

Taubaté, 14/02/14 a 23/09/14

TTEM 001/14

APLICAÇÃO DO ENSAIO DE ULTRASSOM NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

APPLICATION OF ULTRASONIC NONDESTRUCTIVE TESTING IN THE AERONAUTICAL INDUSTRY

Signatários:

- Ms. Angelo José Castro Alves Ferreira Filho¹
- Prof. Dr. José Rubens de Camargo – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Francisco José Grandinetti – Universidade de Taubaté/FEG-UNESP
- Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Evandro Luís Nohara – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Wendell de Queiróz Lamas – EEL-USP

Finalidade: Aplicar a técnica por ultrassom na avaliação do material de disco de freios de aeronaves

Duração: 7 meses

1 - Engenheiro de Desenvolvimento do Produto da Embraer, Mestre em Engenharia de Produção pela UNESP, Engenheiro de Produção Mecânica pela UERJ, e aluno do curso de Especialização a nível de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica da Universidade de Taubaté (UNITAU/SP).

Palavras chave: Engenharia Mecânica, Ensaio, Ultrassom, Disco de Freio, Aeronáutica.

1. INTRODUÇÃO

Pela natureza de seu produto final, a aplicação da inovação tecnológica é bastante relevante dentro da indústria aeronáutica, uma vez que atualmente uma aeronave da categoria transporte, por exemplo, apresenta um elevado grau de integração de seus sistemas.

Assim, os desafios para a manutenção da segurança de voo, assim como o de se manter uma operação segura de uma aeronave exige um grande rigor nos processos produtivos, e de manutenção de uma aeronave. Por esta razão, uma das principais técnicas de ensaios não-destrutivos, o ultrassom é também amplamente utilizada neste segmento.

O presente artigo pretende apresentar alguns exemplos de aplicação desta técnica de ultrassom na indústria aeronáutica, e mostrar os resultados obtidos com a mesma em diferentes aplicações na indústria aeronáutica.

2. O ENSAIO POR ULTRASSOM: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

2.1. Introdução

Para Andreucci (2011), o ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo, a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos ou não ferrosos.

Tais defeitos são caracterizados pelo próprio processo de fabricação da peça ou componentes a ser examinado como, por exemplo: bolhas de gás em fundidos, dupla laminação em laminados, micro trincas em forjados, escórias em uniões soldadas e muitos outros (Cruz, Melo e Resende, 2011).

Ainda de acordo com a definição da própria ABENDI (2013), o ensaio de ultrassom caracteriza-se pela reflexão de ondas acústicas quando encontram obstáculos à sua propagação, dentro do material. Estes obstáculos são interpretados como sendo possíveis descontinuidades na peça avaliada.

Neste caso, é gerado um pulso ultrasônico transmitido através de um transdutor especial, encostado ou acoplado ao material. O resultado é mostrado em um monitor de LCD.

O sinal de ultrassom é composto de ondas sonoras com frequência acima de 20 kHz geradas por um aparelho eletrônico. No ensaio as ondas se propagam em um meio elástico em direção à peça a ser ensaiada e, se for encontrado algum tipo de descontinuidade, é gerado um eco de reflexo na tela do aparelho de ultrassom, caracterizando uma peça não conforme (DUARTE, M. A., 1999).

Com relação as técnicas de inspeção por ultrassom, podem- ser citadas: a de pulso-eco , a de transparência, e a técnica por imersão.

A Figura 1 abaixo apresenta um esquemático de como é feito o ensaio de ultrassom por meio de um transdutor, em uma determinada peça, e o resultado do ensaio apresentado em um monitor, onde é possível verificar o pulso inicial, e o eco de retorno assim como o eco da descontinuidade detectada na peça.

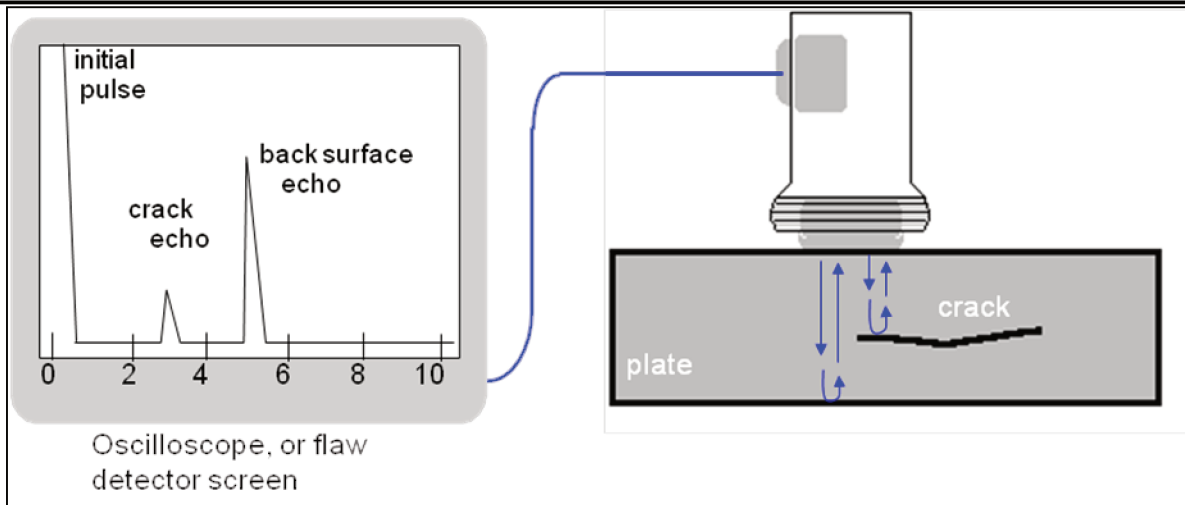


Figura 1 – Esquemático do Ensaio de Ultrassom. **Fonte:** National Science Foundation (2013)

Com relação a instrumentação utilizada no ensaio de ultrassom, praticamente são empregados transdutores (normal ou reto, angular, e duplo-cristal) além de um acoplante e de um receptor de sinal.

2.2 . Vantagens em relação a outros ensaios

O método ultra-sônico possui alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas discontinuidades internas, por exemplo:

- Trincas devido a tratamento térmico, fissuras e outros de difícil detecção por ensaio de radiações penetrantes (radiografia ou gama grafia).
- Para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários, agilizando a inspeção.
- No caso de radiografia ou gama grafia, existe a necessidade do processo de revelação do filme, que via de regra demanda tempo do informe de resultados.
- Ao contrário dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio ultra-sônico não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação.
- A localização, avaliação do tamanho e interpretação das discontinuidades encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultra-sônico.

2.3. Limitações em relação a outros ensaios

Algumas limitações podem ser citadas para o ensaio de ultrassom quando comparado com outros ensaios:

- Requer grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor
- O registro permanente do teste não é facilmente obtido
- Faixas de espessuras muito finas constituem uma dificuldade para aplicação do método.
- Requer o preparo da superfície para sua aplicação. Em alguns casos de inspeção de solda, existe a necessidade da remoção total do reforço da solda

3. APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

3.1. Aplicação de ultrassom na avaliação do material de disco de freios de aeronaves

Esta aplicação apresenta o estudo realizado por Chu, Filip e Poudel (2012) na avaliação do material de disco de freios de aeronaves por meio da técnica do ultrassom.

No trabalho desenvolvido por Chu, Filip e Poudel (2012), foi aplicada a técnica da transparência, onde dois transdutores (1 emissor e 1 receptor) foram utilizados para avaliar o material de freios de uma aeronave.

O principal objetivo deste trabalho foi o de identificar, e caracterizar descontinuidades como delaminações, trincas, porosidades, e deformações em discos de freios de aeronaves comerciais de compósitos Carbono/Carbono (C/C).

Ainda de acordo com Chu, Filip e Poudel (2012), os compósitos C/C consistem de fibras de carbono embutidas em um determinado tipo de matriz de carbono que são materiais que possuem excelentes propriedades térmicas e físicas que incluem, mas não são limitadas a baixa densidade, baixo coeficiente de expansão térmica, capacidade específica elevada de aquecimento, e elevada resistência em altas temperaturas (Savage, 1993 *apud* Fitzer, 1985).

Os compósitos C/C são menos propensos a fadiga e corrosão, o que eleva o tempo de vida em serviço para os componentes produzidos por compósitos C/C (Chu, Filip e Poudel, 2012). Por estas razões entre outras, os compósitos C/C estão sendo amplamente empregados como materiais de atrito superior ou elevado em aplicações de carros de corrida e de freios de aeronaves. No caso, um exemplo de aplicação em aeronaves, é no sistema de freios do Boeing 767, onde este compósito é empregado nos rotores e estatores dos transdutores do sistema de freios.

3.2. Material utilizado no ensaio

No estudo conduzido por Chu, Filip e Poudel (2012), diversas amostras de C/C foram utilizadas na pesquisa, entretanto dois tipos de compósitos C/C foram utilizados: o primeiro tipo consiste de um material não tratado por aquecimento, CVI infiltrado 3D Ex-PAN, com densidade de 1.5 g/cm^3 . Para estas amostras alguns furos foram feitos nas amostras (de aproximadamente 12,7 mm) de forma a permitir a avaliação de capacidade de detecção de falhas do equipamento.

O segundo tipo de material constituído de dois discos de freios comerciais C/C 2D tratados com aquecimento, onde foram preparados com fibras de carbono infiltradas na resina fenólica. Estes discos de freios não possuíam defeitos visíveis, entretanto também foram feitos furos nas amostras (de aproximadamente 12.7 mm) em cada disco de freio como propósito de indicação para a avaliação do ultrassom.

3.3. Set up do ensaio

O ensaio realizado por Chu, Filip e Poudel (2012), foi feito em bancada conforme mostra a Figura 2 abaixo, onde é possível visualizar a disposição dos transdutores e do corpo de prova (disco de freio).

Conforme já mencionado, para este ensaio de inspeção do disco de freio de uma aeronave comercial de compósito C/C foi utilizado o método da transparência, entretanto como acoplante foi utilizado o ar, o que elimina o contato direto do transdutor com o corpo de prova. Este método também denominado *Air-coupled ultrasonic testing (ACUT)* tem demonstrado ser um método mais eficiente e com menor custo para se determinar e caracterizar defeitos em compósitos C/C (Chu, Filip e Poudel, 2012).

De acordo com o ensaio realizado por Chu, Filip e Poudel (2012) diversos testes foram realizados usando transdutores com frequência entre 50, 120, 125, 225, 400, and 436 kHz através de um modo de transmissão com variação de incremento e resolução. Foi determinada que a frequência de 125 kHz apresentou os melhores resultados para o disco de freio de uma aeronave comercial de compósito C/C. Uma outra informação deste experimento foi de que a queda relativa de de sinal do ultrassom foi em torno de -18 Db o que permitiu uma fácil distinção das regiões anormais nos discos de freios de compósito C/C (Chu, Filip e Poudel, 2012).

A distância entre o transdutor emissor e o disco de freio foi de 30 mm, já a distância entre o transdutor receptor e o disco de freio foi de 20 mm. A razão para esta diferença se deve ao fato de que para a frequência de 125 K Hz usada neste ensaio, existe um range com foco natural (tipicamente 25mm -50mm), e no caso, ao se colocar o receptor em uma distância de 20 mm, isto ajuda a obter um melhor sinal para a taxa de ruído e resolução (Chu, Filip e Poudel, 2012).

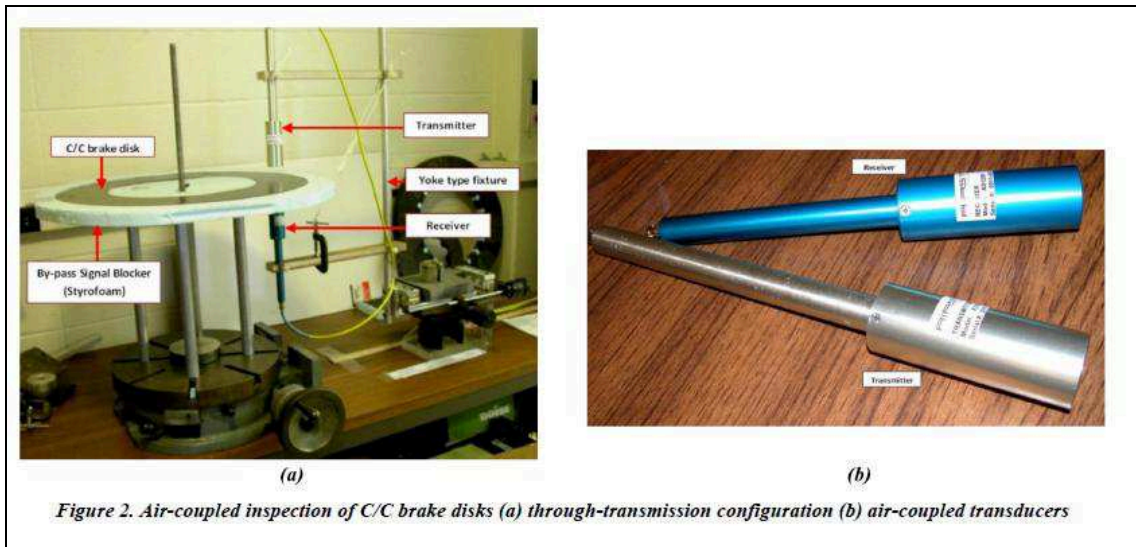


Figura 2 – Set up do ensaio. Fonte: Chu, Filip e Poudel , 2012.



Figura 3 – Amostra de Disco de Freios de uma aeronave comercial de compósito C/C. Fonte: Chu, Filip e Poudel , 2012.

Os resultados obtidos no estudo, podem ser vistos nas Figuras 4, 5, e 6 abaixo, onde através da técnica de ultrassom ACUT utilizada, foi possível detectar as discontinuidades do disco de freio nos dois conjuntos de corpos de prova, e com uma inspeção visual foi possível verificar e confirmar a existência de delaminações, trincas e microtrincas no segundo tipo de material utilizado no ensaio, devido ao atrito nas superfícies, o que geralmente ocorrem nos primeiros estágios do processo de manufatura do disco de freio de compósito C/C (Chu, Filip e Poudel , 2012).

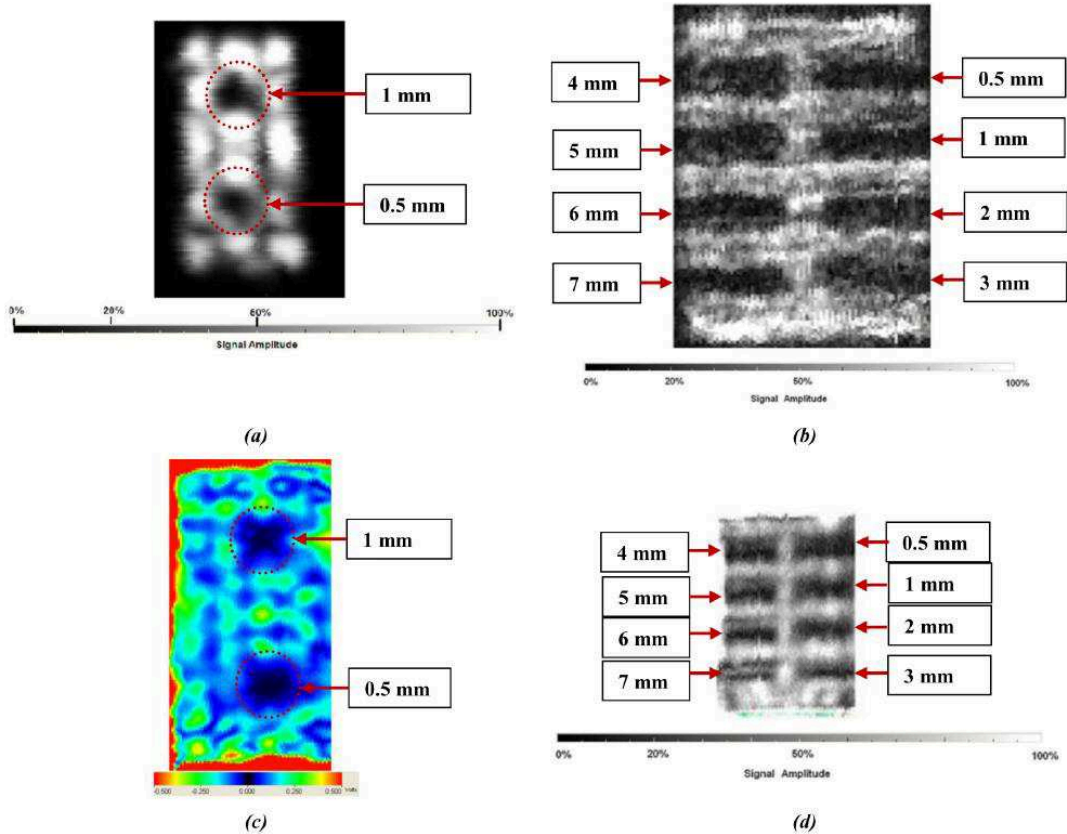


Figure 5. Air-coupled UT C-scan results of CAFS 3D C/C samples (a) 12.7 mm diameter flat bottom hole sample at 125 kHz (b) 12.7 mm diameter side drilled flat bottom hole sample at 125 kHz (c) 12.7 mm diameter flat bottom hole sample at 225 kHz (d) 12.7 mm diameter side drilled flat bottom hole sample at 436 kHz.

Figura 4 – Resultados das imagens do ensaio de ultrassom do primeiro tipo de material analisado do disco de freio de uma aeronave comercial de compósito C/C.
Fonte: Chu, Filip e Poudel , 2012.

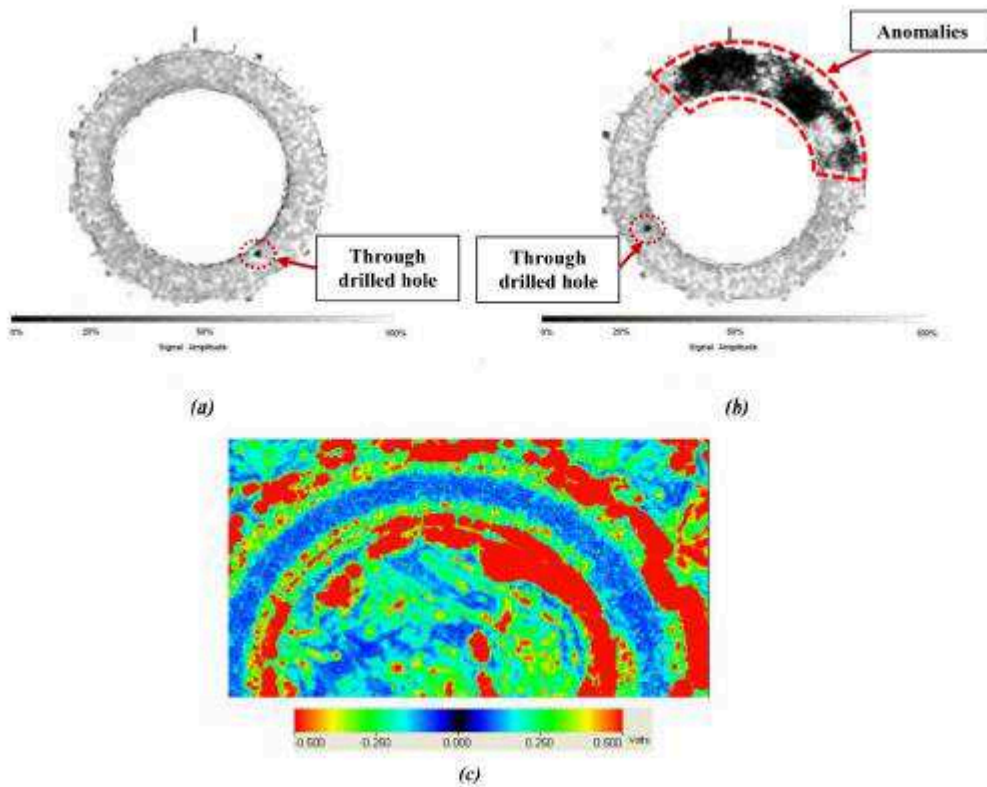


Figure 6. Air-coupled UT C-scan results of commercial C/C composite aircraft brake disks (a) without anomalies at 125 kHz; (b) disks with anomalies at 125 kHz; (c) without anomalies at 225 kHz

Figura 5 – Resultados das imagens do ensaio de ultrassom do segundo tipo de material analisado do disco de freio de uma aeronave comercial de compósito C/C.
Fonte: Chu, Filip e Poudel , 2012.

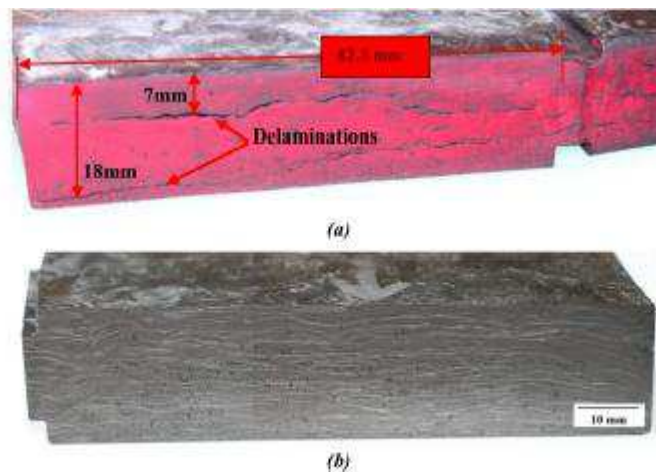


Figure 7. Visual inspection for sample B: (a) total defect region with no through-transmitted ultrasonic signals (b) non-defect regions.

Figura 6 – Resultados das imagens da inspeção visual feita no segundo tipo de material analisado do disco de freio de uma aeronave comercial de compósito C/C.
Fonte: Chu, Filip e Poudel , 2012.

Como resultado dos estudos conduzidos por Chu, Filip e Poudel (2012) foi possível demonstrar que o método ACUT pode ser confiável e eficiente para se determinar os defeitos nos freios de discos de compósitos C/C.

Esta técnica pode também ser utilizada para estudo das propriedades mecânicas e defeitos como delaminações, porosidades, e orientações das fibras nos discos de freios de aeronaves comerciais de compósitos C/C (Chu, Filip e Poudel , 2012).

3.2. Aplicação de ultrassom na avaliação do processo de fabricação de material composto para estruturas aeroespaciais

Esta segunda aplicação apresenta a aplicação da técnica de ultrassom para avaliação do processo de fabricação de material composto para estruturas aeroespaciais apresentada por Bonifácio *et al.* (2008).

O controle de qualidade no processo de fabricação de painéis sanduíches (ver Figura 7) na indústria aeroespacial requer o uso de ensaios não destrutivos para verificar a existência de falhas nas superfícies das peças. Estas falhas podem ser causadas por deformação nas colméia ou ainda pela falta de material adesivo, resultando em um contato defeituoso entre a colmeia e a face da lâmina. Durante o tempo de vida da aeronave, estas falhas no painel sanduíche podem se propagar devido a fadiga do material, e conduzir a danos maiores. BONIFÁCIO *et al.* (2008)

Como a existência de algumas falhas é inevitável, existe um comprimento máximo que elas podem ser reparadas.

Assim, a informação referente ao tamanho da trinca ou da falha do material é um parâmetro importante para se tomar decisões no processo de produção destes painéis sanduíches. Ao longo dos anos, as exigências no controle de qualidade aumentaram, devido ao rigor e as restrições solicitadas neste processo. BONIFÁCIO *et al.* (2008)

Desta maneira, o uso da técnica do ultrassom é considerado o estado da arte para aplicação neste contexto, apesar do elevado custo, esta técnica possui vantagens que já foram mencionadas no início do artigo.

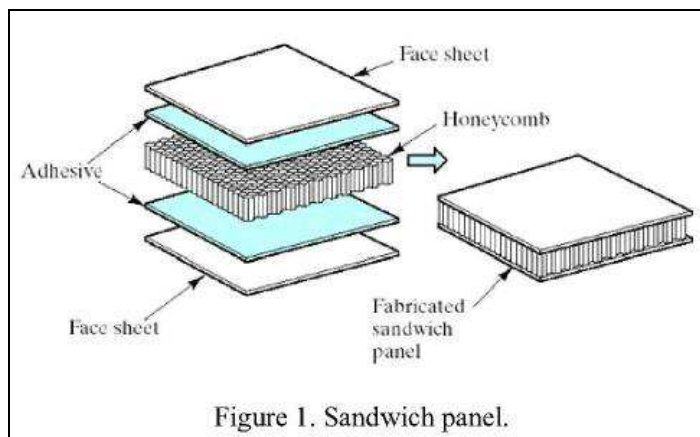


Figura 7 – Painel de sanduíche de material composto. **Fonte:** BONIFÁCIO *et al.* (2008).

Um exemplo de fluxograma genérico de inspeção de peças na indústria aeronáutica é apresentado na Figura 8.

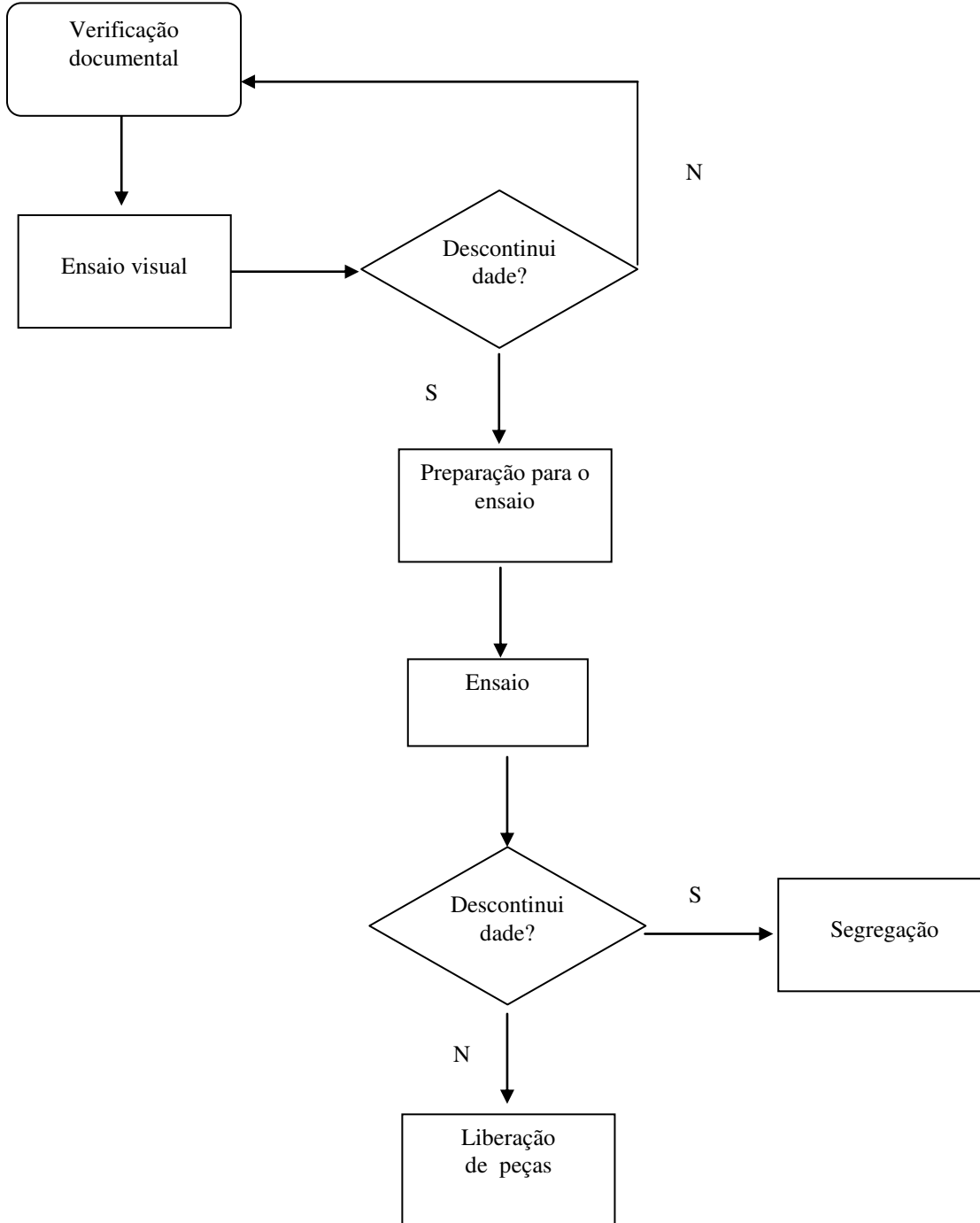


Figura 8 – Exemplo de Fluxograma genérico para procedimento de ensaio de ultrassom em peças na indústria aeronáutica.

Com base neste fluxograma, é possível perceber que este processo de inspeção por ultrassom em peças aeroespaciais requer treinamento de pessoal, e conhecimento da técnica utilizada.

Outro ponto importante é com relação à parte de documentação exigida pelo processo, que também deve ter certa rastreabilidade de forma a assegurar os registros dos resultados destes ensaios, e também do processo de controle de qualidade em si.

Como conclusão desta segunda aplicação, pode-se mencionar que a aplicação da técnica do ultrassom na análise de material composto em estrutura aeroespacial poderá indicar se uma determinada descontinuidade representa ou não uma falha, ou ainda indicar as variações dos parâmetros (sensibilidade), além da habilidade em indicar o tamanho da amostra, a simplicidade *do set-up* experimental, e a preservação da estrutura durante o ensaio.

5. CONCLUSÃO

Com base nas duas aplicações do ultrassom na indústria aeronáutica pode-se concluir que esta técnica apresenta resultados confiáveis, e precisos, e que a utilização da mesma na indústria aeroespacial só vem a contribuir com a segurança de voo, e com a sua aeronavegabilidade continuada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andreucci, R. **Ensaio não destrutivo por ultrassom**. Ed. Jan/2011.
2. Anish, P., .Chu, T., Filip, P. **Application of Ultrasonic Non-Destructive Evaluation in Braking Materials**, SAE International, 2012-01-1809 USA, September, 2012.
3. Bonifácio, P.R.O. Gomes, M.H.A., Dias, F.M.C., Giuliani, C.M., Gomes, J.I. **Development of a vibroacoustic system for non-destructive test in aerospace structures**. SAE TECHNICAL PAPER SERIES 2008-36-0557, São Paulo, SP, 2008.
4. Cruz, J.G.S., Melo, J.C., Rezende, E.J.O. **Ensaio não destrutivo por ultrassom**. XV INIC / XI EPG - UNIVAP 2011, São José dos Campos, SP.
5. Duarte, M. A., Machado, J. C. , Pereira, W. C. A. **Método para classificação de ecos reais e de reverberação em meios homogêneos multicamadas**. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, Vol. 15, No 3; pp159-174, 1999.
6. Fitzer, E. **Carbon Fibres and Their composites**, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
7. Savage, G., **Carbon-Carbon Composites**, Chapman & Hall, London, 1993.
8. Material da ABENDI, 2013.
9. Material da National Science Foundation (NSF), **Introduction to Nondestructive Testing**, USA, 2013.