rotina para obtenção do espectro de frequência estima automaticamente a frequência de amostragem do sinal, a partir da configuração da escala horizontal do osciloscópio.

4. RESULTADOS

4.1. Interface Gráfica em Matlab

4.1.1. Tela Principal

A interface inicial da primeira versão do CAPSU (Sistema Computacional para Configuração, Aquisição e Processamento de Sinais Ultrassônicos) permite a seleção de três opções: configuração de equipamentos, processamento digital de sinais e aquisição de sinais, conforme pode ser visualizado na Fig. 4.



Figura 4 – Interface Principal do CAPSU

4.1.2. Configuração de Ultrassom e Osciloscópio

A tela de configuração de equipamentos, mostrada na Fig. 5, reúne informações constantes na configuração de osciloscópio, como: opção de canal, modo de aquisição, trigger, escala horizontal e vertical. A metodologia adota a utilização do dispositivo de ultrassom apenas como gerador de pulso, de modo a aumentar a precisão dos dados digitalizados, visto que a conversão analógico-digital é feita pelo osciloscópio, que fornece maiores taxas de amostragem. Desta forma, a configuração do dispositivo de ultrassom se restringiu a definir amortecimento, potência, frequência de repetição de pulsos e opção de ativação do modo duplo cristal.

A interface permite ainda salvar a configuração definida pelo usuário, através do botão “salvar configuração”, e aplicar configuração padrão, convencionalmente utilizada para ensaios de ultrassom, pelo botão “default”.

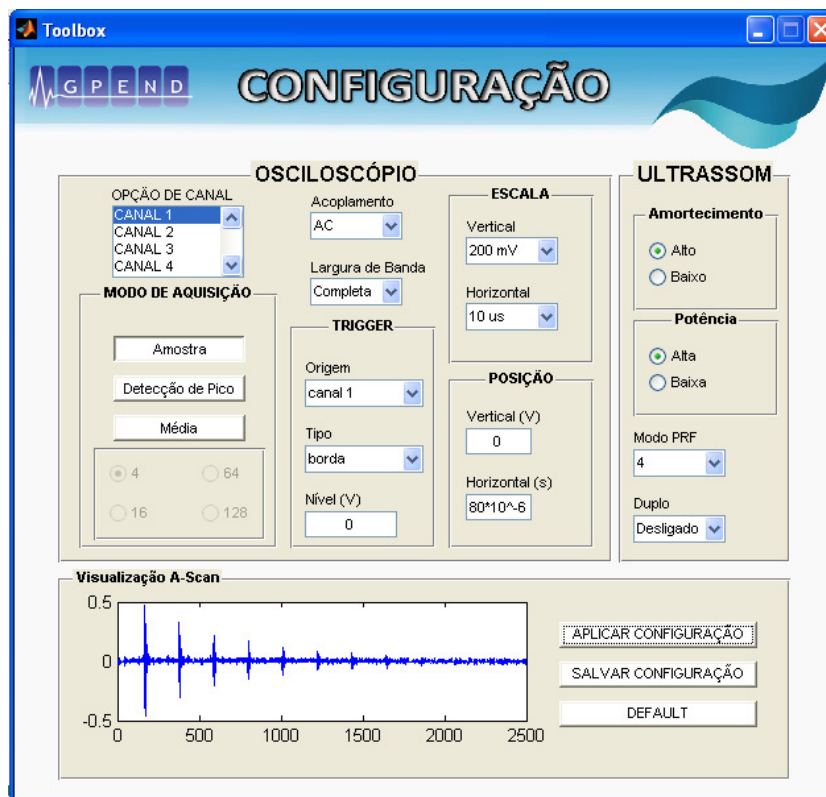


Figura 5 – Interface de Configuração de Equipamentos

4.1.3. Processamento dos Sinais Coletados

A interface de processamento digital de sinais fornece a visualização do sinal A-Scan, do espectro correspondente e da decomposição Wavelet em três estágios, após seleção da wavelet-mãe entre as famílias Daubechies, BiorSplines, ReverseBior e Gaussian.

Na Fig. 6 é mostrada a interface de processamento de sinais, onde se pode observar que na seção wavelet foi utilizada a wavelet-mãe db9, da família Daubechies, que permitiu a obtenção de seis gráficos: três à esquerda, relativos aos coeficientes de aproximação de primeira, segunda e terceira ordem, respectivamente; e três à direita, correspondentes aos coeficientes de detalhe de primeira, segunda e terceira ordem, respectivamente.

A plotagem dos gráficos acontece a partir do botão “coletar sinal”, que transfere os parâmetros inseridos pelo usuário para as funções que implementam os recursos disponíveis na interface. Desta forma, pode-se visualizar o sinal coletado através de diferentes perspectivas, possibilitando analisá-lo mais detalhadamente e, portanto, verificar características que poderiam estar pouco visíveis no sinal original no domínio do tempo.

Conforme mostrado na Fig. 6, o sinal ultrassônico adquirido, relativo ao primeiro eco de fundo da varredura, possui frequência central em torno de 4 MHz. Além disso, percebe-se visualmente que, utilizando a wavelet-mãe db9 da família Daubechies, houve eliminação de ruído em todos os gráficos dos coeficientes de aproximação, sendo ainda maior na decomposição de terceiro estágio.

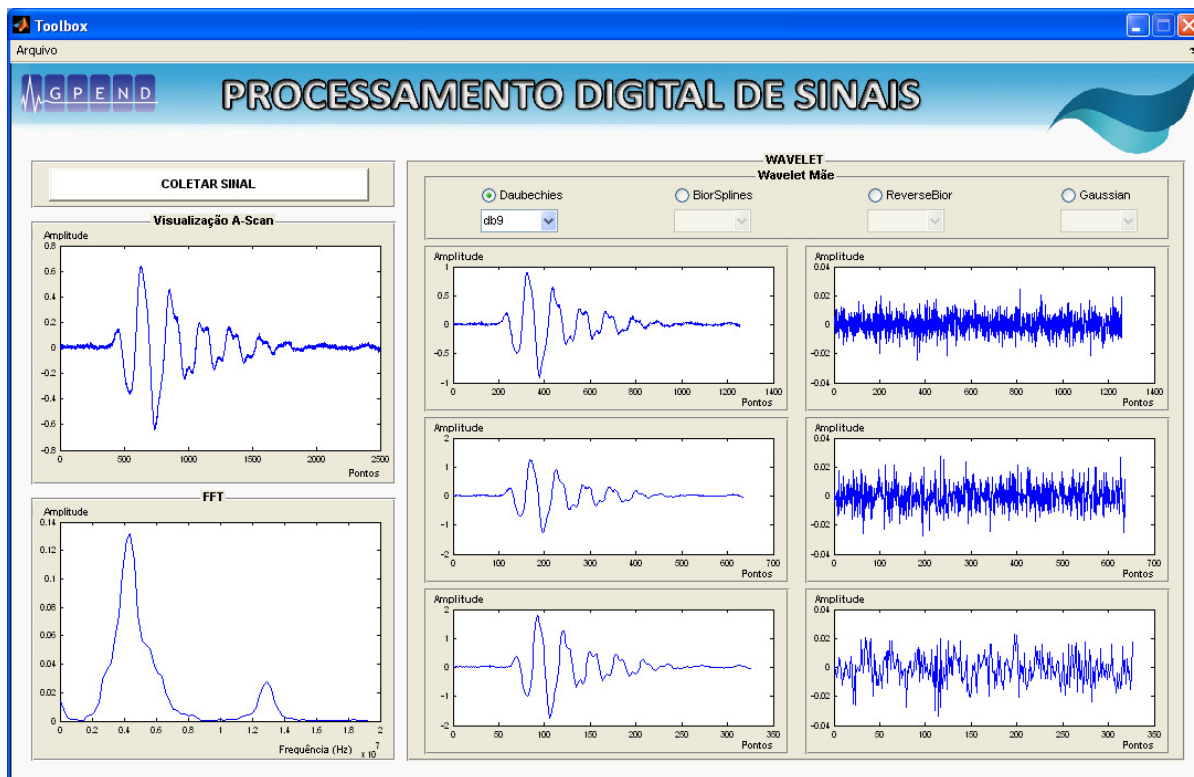


Figura 6 – Interface de Processamento Digital de Sinais

4.1.4. Armazenamento de Sinais

Para realização de ensaios, manuais ou automatizados, a interface de armazenamento de sinais, mostrada na Fig. 7, pode ser utilizada frequentemente. O objetivo principal desta tela é possibilitar a o armazenamento temporizado e sequencial de sinais.

Inicialmente, deve ser definido o endereço onde será salvo o sinal adquirido. Caso o usuário selecione a opção “contar automaticamente”, o programa incrementará de forma automática o nome do arquivo, a partir do clique no botão “salvar sinal”. É possível ainda, marcando a opção “temporizador”, definir intervalo de tempo em segundos para que o programa colete sinais iterativamente, salvando-os em modo sequencial, até que a opção não esteja selecionada.

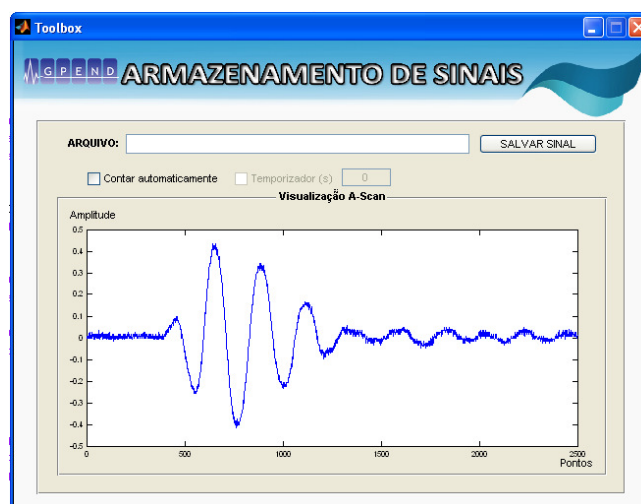


Figura 7 – Interface de Armazenamento de Sinais

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interface desenvolvida apresentou facilidade de uso e aparência adequados aos fins propostos, permitindo ao usuário acessar rapidamente rotinas implementadas para: configuração do sistema; processamento digital de sinais através da aplicação da FFT e decomposição wavelet em três estágios; e aquisição sequencial e temporizada de sinais ultrassônicos.

Como trabalhos futuros, serão desenvolvidas versões mais elaboradas, incluindo ferramentas de aplicação de janelamento, Transformada Wavelet Contínua e controle de sistemas de inspeção automatizada.

AGRADECIMENTOS

Ao IFBA, pela infraestrutura; ao GPEND, pelo auxílio técnico.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, A. A., SUITA, R. C. S. B., SILVA, I. C., REBELLO, J. M. A., **Desenvolvimento de um sistema automatizado para inspeção ultra-sônica em casco de navio**. In: Cobenge, 2001;

CHEN, C. H., **Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization**. World Scientific Publishing Company, 1 edition, 2007;

CHEN, J., SHI, Y., SHI, S., **Noise analysis of digital ultrasonic nondestructive evaluation system**. International Journal of Pressure Vessels and Piping, n. 76, p. 619-630, 1999;

DINIZ, P., SILVA, E. A. B., NETTO, S. L., **Processamento digital de sinais: projeto e análise de sistemas**, Bookman, Porto Alegre RS, 2004;

HELLIER, C. **Handbook of Nondestructive Evaluation**. McGraw-Hill Professional, 2001. 603 p.;

KRÜGER, S. E., **Análise Espectral de Ecos e Sinal Retroespalhado Ultra-sônicos Aplicada a Detecção de Danos por Hidrogênio em Aço**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996;

KUNDU, T., **Ultrasonic Nondestructive Evaluation: Engineering and Biological Material Characterization**, CRC Press, 2004;

MADISETTI, V. K., WILLIAMS, D. B., **Digital Signal Processing Handbook**, CRC Press, 1999;

MALLAT, S., **A Wavelet Tour of Signal Processing**. 2ª Edição, Elsevier, San Diego-USA, 1999;

MathWorks, **Signal Processing Toolbox for Use with Matlab®**. User's Guide, Version 5, 2001;

MISITI, M., MISITI, Y., OPPENHEIM, G., POGGI, J., **Wavelet Toolbox for Use with MATLAB®**. User's Guide, version 2, The MathWorks, 2002;

PAGODINAS, D., **Ultrasonic Signal Processing Methods for Detection of Defects in Composite Materials**, Ultragarsas, n. 4, p. 47-54, 2002;

PEREZ, G. B., **Detecção de micro-danos induzidos por hidrogênio através da análise espectral ultra-sônica**. 1998. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1998;

RIBEIRO, I. S., PINHEIRO, A. U. P., FARIAS, C. T. T., SANTOS, E. T. F., OLIVEIRA, M. A., SILVA, P. E. A., OLIVEIRA, R. B., **Sistema Automatizado de Medição de Espessura por Ultrassom**. In: 10ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 9 p., maio, 2009, Salvador-BA;

RIBEIRO, I. S., RODRIGUES, M. C., PINHEIRO, A. U. P., **Desenvolvimento de Interface Gráfica para o Modelo de Monitoramento da Integridade Estrutural de Hastes de Bombeio (BCP) para Poços de Petróleo Onshore**. In: XVII Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos, 2008, 10 p., junho, São Paulo-SP.