

# **DESENVOLVIMENTO DE UM TUBO DE CHOQUE DIDÁTICO**

**Leonardo Moreira Leódido**

Universidade de Brasília – UnB, SQN 313 Bloco B Aptº 201 – Brasília – DF. leo1@pop.com.br

**João Nildo de Souza Vianna**

Universidade de Brasília – UnB, Faculdade de Tecnologia Bloco F (ENM – LMD) – Brasília – DF. vianna@unb.br

**Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz**

Universidade de Brasília – UnB, Faculdade de Tecnologia Bloco F (ENM – LMD) – Brasília – DF. adiniz@unb.br

## **Resumo**

*O uso do tubo de choque para aplicações em metrologia dinâmica tem sido objeto de estudos em diversos trabalhos do Laboratório de Metrologia Dinâmica da Universidade de Brasília, mas a divulgação destes trabalhos e das potencialidades do tubo de choque fica restrita a cada área da engenharia. Baseando-se nesta dicotomia foi desenvolvido um tubo de choque didático destinado a divulgar os resultados obtidos, auxiliar na formação de recursos humanos em metrologia dinâmica e demonstrar as potencialidades deste dispositivo. O tubo de choque didático deve possuir peso adequado para facilitar o transporte e manuseio, rápida visualização dos fenômenos e pressurização própria.*

*Para o desenvolvimento do tubo de choque didático foi feita uma análise teórica, numérica e experimental, através da aplicação das equações de Rabine-Hugoniot, do método numérico de MacCormack aplicado as equações de Euler e da construção de protótipos. Com os resultados destas análises foram definidas as características do tubo de choque didático e este foi construído e testado.*

*Com os resultados verifica-se que o objetivo foi alcançado, visto que o tubo didático permite a realização de vários tipos ensaios, que demonstram os fenômenos que ocorrem no seu interior.*

**Palavras-chave:** *Tubo de choque, metrologia dinâmica, escoamento compressível, mecânica dos fluídos.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O tubo de choque é um dispositivo composto, basicamente, por duas câmaras separadas por um diafragma fig. (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 inicio.

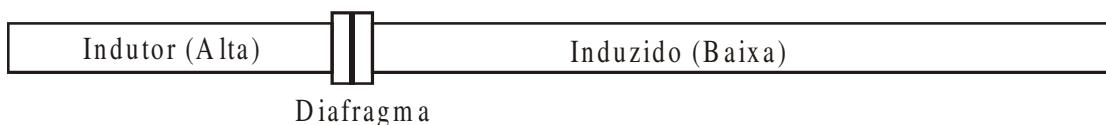


Figura 1. Tubo de choque

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.

Se, por um lado, a experiência com a aplicação metrológica do tubo de choque é grande, por outro, a demonstração das potencialidades do tubo é restrita a cada área. Baseado nesta dicotomia o objetivo central deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de um tubo de choque com características didáticas, para auxiliar no ensino da metrologia dinâmica, na formação de mão-de-obra 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 características como, dimensões reduzidas para facilitar transporte e manuseio, facilidade de montagem, possibilidade de realização de vários ensaios, curto intervalo de tempo entre os ensaios, com boa qualidade dos sinais gerados e rápida visualização dos fenômenos, para que as potencialidades do tubo de choque possam ser demonstradas.

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 aerotermodinâmicos, 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 simular a evolução das propriedades termodinâmicas no tempo utilizou-se o método de MacCormack, que é de segunda ordem. A escolha deste método está relacionada à boa estabilidade para descrição de descontinuidades. Para a simulação foi usado o programa desenvolvido por Carvalho (1994), com modificações.

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 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.

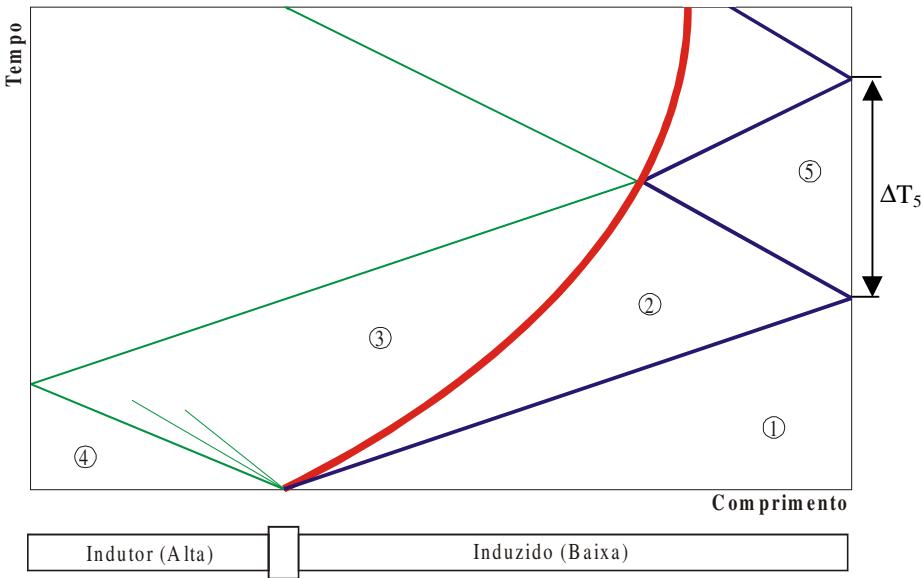


Figura 2. Diagrama dos processos no tubo de choque

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 a fig. (3a), (3)b e (3c), que permitem uma melhor compreensão dos fenômenos. A linha traço ponto mostra o lugar onde foi fixado o sensor de pressão.

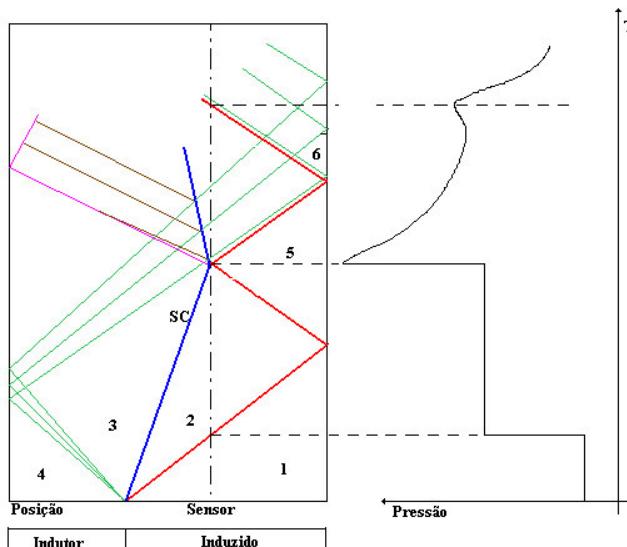


Figura 3a - Sensor no ponto de encontro entre a superfície de contato e a onda de choque.

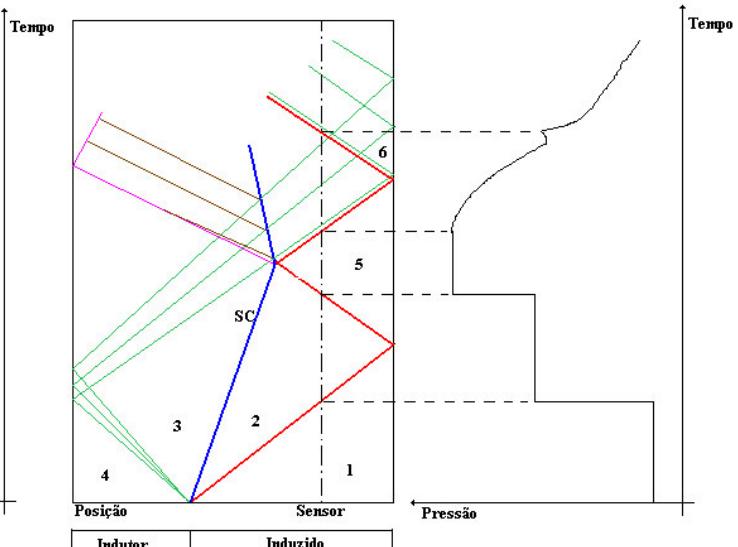


Figura 3b - Sensor localizado entre o fundo do ponto de encontro da superfície e a onda.

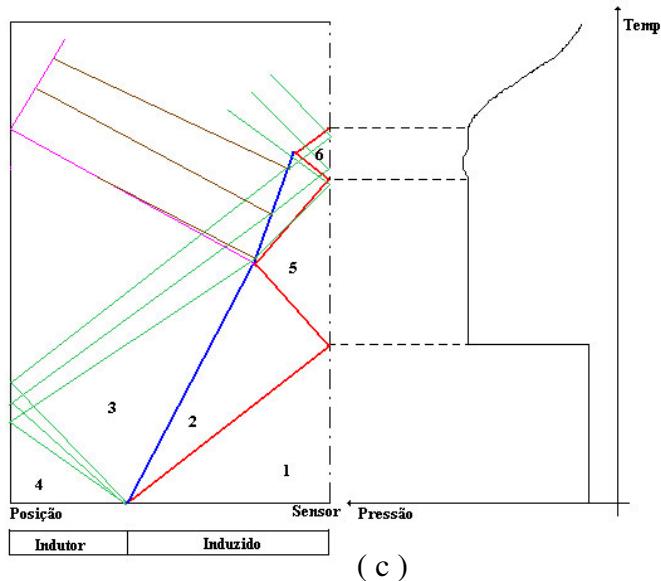


Figura 3c – Sensor no fundo do tubo induzido.

## 2.1. Formulação Analítica do Tubo de Choque

As deduções analíticas do tubo de choque são baseadas nas equações de Navier-Stokes, que com algumas considerações reduzem-se a equação de Euler, que não consideram a influência da viscosidade e condutividade do escoamento. As equações de Navier-Stokes poderiam ser usadas, mas estas não possuem solução analítica. Em situações onde é importante a consideração dos termos de perda, usa-se modelos simplificados dos efeitos de dissipação para os termos das equações de Navier-Stokes. No caso em estudo, onde os termos iniciais são mais importantes que os termos viscosos, as equações de Euler apresentam melhores resultados numéricos para escoamentos turbulentos compressíveis.

Neste trabalho são usadas as equações de Euler, que permitem uma formulação de soluções analíticas de fácil aplicação. As equações básicas são as da continuidade, da quantidade de movimento, da energia, de estado e da energia interna. Trabalhando estas equações chega-se as equações de Rabine-Hugoniot, que descrevem analiticamente as propriedades termodinâmicas no interior do tubo de choque. Toda o desenvolvimento e as equações analíticas utilizadas podem ser vista descrita nos trabalhos Shapiro (1954) e Leódido (2003).

## 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 fluídos 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 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).

### **2.3 – Calibração Dinâmica e Aplicações Metrológicas do Tubo de Choque**

Calibrar dinamicamente um sensor consiste em determinar sua sensibilidade e o tempo de resposta a um determinado estímulo, ou seja determinar o sinal de saída em função do tempo. A calibração de um sensor é realizada experimentalmente determinando sua função de transferência a partir do sinal de saída. Existem diversos dispositivos utilizados na calibração dinâmica, adequados para diferentes faixas de frequência e amplitude de sinal.

O tubo de choque possui uma razão de volume da mesma ordem de grandeza entre os dois tubos que o compõe, o degrau de pressão gerado pelo tubo é de curta duração, ou seja finito, o que não é recomendado para sensores de baixa frequência. Para a calibração de sensores, usa-se um sensor padrão no mesmo local, no fundo ou na parede do tubo, onde está fixado o sensor a ser calibrado. Após o ensaio os resultados são comparados e se estabelece a sensibilidade do sensor submetido a calibração.

## **3. DESENVOLVIMENTO DO TUBO DE CHOQUE DIDÁTICO**

Para atender a exigência de transportabilidade do tubo, foi fixado o comprimento máximo em 1500 mm. O diâmetro do tubo foi determinado de acordo com as dimensões comerciais de tubos de PVC, para facilitar a construção dos protótipos. Segundo recomendação de Damion (1993): 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. Caso esta relação seja muito pequena, a hipótese da unidimensionalidade pode ficar comprometida, já que a curvatura da membrana tende se acentuar. Diâmetros relativamente grandes submetidos a fortes diferenças de pressão, acentuam a curvatura e com isso o rompimento da membrana geraria uma onda tridimensional tornando o escoamento complexo. Para os níveis de pressão a que o tubo será submetido o diâmetro interno selecionado, foi de 38 mm.

Segundo a metodologia adotada foram feitos três protótipos com diferentes relações de comprimento, entre os tubos indutor e induzido. Segundo Damion (1993) 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. Com base nesta recomendação foram escolhidas três relações de comprimentos. A tabela (1) mostra as dimensões selecionadas, a relação de comprimentos e a relação com o diâmetro.

Tabela 1. Dimensões dos tubos indutor e induzido.

<b>Comprimento do Tubo Indutor - <math>L_{hp}</math> (mm)</b>	<b>Comprimento do Tubo Induzido - <math>L_{bp}</math> (mm)</b>	<b>Relação de comprimentos</b>	<b>Relação com o Diâmetro</b>
625	875	1.40	23.03
600	900	1.50	23.68
575	925	1.61	24.34

Com as equações analíticas, aplicadas as dimensões mostradas na tab. (1), é possível determinar aspectos particulares e localizados dos processos aero-termodinâmicos. Mas para estimar o campo de pressão, temperatura, velocidade e a duração do degrau de pressão no fundo e na parede do tubo,

ao longo do tempo e em qualquer ponto do tubo, foi utilizado um programa de simulação numérica. O método escolhido foi de MacCormack, que é de segunda ordem e de natureza dissipativa. A versatilidade desta simulação numérica está relacionada a boa estabilidade para descrição de descontinuidades. Foi utilizado o programa desenvolvido por Carvalho (1994), com modificações.

Para as análises analítica, numérica e experimental, os protótipos foram submetidos a quatro relações de pressão (1.5 : 1, 1.75 : 1, 2 : 1 e 2.2 : 1). A tabela (2) mostra os resultados comparados.

Tabela 2 – Tabela de comparação dos resultados analíticos, numéricos e experimentais

Relação de Comprimentos	Diferença de Pressão	Duração do Degrau de Pressão – Fundo do Tubo (ms)		
		Rabine-Hugoniot	MacCormack	Experimental
1.4	1.50 : 1	3.608	3.308	3.093
	1.75 : 1	3.208	3.262	3.029
	2.00 : 1	2.910	3.117	2.998
	2.20 : 2	2.720	2.645	2.902
1.5	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
1.61	1.50 : 1	4.020	3.497	3.321
	1.75 : 1	3.575	3.282	3.298
	2.00 : 1	3.242	3.059	3.263
	2.20 : 2	3.010	2.984	3.245

Com base nos dados da tab.(2), e nos gráficos experimentais, as dimensões do tubo de choque didático foram selecionadas, com base na duração do degrau no fundo do tubo induzido e na qualidade do sinal. Dessa forma as dimensões escolhidas foram as do protótipo com relações de comprimento igual a 1.5.

#### 4. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DO TUBO DE CHOQUE DIDÁTICO

##### 4.1 – O tubo

O tubo de choque didático foi feito com aço SAE 1026, trefilado e brunido internamente, para diminuir os efeitos da camada limite. A parede do tubo tem 3.18 mm de espessura, que segundo o critério da máxima energia de distorção aplicado a teoria de vasos de pressão, garante a segurança da operação do tubo com elevadas pressões. O tubo de choque será montado em uma bancada portátil e leve para facilitar o transporte e manuseio. No painel da bancada estão todos os controles usados na operação do tubo de choque.

##### 4.2 – Acessórios do Tubo de Choque Didático

Todos os acessórios foram feitos em alumínio de forma a diminuir o peso da bancada. O dispositivos de fixação da membrana, fig. (4a) e (4b), possui guias para garantir a linearidade do tubo de choque e para impedir o vazamento de ar é usado um o’ring de borracha entre os dispositivos do tubo indutor e induzido. Acoplado a este dispositivo tem-se o sistema de ruptura fig. (4c), que utiliza uma válvula solenóide para perfurar a membrana através uma barra de aço com uma das pontas afiadas.

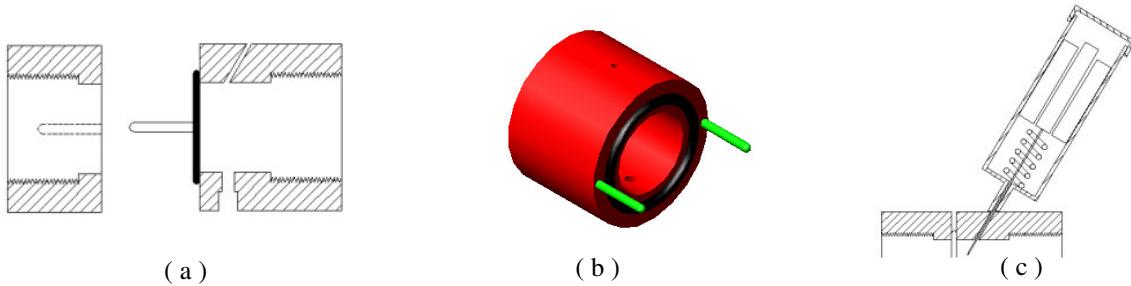


Figura 4. Dispositivo de fixação da membrana

A fixação dos sensores é feita através de peças de alumínio, que são fixadas ao tubo. Os sensores são acoplados a estas peças.

Para a abertura e fechamento do tubo é usado um motor elétrico acoplado a um parafuso sem-fim com uma porca presa ao fundo do tubo indutor. Este sistema garante que, no fechamento, não haja vazamento na união entre os tubos.

#### 4.3 – Bancada, sistema de pressurização e elétrico

Para facilitar o transporte a bancada, fig. (5), foi dividida em dois módulos, o menor com o tubo indutor, o sistema de comando e banco de compressores, o maior com o tubo induzido e o reservatório de ar. A estrutura da bancada foi feita com perfis de alumínio, e recoberta com compensado revestido de fórmica. Todos os comando do sistema elétrico e pneumático estão disposto no painel da bancada.

O sistema de pressurização é composto por quatro compressores de pequeno porte que ficam acondicionados dentro da bancada menor, manômetros, pressostato de máxima e mínima, válvulas de esfera, válvula reguladora de pressão e um reservatório feito de PVC. Estes sistema compõe o sistema interno, mas a bancada pode ser conectado a uma linha de ar externa.

O sistema elétrico de comando da abertura e fechamento do tubo, acionamento dos compressores e do perfurador da membrana, foi montado usando chaves contatoras e botoeiras. Uma contadora controla o acionamento dos compressores através do sinal recebido do pressostato e outras duas a abertura e fechamento do tubo. Para alimentar o circuito dos compressores e o motor acionamento do tubo, foi necessário introduzir uma fonte de tensão contínua (DC), Leódido (2003).

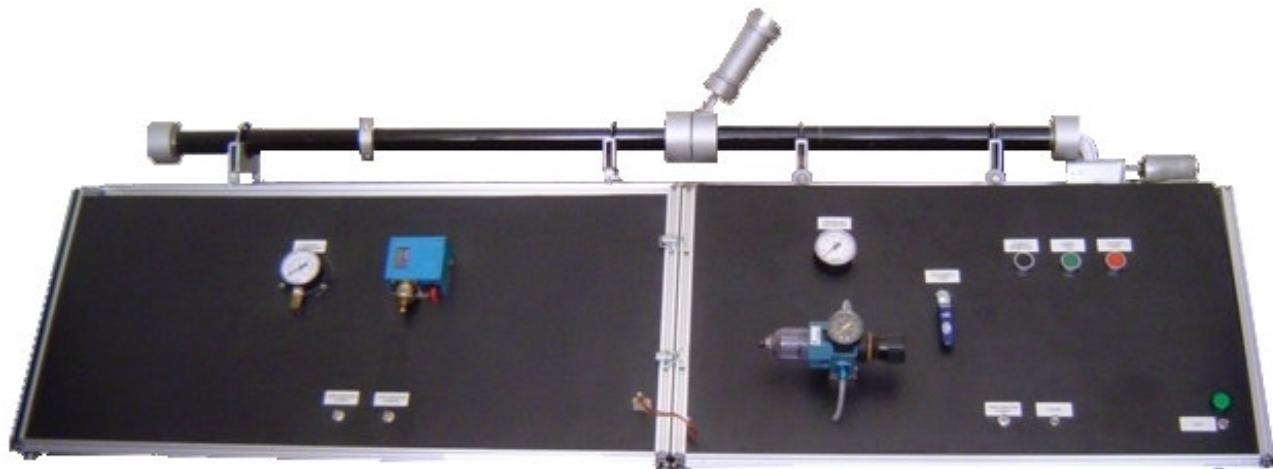


Figura 5 – Vista frontal da bancada com o tubo de choque didático

## 5. EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O TUBO DE CHOQUE DIDÁTICO

Primeiramente foram realizados ensaios com os sensores fixados ao fundo e a parede do tubo induzido, para que estes resultados fossem comparados com os do protótipo. A figura (6a) mostra o gráfico experimental, para o sensor no fundo do tubo, para uma relação de pressão igual a 2 : 1. Para esta mesma relação de pressão tem-se a fig. (6b), para o sensor na parede. Na tabela (3) temos a comparação entre os dados experimentais do protótipo e o tubo de choque didático.

Tabela 3. Resultados experimentais para o tubo de choque didático e o protótipo

Relação de Pressão	Tubo de Choque Didático				Protótipo			
	Fundo (ms)	Parede 1 (ms)	Parede 2 (ms)	Parede Total (ms)	Fundo (ms)	Parede 1 (ms)	Parede 2 (ms)	Parede Total (ms)
1.50 : 1	3.302	-----	-----	-----	3.196	-----	-----	-----
1.75 : 1	3.296	2.075	1.167	3.242	3.192	1.938	1.281	3.219
2.00 : 1	3.296	2.030	1.190	3.220	3.181	1.968	1.205	3.173
2.20 : 1	3.273	2.030	1.172	3.202	3.162	1.984	1.160	3.144

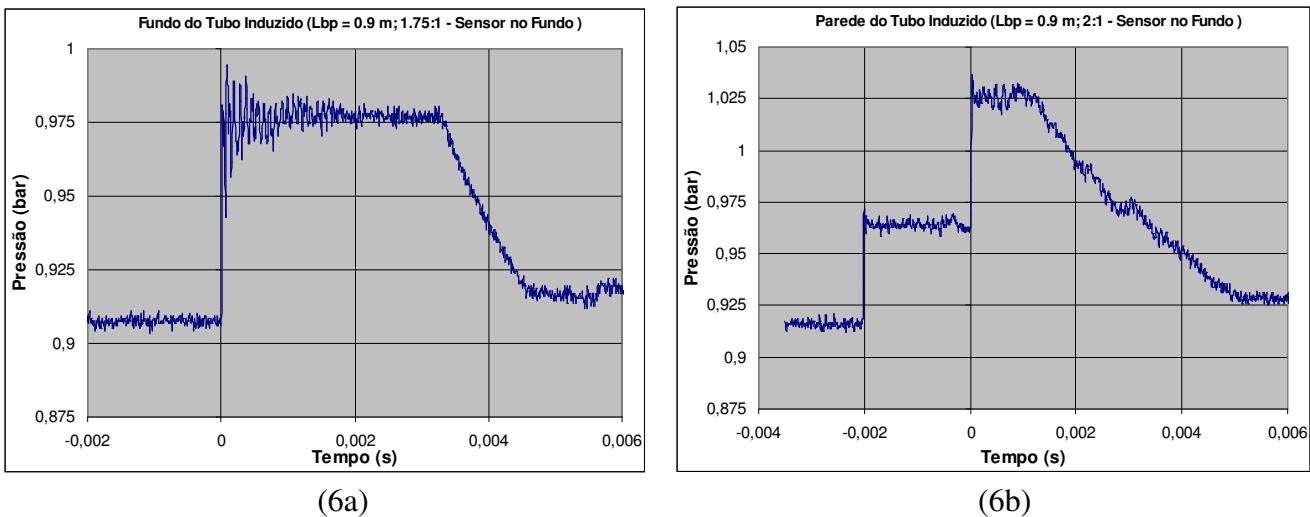


Figura 6. Gráficos experimentais. (a) Fundo do Tubo. (b) Parede do tubo.

O gráfico mostrado na figura (6b), mostra o sinal medido com sensor fixado entre o ponto de encontro da superfície de contato e a onda de choque. A fig. (7) mostra o sinal medido com quando o sensor está fixado exatamente no ponto de encontro entre a superfície de contato e onda de choque. Fazendo uma comparação entre as fig. (3), (6) e (7), verifica-se que o tubo de choque didático demonstra com clareza e qualidade os fenômenos que ocorrem no seu interior.

Para melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem no interior do tubo de choque, foram realizados mais dois ensaios, um com o sensor fixado no fundo do tubo indutor e outro com o fundo do tubo induzido aberto e o sensor, através de um dispositivo especial, com a face de medição localizada próxima a extremidade aberta. O primeiro ensaio visa medir o leque de expansão fig.(8a) e o segundo mostra que onda de choque enxerga a atmosfera uma parede isobárica fig. (8b).

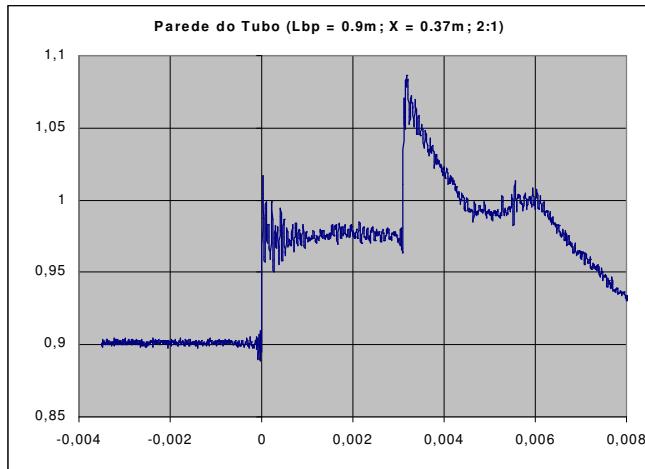
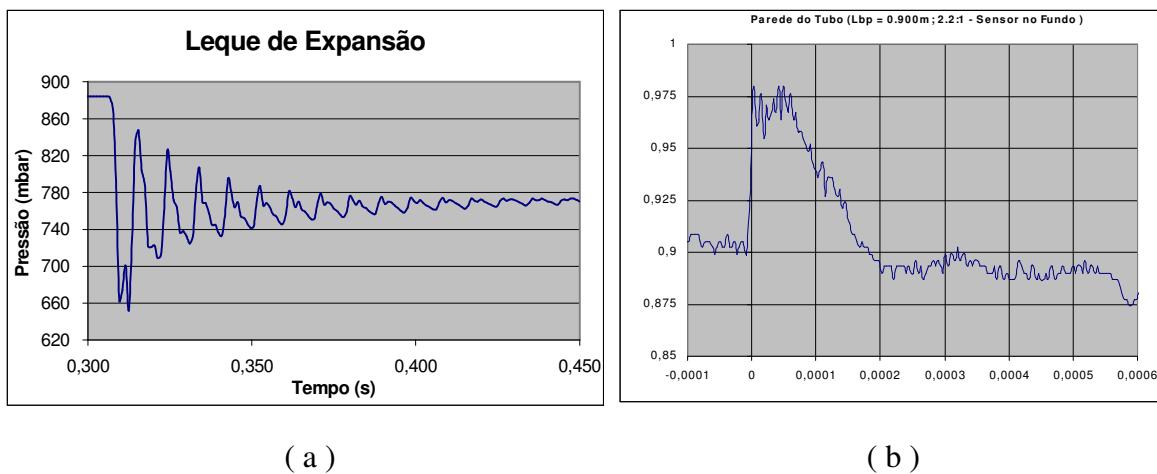


Figura 7 – Ponto de encontro da superfície de contato com a onda de choque.



( a )

( b )

Figura 8 - Leque de expansão e parede isobárica

## 6 - CONCLUSÃO

O tubo de choque desenvolvido apresenta bons resultados permitindo a melhor compreensão das potencialidades do uso e dos fenômenos que ocorrem no interior do tubo de choque atingindo o objetivo de ser um instrumento didático, versátil e de baixo custo.

Os resultados teóricos, numéricos e experimentais coincidem permitindo o uso do tubo de choque em atividades práticas de laboratório em conjunto com a simulação numérica.

A bancada construída apresenta as características desejadas, com facilidade na operação, peso e tamanho adequados para o transporte e manuseio. 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 peso total do dispositivo é de, aproximadamente, 15 Kg podendo ser facilmente transportado.

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.

Outros trabalhos poderão ser realizados usando o tubo de choque, dentre eles pode-se destacar o uso de anemometria para medir o degrau de velocidade e temperatura, permitindo estabelecer um padrão que viabilize a calibração de sensores.

## 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.
- Caravalho, M.A.M – Calibração Dinâmica: Estudo e Desenvolvimento de um Tubo Gerador de Onda de Choque. – Relatório de Estágio Supervisionado, ENM / UnB, 1993.
- 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-Americanano 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.
- Shapiro, A.H. – The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow – Volume I – The Ronald Press Company, N.Y.-EUA., 1953.
- Shapiro, A.H. – The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow – Volume II – The Ronald Press Company, N.Y.-EUA, 1954.
- Vianna, J.N.S. – Etude de la Mesure de Température en Régime Dynamique – These Docteur-Ingenieur, ENSAM, Paris-France, 1984.
- 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).

# DEVELOPMENT OF A DIDACTIC SHOCK TUBE

**Leonardo Moreira Leódido**

Universidade de Brasília – UnB, SQN 313 Bloco B Aptº 201 – Brasília – DF. leo1@pop.com.br

**João Nildo de Souza Vianna**

Universidade de Brasília – UnB, Faculdade de Tecnologia Bloco F (ENM – LMD) – Brasília – DF. vianna@unb.br

**Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz**

Universidade de Brasília – UnB, Faculdade de Tecnologia Bloco F (ENM – LMD) – Brasília – DF. adiniz@unb.br

## Abstract

The shock tube use with applications in dynamic metrology has been object of studies in several researches of the University of the Brasília Dynamics Metrology Laboratory, however the announcement of these studies and the potentialities of the shock tube is restricted to each area of engineering. Based on this dichotomy, a pedagogic shock tube was developed to announce the results achieved, to assist in the formation of human resources in dynamic metrology and to demonstrate the device's potentialities. The didactic shock tube must possess adjusted weight to facilitate the transport and maneuver, fast visualization of the phenomena and adequate own pressurization.

In order to develop a shock tube, it was done a teorical, numerical and experimental analysis, through the use of Rabine-Hugoniot equations, the MacCormack numerical methods applied to the Euler equations and the construction of prototype. As a result of these analyses, the characteristics of the didactic shock tube was defined, constructed and tested.

As a consequence it is verified that the objective was reached, since the pedagogic tube allows to the accomplishment of several types of assays, which demonstrate the phenomena that occur in its interior.

**Keyword:** Shock tube, dynamics metrology, compressible flow, mechanic of fluids.