

# USO DE UM TUBO DE CHOQUE DIDÁTICO EM AULAS PRÁTICAS DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Leonardo Moreira Leódido** – leo1@pop.com.br

**Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz** – adiniz@unb.br

**João Nildo de Souza Vianna** – vianna@unb.br

Universidade de Brasília – UnB – Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus Universitário Darcy Ribeiro – Faculdade de Tecnologia – Bloco F  
70.910-900 – Brasília – DF – Brasil.

**Resumo:** *O tubo de choque é um dispositivo usado em diversas áreas da engenharia, com aplicações na indústria aeronáutica, no estudo da combustão, da cinética química, no impacto de explosões, na compreensão de abalos sísmicos, na calibração dinâmica de sensores, entre outras. Mesmo com todas estas aplicações este dispositivo é pouco conhecido pelos estudantes de engenharia e pouco estudado nos cursos de graduação brasileiro. Com base nesta discordância este trabalho mostra o desenvolvimento de um tubo de choque com características didáticas que possa ser usado na divulgação dos trabalhos desenvolvidos usando o tubo de choque e na demonstração de suas aplicações, nas salas de aula, em congressos, feiras e outros eventos.*

*As características didáticas do tubo de choque desenvolvido são a facilidade de transporte, sistema de pressurização próprio, rápida visualização de fenômenos e curto intervalo de tempo entre um ensaio e outro. A visualização dos fenômenos é feita através do uso de um analisador de sinais conectado a bancada.*

*As dimensões do tubo de choque didático foram determinadas através da análise teórica numérica e experimental. Os tipos de ensaio e os roteiros para o experimento foram definidos com base nos fenômenos que ocorrem no interior do tubo de choque e como estes podem ser utilizados na engenharia.*

**Palavras-Chave:** Tubo de choque; Dispositivos didáticos; Metrologia dinâmica. Mecânica dos fluidos

## 1. INTRODUÇÃO

Apresenta-se nesse trabalho o desenvolvimento de um Tubo de Choque para fins didáticos. Os tubos de choque possui grande aplicação na Engenharia Mecânica e em diversas outras áreas do conhecimento, pois é um dispositivo que permite estudar diversos fenômenos corriqueiros na vida do engenheiro, além de possuir grande aplicação na metrologia dinâmica, servindo a calibração de sensores. Entretanto esse dispositivo é pouco estudado nos cursos de graduação em engenharia. Baseado nesta dicotomia o objetivo central deste trabalho é apresentar o desenvolvimento e as características didáticas um tubo de choque que foi desenvolvido para auxiliar o ensino da metrologia dinâmica, na formação de recursos humanos qualifica-

dos e demonstrar, em exposições, feira ou congressos, os fenômenos que ocorrem no seu interior e como estes podem ser aplicados.

Os tubos existentes no Laboratório de Metrologia Dinâmica da Universidade de Brasília – LMD - UnB possuem grandes dimensões e dependem de uma linha de pressurização externa para funcionarem, ficando o seu uso restrito ao laboratório de metrologia dinâmica. O tubo de choque didático possui, dimensões reduzidas, facilidade de montagem e demonstração, possibilidade de realização de vários ensaios, curto intervalo de tempo entre os ensaios, com boa qualidade dos sinais gerados e rápida visualização dos fenômenos. Essas características permitem que este dispositivo seja integrado ao dia-a-dia das salas de aulas, ou seja possibilitando a apresentação deste instrumento, de forma a contribuir com formação de engenharia.

As equações de Navier-Stokes são a base matemática usada para descrever os fenômenos que ocorrem no interior do tubo de choque, pois destas equações chega-se as equações de Euler, que foram resolvidas analiticamente, por Rabine-Hugoniot, para uma onda de choque normal e unidimensional, que determinam os aspectos particulares e localizados dos processos aero-termodinâmicos, que ocorrem no interior do tubo de choque, ou seja calculam as propriedades termodinâmicas nas diversas regiões formadas pela passagem da onda de choque, a saber: a velocidade do choque e os tempos característicos do tubo de choque.

Para definir as características geométricas, do tubo de choque, foi construída uma bancada com três protótipos feitos de PVC, com relações de comprimentos diferentes. Estes tubos foram testados com diferentes relações de pressão e os resultados foram comparados com os teóricos e numéricos. Com os resultados analíticos, numéricos e experimentais as características geométricas foram determinadas com base no protótipo que melhor identificasse os fenômenos que ocorrem no interior do tubo de choque.

Foi construída uma bancada que comporta o tubo de choque didático, os sistemas de controle e pressurização. Os dispositivos foram desenvolvidos de forma a atender as características propostas. Foram realizados testes para caracterizar os ensaios que serão realizados e desenvolver roteiros para permitir o correto uso deste instrumento.

## 2. O TUBO DE CHOQUE

O tubo de choque é um dispositivo composto, basicamente, por duas câmaras separadas por um diafragma, Figura 1. Na primeira, chamada de tubo indutor, há um gás em repouso à alta pressão e na segunda, chamada de tubo induzido, há um gás com a pressão mais baixa que o primeiro. A membrana é a responsável pela manutenção da diferença de pressão inicial e com seu rompimento é formada uma onda de choque que se desloca dentro do tubo induzido e todos os processos têm início.

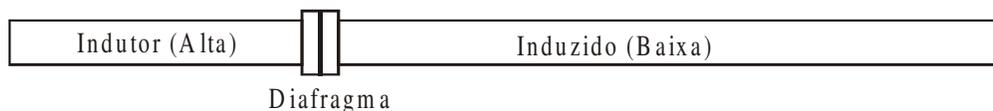


Figura 1. Tubo de choque

Devido as suas características e aos processos que ocorrem no seu interior, o tubo de choque pode ser usado em diversas áreas da engenharia como, na mecânica dos fluídos, cinética química, combustão, no estudo de sistemas explosivos e na metrologia dinâmica.

### 2.1 Teoria do tubo de choque

O tubo de choque é um dispositivo usado para o estudo de escoamento compressíveis, capaz de gerar uma onda choque com padrões bem definidos. Os processos desenvolvidos no

interior de um tubo de choque se iniciam com a ruptura da membrana que separa o tubo indutor do induzido. A Figura 2 ilustra os processos dentro do tubo choque, através de um diagrama do tempo pela posição ao longo do tubo.

As condições iniciais do tubo são representadas pelas regiões 1 e 4, onde se tem um fluido pressurizado, mas em repouso. Com a ruptura da membrana, uma onda de pressão se propaga em direção ao fundo do tubo induzido com velocidade supersônica. No mesmo instante uma onda de expansão, com velocidade do som, se propaga em direção ao fundo do tubo indutor e depois desta, várias outras com velocidades subsônicas, formando um leque de expansão, denominado região 3. A medida que a onda de choque se desloca na massa de ar, surge atrás dela um escoamento subsônico, denominado região 2.

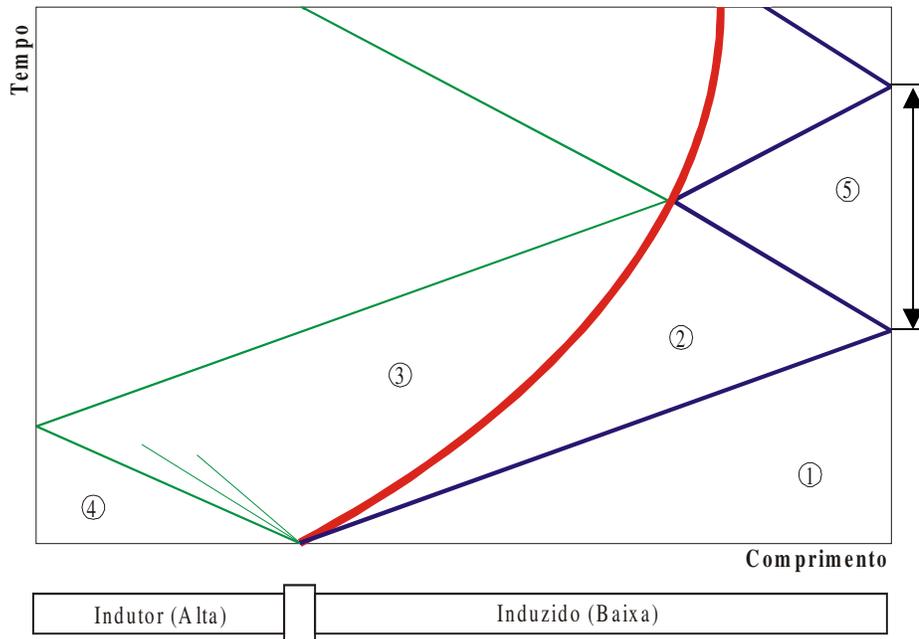


Figura 2. Diagrama dos processos no tubo de choque

A pressão inicial  $P_4$ , do tubo indutor decresce suavemente até o nível  $P_3$ , que é igual a pressão  $P_2$ . Os gases das regiões 2 e 3 não se misturam, pois como acontece com a pressão, as velocidades são iguais, com isso verifica-se que entre 2 e 3 existe uma descontinuidade termodinâmica e de densidade do fluido, por onde não há fluxo de massa, ou seja, fundamentalmente uma superfície de separação ou de contato. A superfície de contato desloca-se com a mesma velocidade do escoamento.

A onda de choque reflete-se no fundo do tubo induzido e retorna em direção a superfície de contato, que devido as suas características, reflete a onda novamente, criando a região 5, onde pode-se medir um tempo característico do tubo de choque, pois é nessa região que acontece o degrau de pressão com maior duração. Apesar da superfície de contato ser considerada sólida, parte da onda passa pela superfície, mas esta parcela não refletida é desprezível. A posição onde a onda de choque encontra-se com a superfície de contato depende basicamente da geometria do tubo. Outra característica importante do tubo de choque é a formação de um degrau de velocidade e temperatura da região 1 para a 2.

Fazendo uma análise teórica do sinal medido em diferentes posições do tubo de choque, com um sensor de pressão piezoelétrico tem-se as Figuras 3a, 3b e 3c, que permitem uma melhor compreensão dos fenômenos. A linha traço ponto mostra o lugar onde foi fixado o sensor de pressão.

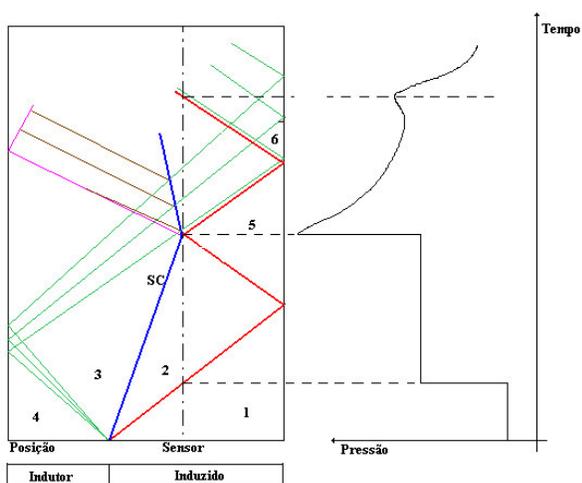


Figura 3a - Sensor no ponto de encontro entre a superfície de contato e a onda de choque.

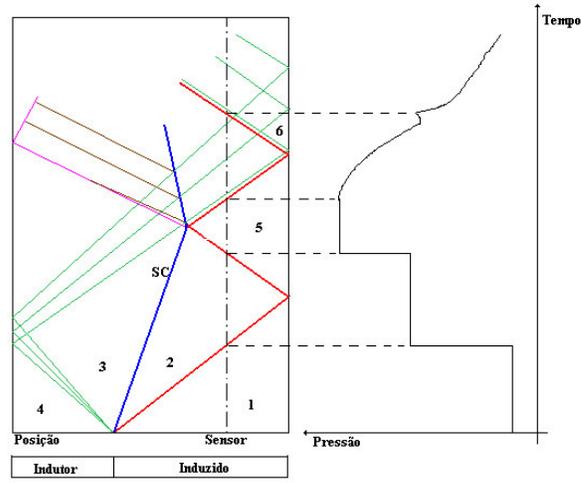


Figura 3b - Sensor localizado entre o fundo do ponto o ponto de encontro da superfície e a onda.

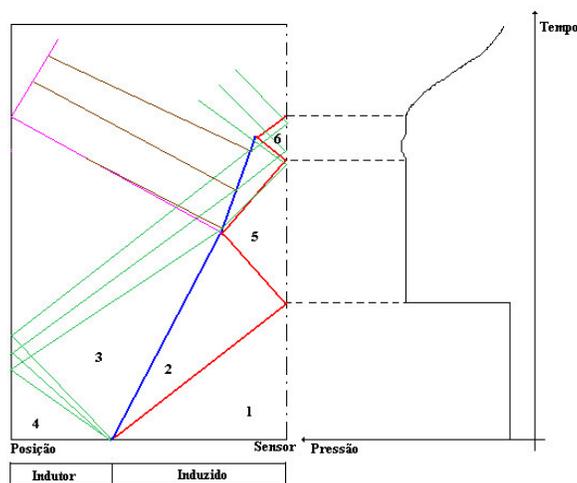


Figura 3c - Sensor no fundo do tubo induzido.

## 2.2 Aplicações do tubo de choque

O primeiro trabalho utilizando o tubo de choque na mecânica dos fluidos foi realizado em 1899 por Paul Vieille, sendo utilizado inicialmente no estudo da propagação de ondas de choque. Em 1943, pela primeira vez, este dispositivo foi utilizado como gerador de um degrau de pressão, pois a onda de choque formada no tubo, ao refletir-se no fundo do tubo induzido, gera um degrau de pressão de duração finita, permitindo que este dispositivo seja usado na calibração de sensores de pressão.

O tubo de choque, devido aos fenômenos que ocorrem no seu interior, pode ser usado em diversas áreas da engenharia, como na simulação de situações reais, validação códigos computacionais entre outras aplicações. Pode-se citar algumas aplicações como o estudo de abalos sísmicos, através da compreensão da propagação de ondas acústicas em rochas, BROWN (2000), em experimentos envolvendo a dinâmica dos fluidos onde é usado para, investigar fenômenos fundamentais da propagação de ondas de choque, na área da cinética química, o tubo de choque é usado no estudo de reações em altas pressões, no estudo da combustão em altas pressões que é aplicado na engenharia astronáutica e aeronáutica, na compreensão do processo da disseminação dos líquidos newtonianos e não-newtonianos que são expostos repentinamente a uma corrente do ar de alta velocidade e no estudo do impacto de explosões em

diversos ambientes, para estabelecer vulnerabilidade de alvos militares e civis a ataques, inclusive nucleares.

Na Universidade de Brasília o tubo de choque é utilizado como um dispositivo de calibração dinâmica, no Laboratório de Metrologia Dinâmica (LMD - UnB). Atualmente o LMD - UnB, possui dois tubos de choque, um científico construído em acrílico e o outro metrológico construído em aço.

O LMD-UnB, realizou trabalhos de caracterização e construção de tubos de choque metrológicos. Dentre estes, destacam-se trabalhos que estudam a influência do diafragma nas características metrológicas do tubo de choque VIANNA (1999), análise dos efeitos da curvatura do diafragma sobre o escoamento dentro de tubos de choque BARCELOS (1999), avaliação da influência da massa molecular na calibração dinâmica de transdutores de pressão em um tubo de choque por OLIVEIRA (2000).

### 3. CARACTERÍSTICAS DIDÁTICAS E CONSTRUTIVAS

Para atender as características propostas, em primeiro lugar definiu-se as dimensões geométricas e o material do tubo de choque didático, que são importantes, pois elas determinam a duração do degraú de pressão e a qualidade do sinal gerado. O dimensionamento dos tubos indutor e induzido é direcionado por recomendações práticas, que determinam as relações ideais entre o comprimento dos tubos e entre este e o diâmetro interno. DAMION (1993) recomenda que para a operação do tubo com relações de pressão entre 1.5:1 e 2:1 a relação ideal de comprimento é de cerca de 1.5 e a relação entre o diâmetro e comprimento do tubo induzido não deve ser maior que 40, para que os efeitos da camada limite sobre os processos que ocorrem, no tubo de choque, sejam minimizados. O valor do diâmetro foi fixado e com base nas recomendação foram construídos três protótipos, em PVC, com relações comprimento diferentes. Estes protótipos foram testados experimentalmente e os resultados comparados com a análise numérica e analítica. As dimensões do protótipo selecionado e os resultados deste são mostradas nas Tabelas 1 e 2. Com a definição das características geométricas o tubo de choque didático em construído usando um tubo de aço SAE 1026, trefilado e brunido internamente.

Tabela 1 – Dimensões do Protótipo selecionado

<b>Comprimento Indutor (mm)</b>	<b>Comprimento Induzido (mm)</b>	<b>Relação de comprimento</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Relação com o Diâmetro</b>
600	900	1.50	38	23.68

Tabela 2 – Resultados do Protótipo selecionado

<b>Relação de Pressão</b>	<b>Analítico</b>	<b>Numérico</b>	<b>Experimental</b>
1.50 : 1	3.711	3.403	3.196
1.75 : 1	3.300	3.152	3.192
2.00 : 1	2.993	3.103	3.181
2.20 : 2	2.798	2.923	3.162

Com as características físicas do tubo de choque didáticas definidas, uma bancada, Figura 4, que atendesse as necessidades propostas, foi construída. Esta foi planejada de forma que todos os itens necessários a execução do ensaio estivessem disponibilizados facilitando a operação.

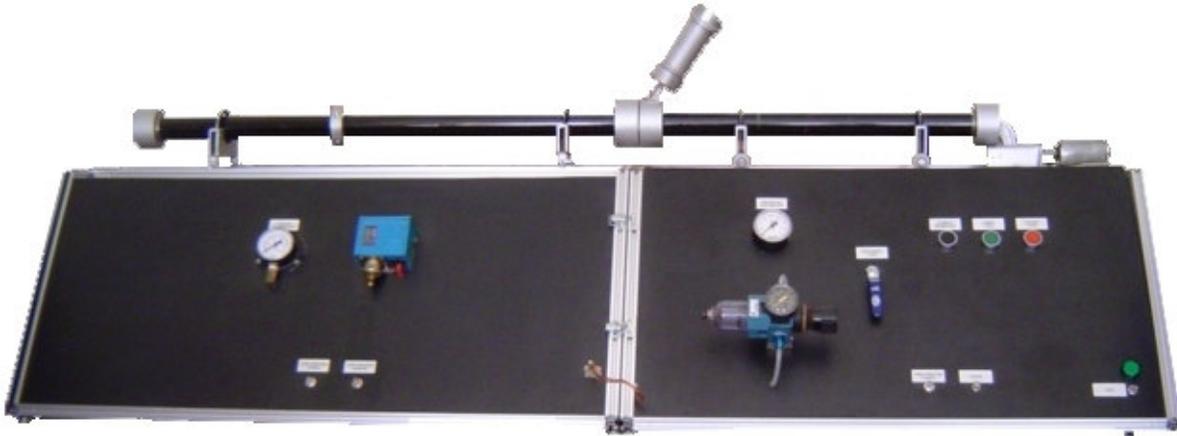


Figura 4 – Vista Frontal da bancada com o tubo de choque.

### 3.1 Transporte

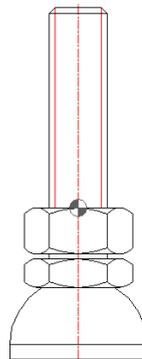
Para facilitar o transporte a bancada foi construída em dois módulos totalizando apenas 15 kg (incluindo todos os dispositivos e acessórios para realização dos ensaios) . O primeiro módulo possui o tubo induzido, o reservatório de ar o sistema de controle deste. O outro comporta o tubo indutor, o banco de compressores, o sistema elétrico e os dispositivos que controlam a abertura, o fechamento e a pressão do tubo. Esta característica construtiva da bancada permite que ela seja facilmente transportada. E que os tubos podem ser retirados da bancada facilitando o acondicionamento da bancada em embalagens, para o transporte de longa distâncias.

### 3.2 Manuseio e ajustes

Os módulos da bancada são presos através de quatro presilhas (Figura 5a) que garantem que eles não se separem durante o uso. O nivelamento entre as bancadas é feito através de pés de nivelamento (Figuras 5b e 5c) ajustáveis individualmente absorvendo as diferenças do nível da superfície onde a bancada for montada. Com estes dois dispositivos garante-se que os fenômenos que ocorrem no interior do tubo de choque não sofram interferências, pois a estrutura é mantida rígida e nivelada. Isto permite que o sinal medido pelos sensores apresente uma melhor qualidade.



(a)



(b)



(c)

Figura 5 – (a) Presilha de fixação dos módulos da bancada; (b) Desenho do pé de nivelamento; (c) Pé de nivelamento.

Além do nivelamento do bancada, outro dispositivo que garante a linearidade entre tubo indutor e induzido são guias, mostradas no círculo vermelho da Figura 6a, instaladas nos dispositivos de fixação da membrana. O nivelamento entre os tubos é feita através do suporte do tubo induzido (Figura 6b) que permite a regulagem da altura.

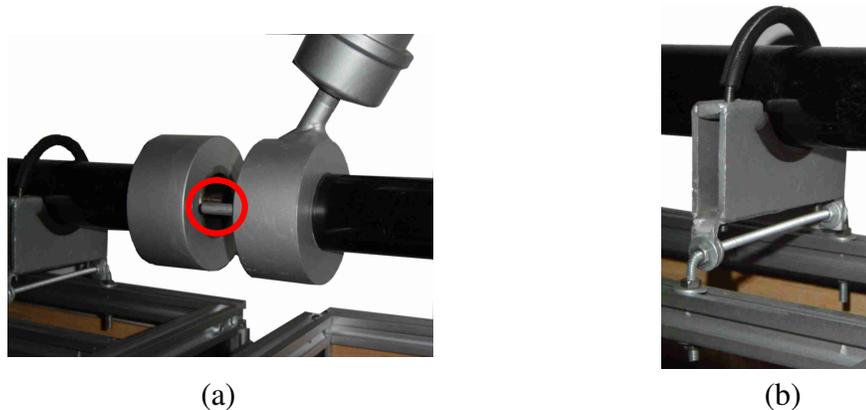


Figura 6 – (a) Guias de linearidade; (b) Suporte do tubo induzido.

Todos estes dispositivos de ajuste visam aproximar as variadas condições encontradas nos locais onde o tubo pode ser usado, as condições encontradas no laboratório. Desta forma demonstrar com clareza e qualidade os fenômenos que ocorrem no interior do tubo de choque.

### 3.3 Operação

Como o sistema de pressurização está no interior da bancada, basta ligá-la a uma tomada elétrica e o tubo estará pronto para a realização dos ensaios. Para garantir um melhor controle da pressão no tubo indutor ao banco de compressores foi ligado um reservatório. O monitoramento do ar no reservatório é feito através de um manômetro e um pressostato que liga e desliga os compressores de acordo com o nível da pressão, (Figura 7a). O sistema de controle do tubo indutor é feito através de um manômetro, calibrado com precisão de 0,01 bar, e de uma válvula reguladora de pressão, que mantém constante a pressão no tubo independente de vazamentos no sistema (Figura 7b).



Figura 7 – (a) Controle da pressão no reservatório; (b) Controle no tubo indutor.

A troca da membrana é feita manualmente, a abertura e o fechamento do tubo é feito através de um motor elétrico e um parafuso sem-fim com porca, que além do abrir e fechar o tubo para a troca da membrana, mantém a estanqueidade do tubo indutor quando está sendo pressurizado. O controle do motor é feito através de botoeira instaladas no painel (Figura 8).

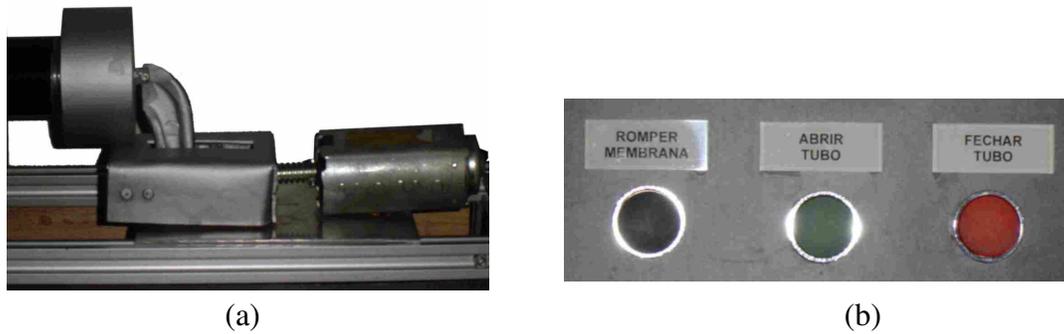


Figura 8 – (a) Conjunto motor, parafuso e porca; (b) Botoeiras de comando.

O rompimento da membrana marca o início dos processos no interior do tubo de choque, no tubo de choque didático o rompimento é feito através de uma válvula solenóide (Figura 9) que é acionada por uma botoeira, com isso esse sinal de acionamento da válvula é usado com fonte do analisador de sinal, ou seja dá o “start” o início da medição.

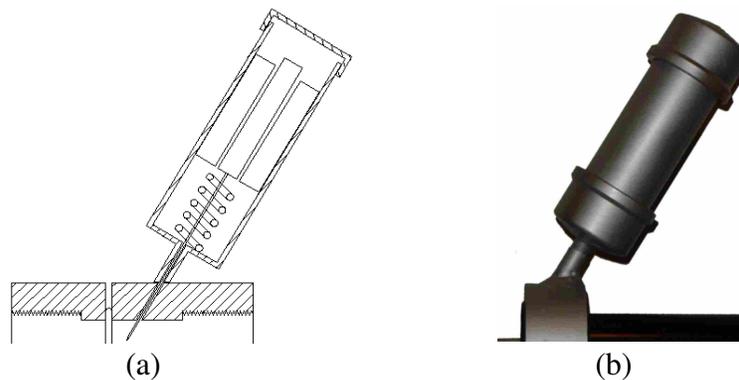


Figura 9 – (a) Desenho esquemático do conjunto válvula solenóide; (b) Válvula solenóide.

A fixação dos sensores é feita através de orifícios feitos nas peças fixadas nas extremidades do tubo. Para a fixação do sensor na parede foi desenvolvido um dispositivo (figura 10) que pode ser deslocado sobre o tubo induzido.



Figura 10 – (a) Desenho do dispositivo de fixação do sensor a parede; (b) Foto do dispositivo.

A operação do tubo de choque foi desenvolvido de forma diminuir o tempo entre um ensaio e outro, visando a realização do maior número de ensaios possíveis, para que os processos que ocorrem, no interior do tubo de choque possam ser demonstrados e compreendidos.

Todos os dispositivos descritos buscam facilitar a operação, para que a atenção seja voltada para os fenômenos, durante a realização dos ensaios.

### 3.4 Visualização dos fenômenos

A visualização dos fenômenos é feita através do uso de um analisador de sinais que é conectado ao tubo através de conectores instalados na parte frontal da bancada. Estes conectores são ligados aos sensores que são fixados nos lugares predeterminados, onde o fenômeno a ser observado é melhor captado.

Os ensaios que podem ser realizados são: degrau de pressão medido no fundo do tubo induzido, degrau de pressão medido na parede do tubo induzido, leque de expansão medido no fundo do tubo indutor e o teste de parede isobárica medido no fundo do tubo induzido através de um dispositivo de fixação do sensor especial.

Como analisador de sinais possui dois canais, sensores podem ser colocados em posições diferentes e os sinais podem ser medidos ao mesmo tempo. Com o uso de analisadores mais modernos, com maior número de canais, o tubo de choque didático permite a conexão de três sensores ao mesmo tempo.

O dispositivo de fixação do sensor a parede pode ser movido ao longo do tubo indutor desta pode-se medir o sinal em várias posições e comparar a duração dos degraus de pressão em relação a distância do ponto de encontro da superfície de contato e a onda de choque refletida, conforme mostrado no item 2 deste trabalho.

Além do degrau de pressão, outros fenômenos podem ser observados no tubo de choque, mudando-se o tipo de sensor, ou seja com um anemômetro de fio frio pode-se medir o degrau de temperatura e com um anemômetro de fio quente pode-se medir o degrau de velocidade que ocorrem entre as regiões 2 e 3.

## 4. ENSAIOS E RESULTADOS USANDO O TUBO DE CHOQUE DIDÁTICO

Todos os aspectos levados em consideração concepção do tubo de choque didático, visam demonstrar, com qualidade, todos os fenômenos. Os ensaios e os roteiros que podem ser realizados usando o tubo de choque didático, foram detalhados em LEÓDIDO (2003). Aqui apresenta-se os resultados experimentais obtidos. A Figura 11a mostra o degrau de pressão no fundo do tubo induzido, a Figura 11b mostra o degrau de pressão na parede do tubo induzido.

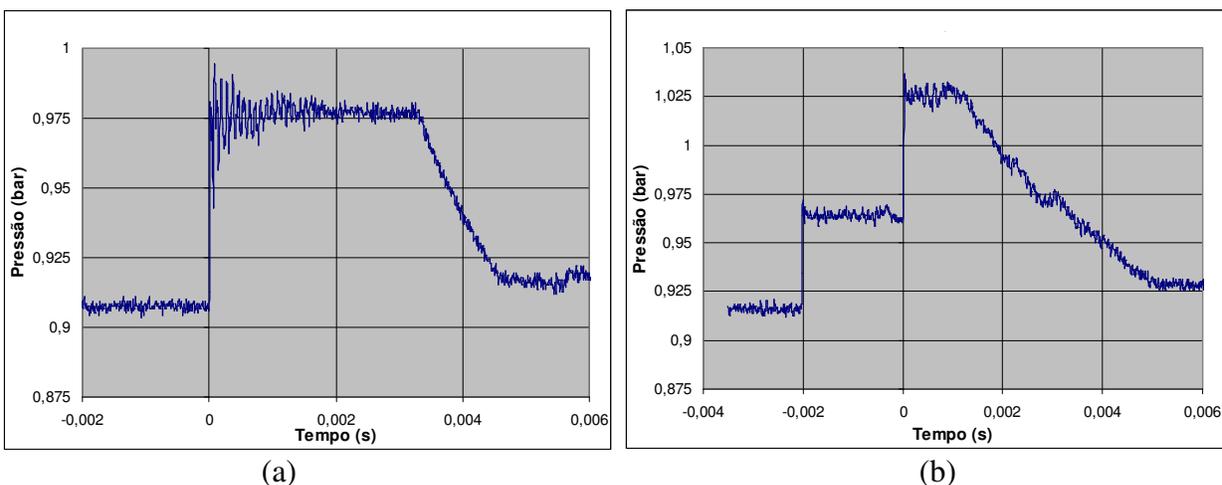


Figura 11 – (a) Degrau de pressão medido no fundo do tubo induzido; (b) Degrau de pressão medido na parede do tubo induzido

O resultado decorrente do ensaio que mede o leque de expansão que ocorre no tubo indutor é mostrado na Figura 12a, para isso o sensor é fixado no fundo deste tubo. Outro ensaio que pode ser realizado é o parede isobárica, onde o tubo induzido fica com a extremidade aberta, dessa forma a onda de choque enxerga o ar atmosférico como uma parede sendo refletida dando origem a um degrau de pressão, o resultado experimental é mostrado na Figura 12b. Uma consequência deste ensaio é que o degrau de pressão é bastante reduzido e a parte da onda de choque que não é refletida é dissipada em ondas sonoras.

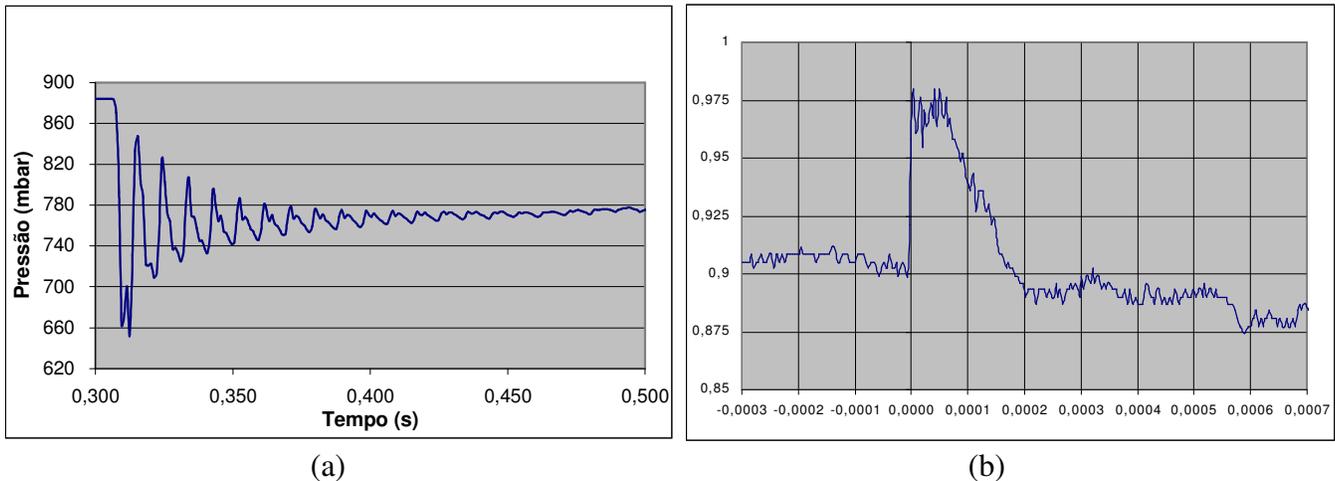


Figura 12 – (a) Leque de expansão; (b) Parede Isobárica.

## 5. O USO DIDÁTICO DO TUBO DE CHOQUE

Considerando as atuais diretrizes proposta para a educação, baseadas numa abordagem centrada no desenvolvimento de competências, habilidades e atitudes, acredita-se na necessidade de se incluir no ensino de graduação aplicações tecnológicas derivadas dos recentes avanços da pesquisa científica realizada no Brasil. Essas aplicações tecnológicas envolveriam assuntos como o estudo de propagação de ondas, o desenvolvimento de novos padrões metroológicos e os avanços na metrologia dinâmica. Nesse sentido o Tubo de Choque Didático desenvolvido tem se mostrado uma importante ferramenta.

As atividades experimentais desenvolvidas na Tubo de Choque Didático, permitem ao aluno resolver problemas, tomar decisões e trabalhar em equipe. Os experimentos realizados permitem ao aluno utilizar tecnologias e recursos adequados para o exercício profissional, assimilando e aplicando os conhecimentos adquiridos. As medições realizadas permitem desenvolver noções de ordem de grandeza na estimativa de dados e na avaliação de resultados.

Na análise dos sinais medidos no Tubo de Choque o aluno pode aplicar princípios da teoria de ondas de choque, a problemas práticos e abertos de engenharia. Desenvolvendo sua capacidade para resolver problemas concretos, promovendo abstrações e analisando casos reais das industriais de Tubos de Choque.

No Tubo de Choque desenvolvido podem ser realizados cinco diferentes experimentos: *i.*) “Geração de Degrau de pressão no fundo do tubo para fins de metrologia dinâmica”; *ii.*) “Geração de Degrau de pressão na parede do tubo para fins de metrologia dinâmica”; *iii.*) “Visualização do Leque de Expansão de ondas de choque”; *iv.*) “Visualização da parede isobárica”; *v.*) “Determinação do tempo de resposta de sensores de pressão”.

Para cada um desses experimentos foram elaborados roteiros didáticos que facilitam a realização dos experimentos e conduzem o aluno na realização de suas análises. Cada procedimento apresenta os objetivos do ensaio a ser realizado, uma breve introdução teórica (onde a

fundamentação física do problema é apresentada), a lista de equipamentos a ser utilizada, os procedimentos a serem seguidos para a realização do ensaio e as questões a serem respondidas pela análise dos resultados.

Os procedimentos experimentais a serem seguidos pelo aluno permitem que o mesmo realize toda a montagem experimental (conexão da instrumentação de medida, configuração do analisador, e preparação do tubo de choque) bem como todas as operações para a realização do ensaio, definindo os parâmetros de medição e de armazenagem dos dados coletados.

A análise dos resultados permite ao aluno o desenvolvimento de uma avaliação crítica dos mesmos e a determinação da significâncias dos resultados para a demonstração dos fenômenos estudados ou para a aplicação do Tubo de Choque em usos metrológicos.

## **6. CONCLUSÃO**

O tubo de choque desenvolvido apresenta as características didáticas desejadas: o peso total do dispositivo é de, aproximadamente, 15 Kg podendo ser facilmente transportado. A operação do tubo foi facilitada devido a todo sistema, pneumático e elétrico, estarem dentro da bancada, desta forma basta uma tomada para que o tubo possa ser usado. O sistema de acionamento elétrico do tubo facilita a operação e manutenção, pois através de botoeiras e presostato instalado no painel de operação a pressão do reservatório, a abertura e fechamento do tubo e o rompimento da membrana, podem ser acionados. O sistema pneumático permite o controle da pressão no tubo indutor, através da válvula reguladora de pressão. O uso do reservatório permite a realização dos ensaios sem acionar os compressores, evitando o superaquecimento dos mesmos. Com isso verifica-se que o objetivo foi atingido, pois o tubo de choque apresentou bons resultados, que podem ser usados para demonstrar e compreender as potencialidades e o uso do tubo de choque na engenharia.

O projeto permitiu a integração de conhecimentos na área de projeto mecânico, metrologia, propagação de ondas e instrumentação, consistindo em uma ferramenta didática e ao mesmo tempo aplicada à pesquisa e extensão.

Os procedimentos de ensaios desenvolvidos permitem ao aluno o contato com resultados recentes das pesquisas científicas realizadas no LMD-UnB e com aplicações atuais do uso do Tubo de Choque na engenharia. O Tubo de choque desenvolvido mostrou-se um instrumento didático de qualidade, aliando simplicidade com flexibilidade e contribuindo com a formação de engenheiros dentro dos novos paradigmas da educação brasileira.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Barcelos Jr, M. N. D. - Análise dos efeitos da curvatura do diafragma sobre o escoamento dentro de tubos de choque. – Dissertação de Mestrado, ENM / UnB, 1999.
- Brown, J.P. – Shock Tube Experiments for the Determination of Petrophysical Parameters – Colorado School of Mines – Colorado-EUA.
- Carvalho, M.A.M – Estudo e Aplicação Metrológica do Tubo de Choque para a Calibração Dinâmica de Sensores de Pressão – Dissertação de Mestrado, ENM / UnB, 1994.
- Damion, J.P. – Apostilas do Curso de Calibração Dinâmica de Sensores de Pressão e Temperatura – ENM / UNB, 1993.
- Diniz, A. C. G. C., NEVES, F. J. R., BARTOLI, F. P. - Caracterização e Análise de um Gerador Periódico para Calibração Dinâmica de Sensores de Pressão - In: II Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica e XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1995, Belo Horizonte. Anais do II CIDIM - XIII COBEM. ABCM, CD-ROM, 1995.
- Fritsche, E.Q. – Caracterização Metrológica do Dispositivo de Abertura Rápida – Projeto de Graduação ENM / UnB, 1999.

- Leodido, L. M. – Projeto e Construção de um Tubo de Choque Didático – Relatório do Projeto de Graduação, ENM – UnB, 2003
- Oliveira, A.B.S, BARCELOS JR, M.N.Dias. VIANNA, J.N.S. - Avaliação da influência da massa molecular na calibração dinâmica de transdutores de pressão em um tubo de choque - In: I Congresso Nacional Em Engenharia Mecânica - CONEM 2000, Natal, Anais do I Congresso Nacional Em Engenharia Mecânica - CONEM 2000, ABCM, CD-ROM, 2000.
- Vianna, J.N.S, OLIVEIRA, A.B.S, DAMION, J.P. - Influence of diaphragm on the metrological characteristics of a shock tube - International Journal of Pure and Applied Metrology Metrologia – BIPM , França, v.36, n.6, p.599-603, 1999. ISSN 002694 (1999).

## USE OF A DIDACTIC SHOCK TUBE IN PRACTICAL LESSONS OF ENGINEERING MECHANICS

**Leonardo Moreira Leódido** – leo1@pop.com.br

**Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz** – adiniz@unb.br

**João Nildo de Souza Vianna** – vianna@unb.br

Universidade de Brasília – UnB – Departamento de Engenharia Mecânica  
Campus Universitário Darcy Ribeiro – Faculdade de Tecnologia – Bloco F  
70.910.900 – Brasília – DF - Brazil

**Abstract:** *The shock tube is a device used in several areas of engineering, with applications in the aeronautical industry, the study of the combustion, kinetic chemistry, impact of explosions, understanding of earthquakes, dynamic calibration of sensors, among others. Exactly with all these applications this device is little known by the students of engineering and studied in the courses of Brazilian graduation. With base in this discord this work shows the development of a shock tube with didactic characteristics that can be used in the announce of the developed works using the shock tube and in the demonstration of its applications, the classrooms, in congresses, fairs and other events.*

*The didactic characteristics of the developed shock tube are the easiness of transport, adequate own pressurization, fast visualization of phenomena and short interval of time between an assay and another one. The visualization of the phenomena is made through the use of an analyzer of signals connected the shock tube suport.*

*The dimensions of the didactic shock tube had been determined through the teorical, numerical and experimental analysis. The several types of assays and the scripts for the experiment had been defined on the basis of the phenomena that occur in the interior of the shock tube and as this can be used in engineering.*

**Key-words:** *Shock tube, Didactic devices, Dynamic metrology, Mechanic of fluid*