

Q32 1252

ANÁLISE ELASTODINÂMICA DE ATUADORES DE FORÇA
POR EXPANSÃO DIAMETRAL E CONTRAÇÃO AXIAL

Q32a

12843/BC

FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO FERROVIÁRIO

ANÁLISE ELÁSTODINÂMICA DE ATUADORES DE FORÇA
POR EXPANSÃO DIAMETRAL E CONTRAÇÃO AXIAL

JORGE LUIZ LIMA QUEIROZ

*Este exemplar corresponde à redação final
da Tese defendida por Jorge Luiz Lima Queiroz
e aprovada pela Comissão Julgadora em
24/01/90.*

Carlo Salles

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia de Campinas - Unicamp,
como parte dos requisitos para
obtenção do título de MESTRE EM
ENGENHARIA MECÂNICA.

Campinas, 24 de janeiro de 1990.

ccat

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO FERROVIÁRIO

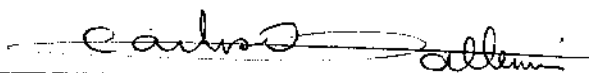
Tese de : MESTRADO

Título da Tese: ANÁLISE ELASTODINÂMICA DE ATUADORES DE FORÇA
POR EXPANSÃO DIAMETRAL E CONTRAÇÃO AXIAL

Autor: Jorge Luiz Lima Queiroz

Orientador: Prof. Dr. Carlos Amadeu Pallerosi

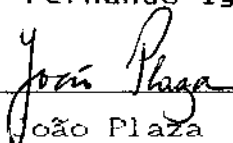
Aprovado por:



Prof. Dr. Carlos Amadeu Pallerosi



Prof. Dr. Fernando Iguti



Prof. Dr. João Plaza

Campinas, de de 1989

Dedicado à
Antonio Oliveira Queiroz

Agradecimentos

À Deus que me permitiu a vida,
À minha mãe pelo apoio que sempre encontrei,
À minha esposa pelas horas que partilhamos juntos,
À meu filho pela alegria de vida que transmite.

Em especial ao Prof. Carlos Amadeu Pallerosi,
companheiro de todos os momentos.

À CAPES (PICD) pela concessão da bolsa de estudos.
Ao CNPq pelo auxílio para a construção da
aparelhagem experimental.

Ao pessoal do Departamento de Projeto Mecânico pelo
apoio recebido.

Em especial a Luiz Morelli pela sua dedicação e
competência na execução dos componentes utilizados
na parte experimental.

RESUMO

O desenvolvimento de atuadores de força, cada vez mais sofisticados, surgem a cada momento, impulsionado pelas necessidades da indústria moderna. As áreas da automática e da robótica necessitam de atuadores com grande força inicial e pequeno deslocamento, dentre os vários tipos com acionamento hidráulico ou pneumático. Construiu-se um dispositivo tensor capaz de gerar força axial pela expansão radial de um tubo elástico. Os experimentos mostraram que a pressão necessária para exercer uma dada força é muito menor que a correspondente a cilindros axiais. O dispositivo tensor é de baixíssimo custo, peso e facilidade de fabricação. Os protótipos foram analisados em um equipamento de teste especialmente projetado. Foram construídos gráficos que mostram as relações entre a força e o deslocamento axial, em função da pressão interna. As características construtivas e suas aplicações práticas são apresentadas, bem como os modelos matemáticos e computacionais.

ABSTRACT

The development of even more sophisticated load actuator appears every day due to the necessities of the modern industry. The areas of automation and robotics require actuators of large initial force and small displacement with the various types of actuators with hydraulic or pneumatic command. In this work a tensor device of low cost and weight and of simple construction is proposed. The prototypes were analysed in a specially designed testing equipment. The relations between the force and axial displacement was plotted as a function of the internal pressure. The constructive characteristics and practical applications are presented as well as the mathematical and computational models.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 - Princípio básico de funcionamento	1
1.2 - Comparação com cilindros e pistões convencionais	2
1.3 - Aplicações práticas a mecanismos convencionais	3
1.4 - Coeficiente de atrito no movimento inicial	3
1.5 - Segurança operacional	6
1.6 - Facilidade de Fabricação	6
1.7 - Comparação com cilindros e bobinas eletromagnéticas	6
1.8 - Considerações finais	7
2. FUNDAMENTOS DA GERAÇÃO DE FORÇA AXIAL	
2.1 - Equações gerais	8
2.2 - Perfil de expansão do elemento tensor	13
2.3 - Raio de curvatura	16
2.4 - Comprimento retificado do perfil e contração axial	18
3. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA MEDIDA DA FORÇA E DO DESLOCAMENTO	
3.1 - Preparação do experimento	22
3.2 - Equipamento de medição	22
3.3 - Dispositivos auxiliares	22
3.3.1 - Alimentação e controle do ar comprimido	25
3.3.2 - Medida do deslocamento	25
3.3.3 - Medida da força	26

4. ELEMENTOS TENSORES	
4.1 - Conjunto montado	28
4.1.1 - As extremidades rígidas	28
4.1.2 - Tensores ou reforços	30
4.2 - Considerações sobre os modelos contruídos	30
4.2.1 - Tensores colados	30
4.2.2 - Tipos de tensores	30
4.3 - Coeficiente de elasticidade	31
5. MEDIDAS EFETUADAS	
5.1 - Deslocamento axial em função da pressão e carga aplicada	34
5.1.1 - Histórico dos experimentos	34
5.1.2 - O protótipo	38
5.2 - Perfis de expansão	39
5.3 - Considerações sobre os resultados das medidas efetuadas	39
5.3.1 - Elementos tensores anteriores	39
5.3.2 - Sobre o Protótipo	39
5.3.3 - Sobre os Perfis	39
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS	
6.1 - Análise da força axial	42
6.2 - Análise do deslocamento axial	42
6.3 - Conclusões	44

7. SUGESTÕES PARA FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

7.1 - Determinação das características físicas	46
7.2 - Construção de equipamentos industriais alternativos	46
7.3 - Amostra sobre aplicações	46

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
----------------------------	----

APÊNDICE A - CALIBRAÇÃO DA CELULA DE CARGA

A.1 Processo de medição	49
A.2 Parâmetros de calibração	51

APÊNDICE B - CALIBRAÇÃO DO TRANSDUTOR DE DESLOCAMENTO

B.1 LVDT - Deslocamento máximo: 0,5 pol	53
B.2 LVDT - Deslocamento máximo: 1,7 pol	54

APÊNDICE C - VALORES DAS FORÇAS E DESLOCAMENTOS EM FUNÇÃO DA PRESSÃO	56
--	----

TERMINOLOGIA

a, b	constantes que determinam o perfil.
d	diâmetro do Elemento Tensor (E.T.).
F_a	força axial disponível.
H	componente horizontal da força ao longo do perfil.
H_o	força devido ao terminal.
F_e	força externa devida aos pesos
L	comprimento do tensor.
L_i	comprimento contraído.
O_{xyz}	sistema cartesiano de referência.
P	pressão interna.
q	carga por unidade de comprimento.
r	raio de curvatura do perfil.
S	comprimento fixo do perfil.
T	tensão no tirante.
$\vec{u}$	vetor deslocamento unitário.
v_a	velocidade de avanço.
x_a	deslocamento axial.
Y_m	coordenada de um ponto intermediário.
Y_o	ordenada do tirante sob pressão interna.
γ	deformação unitária na direção y .
ΔL	contração axial.
ϵ	deformação unitária na direção x .
θ	ângulo da tensão no reforço.
μ_e	coeficiente de atrito estático.
μ_d	coeficiente de atrito dinâmico.

INTRODUÇÃO

1.1 Princípio básico de funcionamento

Quando um equipamento ou parte deste necessita de um deslocamento linear, os elementos mais utilizados são: o pistão de acionamento hidráulico ou pneumático; ou a bobina eletromagnética. A bobina eletromagnética é muito utilizada, por exemplo, em acionamento de freios. O cilindro é utilizado, por exemplo, em linhas de montagens, máquinas-ferramentas, equipamentos de servo-comando. Ambos possuem vantagens técnicas, em determinadas aplicações, para acionar e controlar o movimento de peças e equipamentos.

Um dispositivo novo, aqui denominado "Elemento Tensor", com características importantes nas aplicações de transmissão de força e deslocamento, é analisado através de experimentos. A grande vantagem deste elemento, que o torna ímpar, entre os equipamentos de função semelhante, é o fato de obter-se grande força inicial, com pequenos deslocamentos, acionado por pressões bastante baixas.

O princípio de funcionamento é baseado na redução do comprimento do componente tubular elástico pela expansão radial por pressão interna. Tensores longitudinais geram a força axial, como mostrado na Figura (1.1). A semelhança de um cabo suspenso horizontalmente (catenária), a reação nos apoios tendem a grandes valores,^[1,2,13-15] limitados pela elasticidade do cabo. Nos "Elemento Tensores" os vários tirantes longitudinais (arames ou fitas) dividem entre si a força total. Em princípio, quanto maior o número de tirantes, maior a força total possível de ser obtida, pois a pressão interna poderia ser aumentada, para um mesmo elemento tubular elástico, como será apresentado no capítulo cinco.

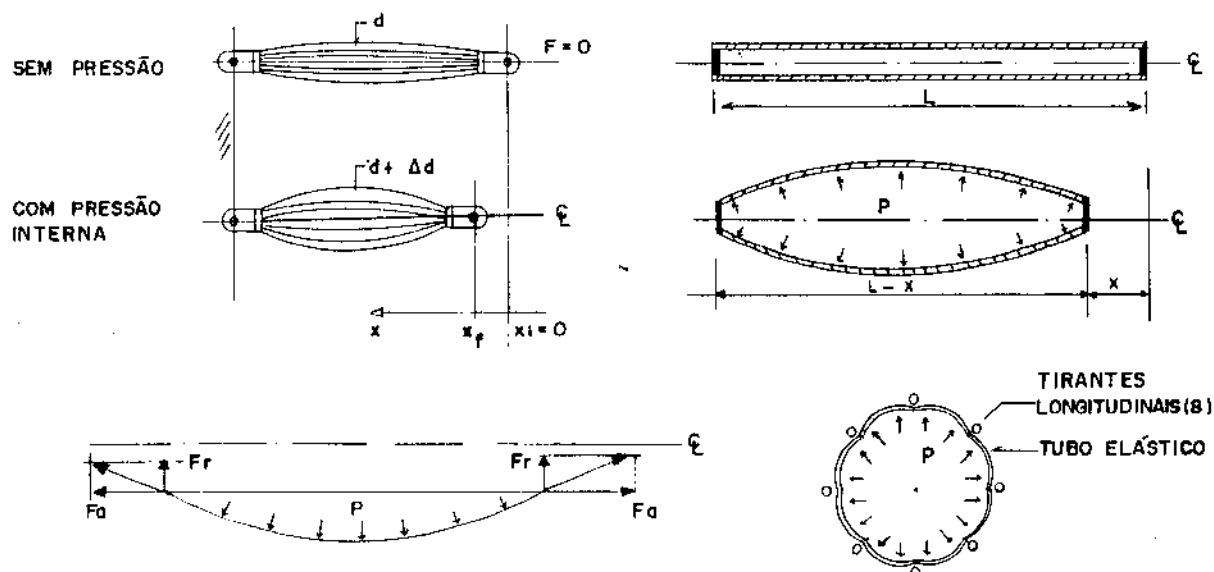


Figura (1.1) Princípio básico da geração de força por expansão radial e contração axial

1.2 Comparação com cilindros e pistões convencionais

A característica básica do Elemento tensor é a grande força inicial, como mostrado na Figura (1.2), em comparação com um cilindro convencional de mesmo diâmetro (d). Verifica-se nesta figura que, para uma mesma pressão (p) e diâmetro interno (d), a força gerada no cilindro convencional não varia com o deslocamento axial, porém o Elemento tensor apresenta uma grande força inicial, que tenderia ao infinito se não existissem limitações devidas à elasticidade dos tirantes. O deslocamento axial do elemento tensor é limitado (x_a) devido ao diâmetro máximo de expansão do tubo elástico. No capítulo 6 serão apresentados os valores obtidos das forças em função dos deslocamentos axiais.

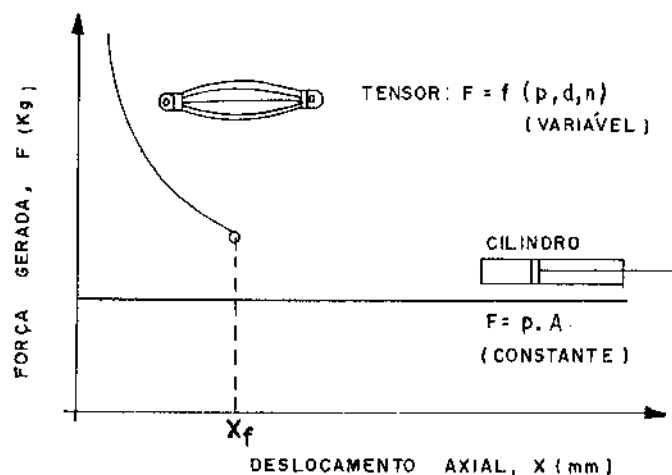


Figura (1.2) Comparação da forças geradas por cilindros convencionais e Elementos tensores para mesma pressão e diâmetro interno.

1.3 Aplicações práticas a mecanismos convencionais

Na Figura (1.3) são apresentados vários tipos de mecanismos para movimentos lineares ou rotativos, onde poderiam ser utilizados os Elementos tensores. Nota-se nesta figura que uma conveniente disposição dos componentes permite a redução ou ampliação de forças e deslocamentos. Muitos outros mecanismos poderiam utilizar os Elementos tensores, à semelhança das aplicações dos cilindros hidráulicos ou pneumáticos.

1.4 - Coeficiente de atrito no movimento inicial

O atrito estático e a inércia são os responsáveis pelos grandes valores da força inicial necessária para o início do deslocamento, como mostrado na Figura (1.4), relativa a um cilindro hidráulico. Vencida esta fase, a pressão de alimentação é menor. A curva característica dos Elementos tensores resulta plenamente apropriada nesta fase do deslocamento, pois tende

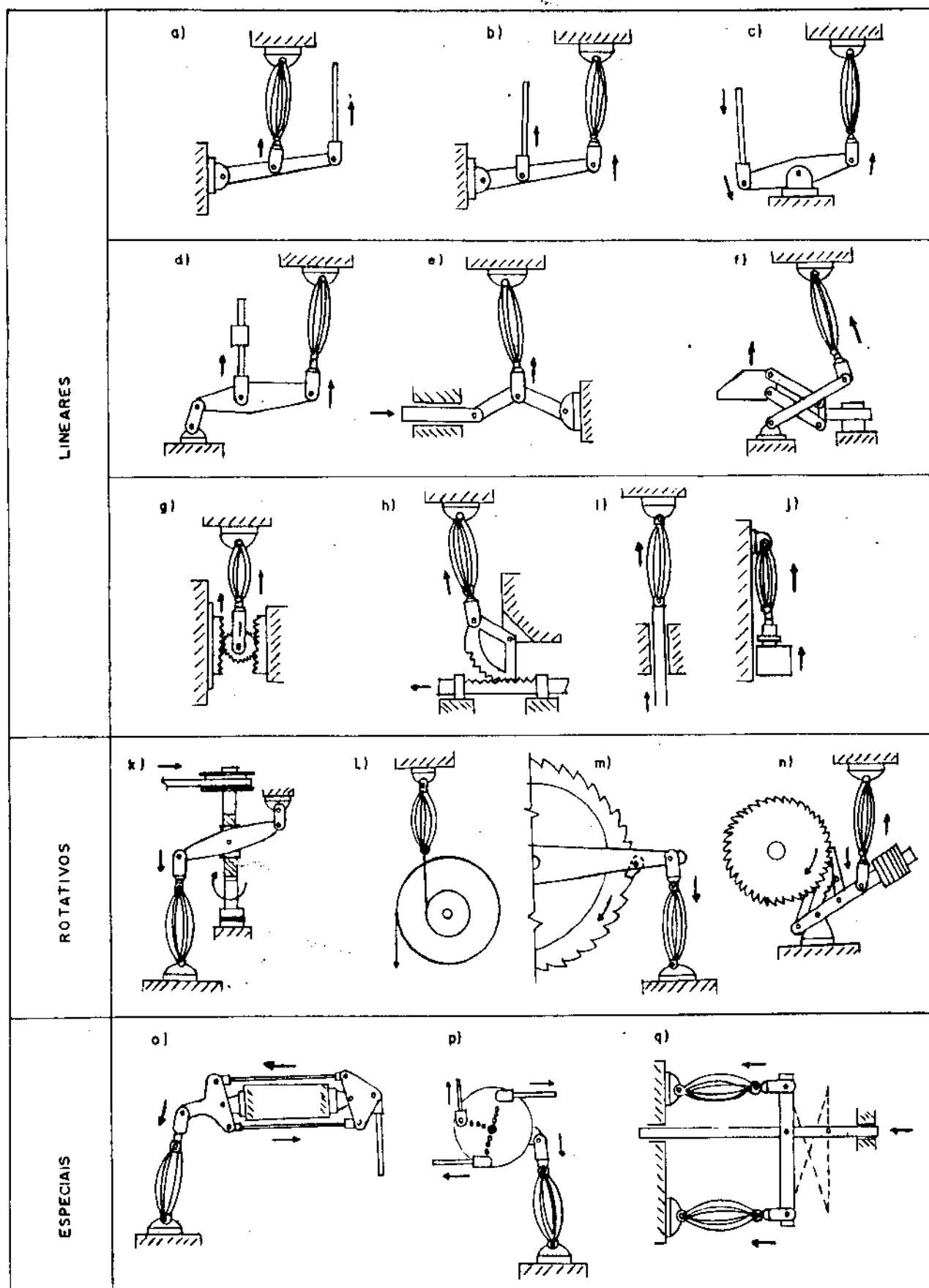


Figura (1.3) Principais tipos de mecanismos para transformação de movimentos, acionados por Elementos tensores.

a elevados valores onde é necessário, ou seja, na partida. Por isso, eles são bastante apropriados para acionamento de válvulas, deslocamentos pequenos de carros sobre guias, prensas de corte e estampagem de chapas, etc.

A ocorrência de grande força no início do deslocamento é devida ao maior valor do coeficiente de atrito estático (μ_e) em relação ao coeficiente de atrito dinâmico (μ_d) como mostrado na Figura (1.5).

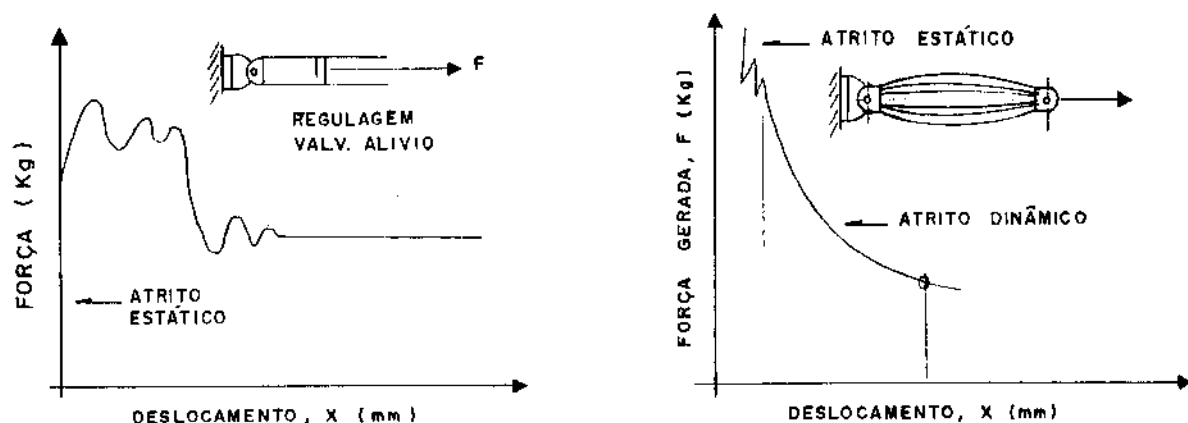


Figura (1.4) Variação dinâmica da força axial na fase inicial do movimento, por influência do atrito estático.

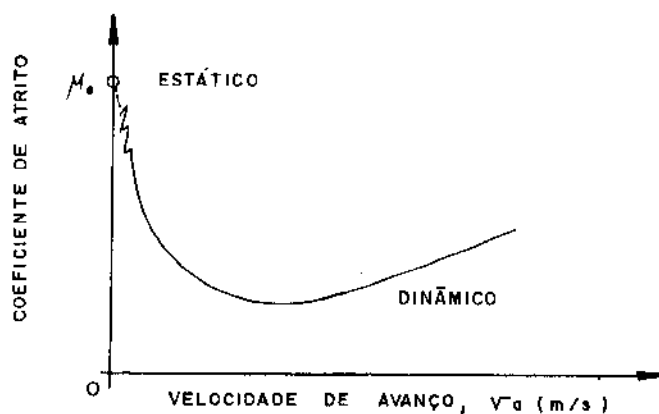


Figura (1.5) Variação do coeficiente de atrito com a velocidade de avanço (v_a).

1.5 Segurança operacional

Quando no ambiente onde funcionam os equipamentos citados, existe a possibilidade de contacto com gases inflamáveis, torna-se perigoso usar bobinas eletromagnéticas, devido ao risco de geração accidental de faíscas, durante o acionamento da bobina. Em circuitos hidropneumáticos pode existir, também, a mesma possibilidade, porque algumas válvulas possuem mecanismos acionados por bobinas eletromagnéticas, o que pode colocar em risco todo o sistema, pessoas e equipamentos. Este problema prático demonstra que, nos casos citados, uma boa solução seria a utilização de um atuador sem partes elétricas que possam gerar por acidente a presença de faíscas. O Elemento tensor, pesquisado neste trabalho, vem de encontro à solução deste problema.

1.6 Facilidade de fabricação

Outro fato que incentiva a pesquisa de tal elemento, é a possibilidade de fabricação, em alta escala de produção, diminuindo-se deste modo o custo de um equipamento essencial na construção mecânica.

Os cilindros hidráulicos ou pneumáticos necessitam, para suas construções, de aços especiais e operações de acabamento sofisticadas que tornam alto o custo de fabricação. Por isso, elementos que tivessem a mesma função, desenvolvida pelo cilindro e possuíssem preços menores, iriam reduzir o custo de vários tipos de máquinas e equipamentos industriais, diminuindo, por consequência, o investimento industrial.

1.7 Comparação com Cilindros e Bobinas eletromagnéticas

Para comparar características entre os diversos dispositivos similares, para determinadas funções, foi contruida a Tabela (1.1), baseado em informações dos fornecedores. Verifica-se nesta Tabela que o Elemento tensor possui campo de atuação garantido pelas características apresentadas.

1.8 Considerações finais

Neste trabalho contruiu-se vários Elementos tensores, objetivando-se a obtenção de características essenciais do elemento a ser construído para utilização industrial.

Vários elementos foram construídos até atingir-se a forma apresentada neste trabalho. Pretende-se com o teste deste e de outros modelos, determinar características essenciais para sua fabricação.

Foram desenvolvidos os modelos matemáticos e computacionais, apresentados nos capítulos seguintes para a determinação dos seguintes parâmetros de projeto e análise dos tensores construídos:

a) Variação da força axial em função da pressão interna e do deslocamento;

b) Variação da forma do Elemento tensor com a expansão radial.

Para a verificação experimental e teórica dos parâmetros em foco, analisou-se vários trabalhos,^[3-8] até o desenvolvimento e construção de um Dispositivo que foi especialmente instrumentado para medida da força aplicada (célula de carga), da pressão (transdutor) e do deslocamento (transdutor LVDT), como descrito no capítulo 4. Estes subsídios^[11-15] serviram para o desenvolvimento do capítulo seguinte.

Tabela 1.1 Quadro comparativo de Custos

		Cilindro hidráulico	Bobina eletromagnética	Elemento tensor
1) Diâmetro	(mm)	20	40,0	20
2) Deslocamento	(mm)	400	0,5	12
3) Comprimento	(mm)	400	200,0	180
4) Força	(N)	32	125,0	435
5) Custo	(OTN)	32	7,3	2

CAPÍTULO SEGUNDO

FUNDAMENTOS DA GERAÇÃO DA FORÇA AXIAL

2.1 Equações gerais

Para "n" tirantes longitudinais utilizados em Elementos tensores, como mostrado na Figura (1.1), admitem-se as seguintes propriedades:

a) Os fios metálicos ou tiras plásticas são perfeitamente flexíveis, ou seja, não apresentam resistência a momentos fletores ou forças de compressão.

b) São totalmente inextensíveis, não sofrendo variação em seu comprimento.

c) O peso próprio é desprezível.

Estas aproximações dos casos reais, resulta na consequência mais importante, de que a força nos tirantes é sempre tangente ao perfil assumido após a deformação (Fig.(2.1)).

Quanto à carga aplicada (pressão interna) será admitida como distribuída continuamente ao longo do perfil dos tirantes, e na direção perpendicular à deformação, Fig.(2.1).

Nestas condições, um tirante em equilíbrio, vinculado em suas extremidades e submetido a uma carga "q" por unidade de comprimento, em um sistema de referência O_{xyx} , de eixos $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, apresenta uma força que atua por unidade de comprimento do tirante, no ponto P de coordenadas (x,y,z) dada por

$$\vec{q} = q(x,y,z) \cdot \vec{u}$$

onde o versor $\vec{u}$ é também função do ponto P.

As resultantes das forças aplicadas, para um comprimento unitário ds, fornecem:

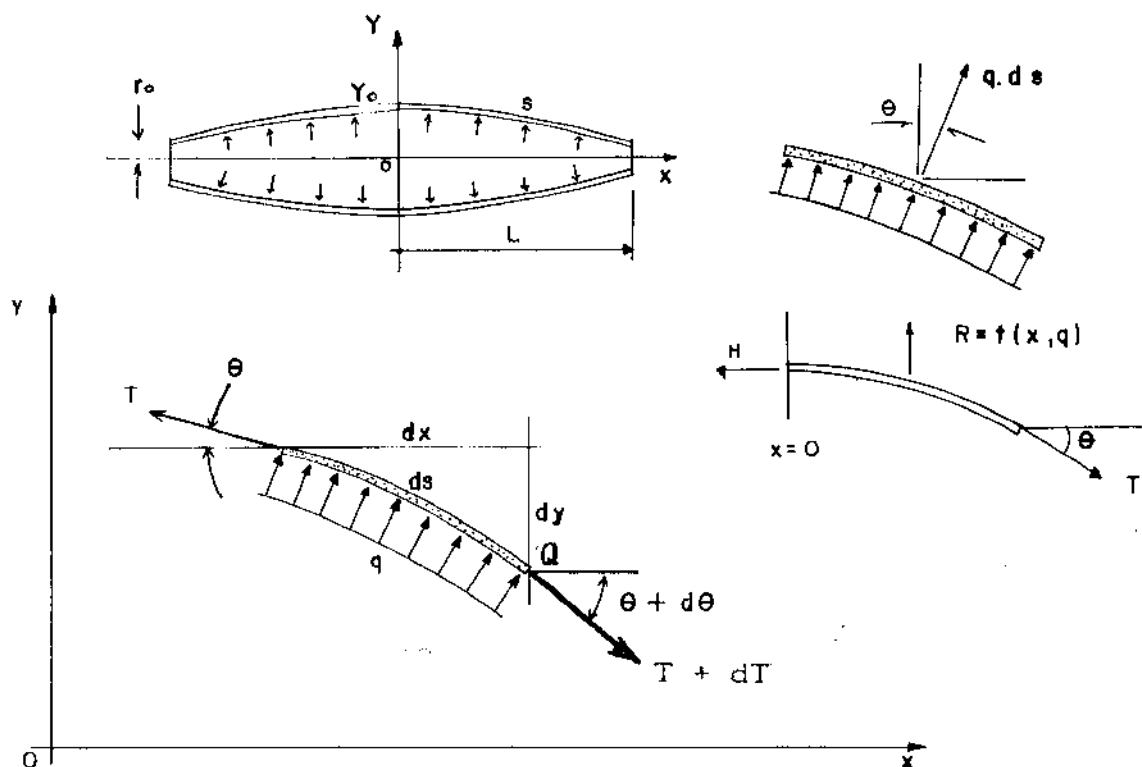


Figura (2.1) Relações geométricas das forças aplicadas para um segmento diferencial do tirante, submetido a uma carga uniformemente distribuída.

$$\sum F_x = -T \cdot \cos\theta + (T + dT) \cdot \cos(\theta + d\theta) + q \cdot \sin\theta \cdot dy = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum F_y = T \cdot \sin\theta - (T + dT) \cdot \sin(\theta + d\theta) + q \cdot \cos\theta \cdot dx = 0 \quad (2.2)$$

$$\sum M_o = q \cdot dx \cdot \epsilon \cdot dx - T \cdot \cos\theta \cdot dy + T \cdot \sin\theta \cdot dx - q \cdot dy \cdot \gamma \cdot dy = 0 \quad (2.3)$$

onde " $\epsilon \cdot dx$ " e " $\gamma \cdot dy$ " são as distâncias fracionárias em relação à origem (ponto O).

Considerando-se que:

$$\cos(\theta + d\theta) = \cos\theta \cdot \cos d\theta - \sin\theta \cdot \sin d\theta = \cos\theta - \sin\theta \cdot d\theta \quad (2.4)$$

$$\sin(\theta + d\theta) = \sin\theta \cdot \cos d\theta + \cos\theta \cdot \sin d\theta = \sin\theta + \cos\theta \cdot d\theta \quad (2.5)$$

No limite, $d\theta \Rightarrow 0$ e consequentemente $\cos d\theta = 1$, $\sin d\theta = d\theta$. Substituindo-se (2.4) e (2.5) nas Equações (2.1) a (2.3), e desprezando-se os quadrados e produtos das pequenas quantidades dT e $d\theta$, resulta:

$$-T.\text{sen}\theta.d\theta + dT\cos\theta = -q.\text{sen}\theta.dy$$

$$T.\cos\theta.d\theta + dT\text{sen}\theta = q.\cos\theta.dx$$

$$T.\cos\theta.dy = T.\text{sen}\theta.dx$$

Pela definição de derivada, tem-se

$$\Sigma F_x : \quad d(T.\cos\theta) = -q.\text{sen}\theta.dy \quad (2.6)$$

$$\Sigma F_y : \quad d(T.\text{sen}\theta) = q.\cos\theta.dx \quad (2.7)$$

$$\Sigma M_o : \quad \text{tg}\theta = dy/dx \quad (2.8)$$

Para a condição de equilíbrio estático, na direção longitudinal (eixo x), tem-se da Equação (2.6):

$$T.\cos\theta = H \quad (2.9)$$

onde H é a componente horizontal ao longo do perfil expandido pela pressão interna. Substituindo-se na Equação (2.7), resulta:

$$d((H/\cos\theta).\text{sen}\theta) = d(H.\text{tg}\theta) = d(H.dy/dx) = q.\cos\theta.dx$$

ou,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = q.(\cos\theta)/H \quad (2.10)$$

Considerando-se o raio de curvatura para o perfil $y = f(x)$, como mostrado na Figura (2.2), tem-se a Equação (2.11):

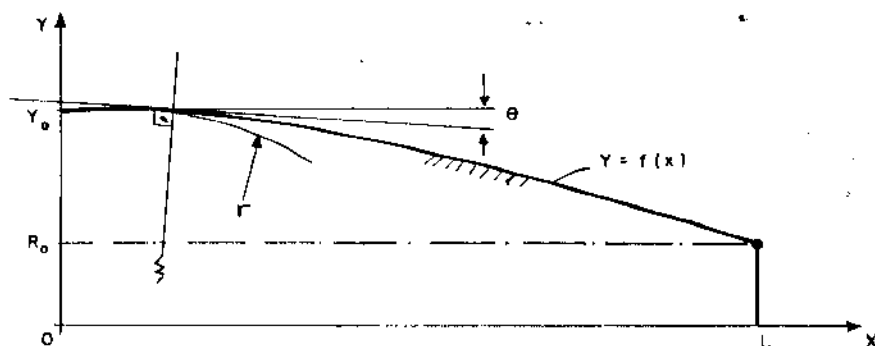


Figura (2.2) Raio de curvatura para o perfil do tirante após a expansão.

$$r = \frac{\sqrt{[1 + (dy/dx)^2]^3}}{d^2y/dx^2} \quad (2.11)$$

Substituindo-se os valores das derivadas, dadas pelas Equações (2.8) e (2.10), segue que

$$r = \frac{((H/q) \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \theta)^{3/2})}{\cos \theta}$$

Sendo,

$$\cos \theta = (1 + \operatorname{tg}^2 \theta)^{-1/2},$$

substituindo-se,

$$r = (H/q) \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \theta)^{3/2} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \theta)^{1/2} = (H/q) \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \theta)^2$$

ou,

$$H = q \cdot r \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \theta)^{-2} = q \cdot r \cdot \cos^4 \theta \quad (2.12)$$

A influência do fator $\cos^4 \theta$ é mostrada na Fig. (2.3), onde nota-se que para pequenos valores de θ , este fator é igual a 1(hum). Para $\theta = 10$ graus o erro seria de 6%.

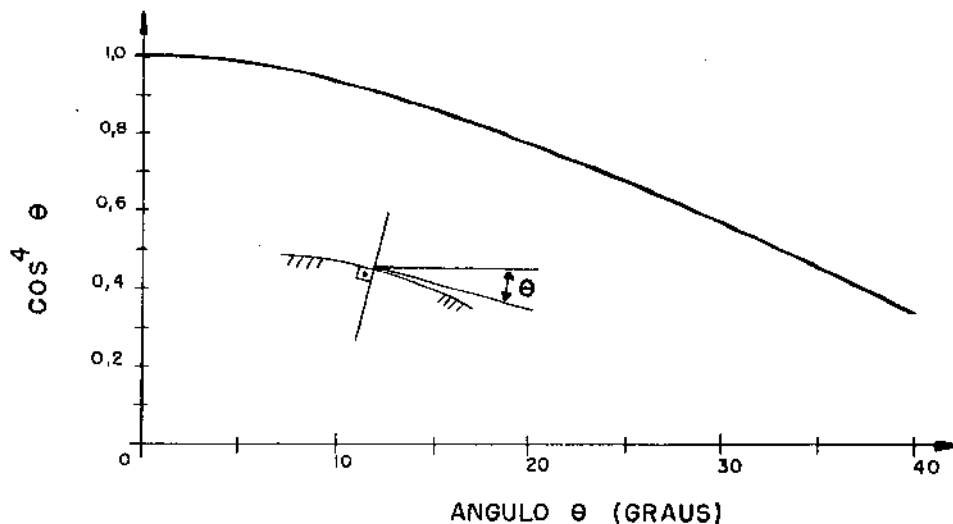


Figura (2.3) - Variação do fator $\cos^4 \theta$ em função do ângulo θ (tangente ao perfil)

A carga uniformemente distribuída (q), na direção perpendicular ao perfil $y = f(x)$, como mostrado na Figura (2.4), referida ao ponto (P, y_0) , onde y_0 é a ordenada assumida pelo tirante sob pressão interna, é dada por

$$q = 2\pi \cdot y_0 \cdot p \quad [\text{kg/cm}] \quad (2.13)$$

para " y_0 " em [cm] e " p " em $[\text{kg/cm}^2]$.

Substituindo-se na Equação (2.12), referida ao ponto de coordenadas (θ, y_0) , onde $\theta = 0$ graus, resulta

$$H = 2 \cdot \pi \cdot p \cdot y_0 \cdot r \quad (2.14)$$

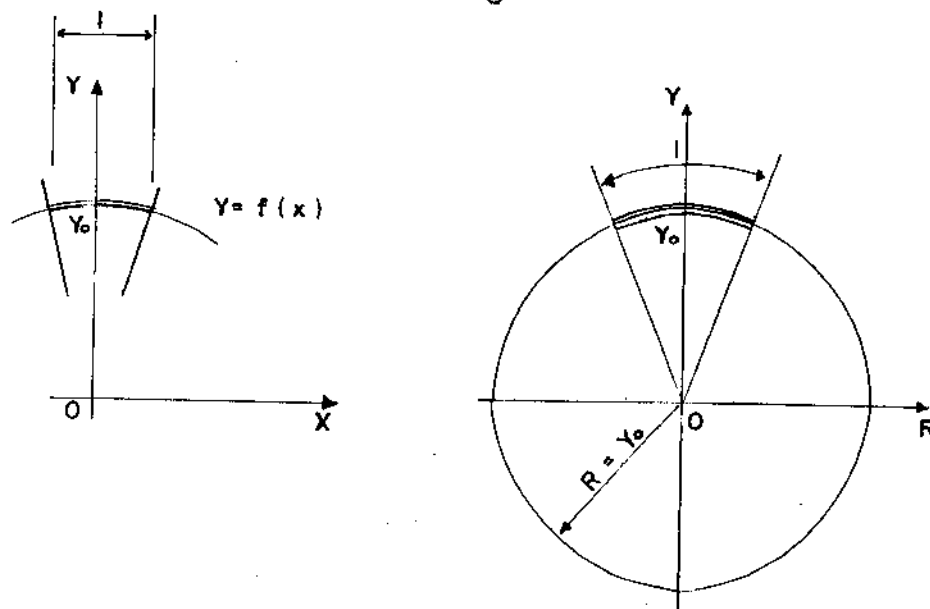


Figura (2.4) - Cargas unitárias sobre o perfil $y = f(x)$ no ponto médio ($x = 0$).

Nota-se nesta equação que para um dado y_0 (deformação) quando $r \rightarrow \infty$, a força axial também tende ao infinito. Esta condição corresponde à situação inicial, quando processa-se a expansão do tubo elástico. Deve-se notar que o aumento de y_0 implica na diminuição do raio de curvatura do perfil, com consequente diminuição da força axial H , como será visto a seguir.

Considerando-se que " n " tirantes convergem para as conexões dos terminais com um raio " R_0 " definido pelo diâmetro do tubo elástico, e que a área desta porção terminal gera uma

força contrária à força axial devida à expansão radial do tubo elástico, tem-se:

$$F_a = H - H_0 = 2.\pi.p.y_0.r - \pi.R_0^2.p$$

ou seja,

$$F_a = \pi.p.(2.y_0.r - R_0^2) \quad (2.15)$$

onde:

F_a = força axial disponível;

H_0 = força axial devida ao terminal.

Quanto menor R_0 maior a força axial disponível, porém existem limitações construtivas devido ao diâmetro do tubo elástico. Pequenos diâmetros dos tubos elásticos não permitem grandes expansões radiais e consequentemente grandes contrações axiais.

A determinação do raio (r) será feita a seguir, em função da forma assumida pelos tirantes sob carga.

2.2 Perfil de expansão do Elemento tensor

Verificou-se experimentalmente (Capítulo 5), que o perfil assumido pelos tirantes após a expansão radial e contração axial satisfaz a uma equação da forma

$$y = y_0 - (a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4)$$

ou seja, existe um polinômio de quarto grau, compatível com a Equação (2.11), relativa ao raio de curvatura, e que satisfaça as seguintes condições:

- No ponto central ($x = 0$) tem-se a ordenada y_0 , correspondente à maior expansão, ver Figura (2.1), ou seja, $y = y_0$ e portanto $a_0 = 0$;

- A tangente ao perfil no ponto central ($x = 0$), é paralela ao eixo x , e portanto $dy/dx = 0$, ou seja, $a_1 = 0$;

- O perfil é simétrico em relação à origem das abcissas (ponto central $x = 0$), e ao centro de curvatura, implicando que $a_3 = 0$.

Destas considerações resulta:

$$y = y_0 - (ax^2 + bx^4) \quad (2.16)$$

onde "a" e "b" são constantes a serem determinadas em função da forma assumida pelo perfil, correspondentes a " a_2 " e " a_4 ", para simplificar a notação. Para definir as constantes "a" e "b" deve-se ter 3 pontos do perfil, como mostrado na Figura (2.5), resultando nas seguintes condições:

- 1) $x = 0, y = y_0$;
- 2) $x = L/2, y = y_m$;
- 3) $x = L, y = R_0$;

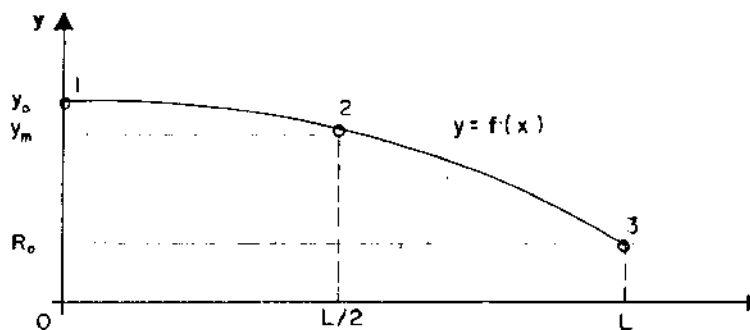


Figura (2.5) - Pontos de referência para a definição do perfil, $y = f(x)$.

A primeira condição é imediatamente satisfeita pela Equação (2.16). As outras duas correspondem a duas equações,

$$y_0 - R_0 = L^2 \cdot a^2 + L^4 \cdot b$$

$$y_0 - y_m = L^2 a/4 + L^4 b/16$$

com duas incógnitas "a" e "b". Na forma matricial, tem-se:

$$\begin{bmatrix} y_0 - R_0 \\ y_0 - y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L^2 & L^4 \\ L^2/4 & L^4/16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \cdot [D]$$

cujas raízes são:

$$a = \frac{\begin{bmatrix} y_0 - R_0 & L^4 \\ y_0 - y_m & L^4/16 \end{bmatrix}}{[D]} = \frac{(y_0 - R_0) \cdot L^4/16 - (y_0 - y_m) \cdot L^4}{-3 \cdot L^6/16}$$

$$b = \frac{\begin{bmatrix} L^2 & y_0 - R_0 \\ L^2/4 & y_0 - y_m \end{bmatrix}}{[D]} = \frac{(y_0 - y_m) \cdot L^2 - (y_0 - R_0) \cdot L^2/4}{-3 \cdot L^6/16}$$

ou seja,

$$a = (15 \cdot y_0 - 16 \cdot y_m + R_0) / 3L^2 \quad (2.17)$$

$$b = (16 \cdot y_m - 12 \cdot y_0 - 4 \cdot R_0) / 3L^4 \quad (2.18)$$

Substituindo-se na Equação geral (2.16), resulta:

$$y = y_0 + \frac{(16y_m - 15y_0 - R_0) \cdot (x/L)^2}{(12y_0 - 16y_m + 4R_0) \cdot (x/L)^4} + \quad (2.19)$$

que permite a determinação da ordenada (y) do perfil, conhecendo-se os valores numéricos do comprimento (L) após a contração, e as ordenadas y_0 e y_m do perfil.

Na Figura (2.6) são apresentadas as curvas típicas de $y = f(x)$ para diferentes valores da ordenada média (y_m). Nota-se que o perfil assume formas características, sendo que para $y_m < 2$

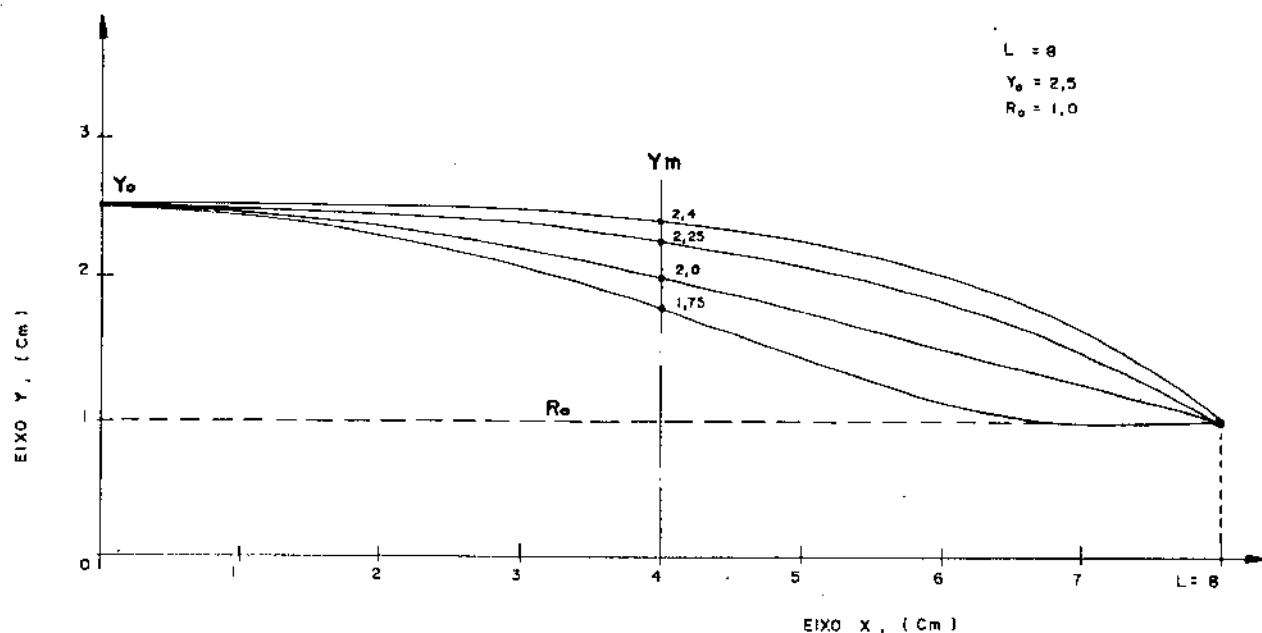


Figura (2.6) - Variação da forma dos perfis em função dos valores da ordenada média (y_m).

as formas não são apropriadas aos perfis verificados experimentalmente. No caso da Figura (2.6), o comprimento total "S" do perfil, que corresponde ao comprimento total do Elemento tensor antes da deformação (sem pressão), é variável. Isto leva à necessidade do cálculo do comprimento desenvolvido "S", para determinação da contração axial como será visto no item (2.4). Embora adotada a hipótese de inextensibilidade dos tirantes, no processo de contração axial real existe deformação elástica.

2.3 Raio de curvatura

As derivadas da Equação (2.16) correspondem aos valores:

$$dy/dx = -2.a.x - 4.b.x^3 = -2.x.(a + 2.b.x^2) \quad (2.20)$$

$$dy/dx = -2.a - 12.b.x^2 = -2.(a + 2.b.x^2) \quad (2.21)$$

Substituindo-se na Equação (2.16) tem-se:

$$r = - \frac{(1 + 4.x^2(a + 2.b.x^2))^{3/2}}{2.a + 12.b.x^2} \quad (2.22)$$

onde as constantes "a", "b" são dadas pelas Equações (2.17) e (2.18), respectivamente.

Casos particulares

Para $x = 0$ resulta em um raio:

$$r_1 = - 1/2.a = - 3L^2/[2.(15.y_0 - 16.y_m + R_0)] \quad (2.23)$$

Para os valores $y_0 = y_m = R_0$ resulta $r = \infty$ pois o denominador é nulo.

Para o valor $x = L/2$. (ponto médio), tem-se:

$$r_2 = - \frac{(a^2.L^2 + a.b.L^4 + b^2.L^6/4 + 1)^{3/2}}{2.a + 3.b.L^2} \quad (2.24)$$

Para o valor $x = L$ (conexão ao terminal) resulta:

$$r_3 = - \frac{(1 + 4.a^2.L^2 + 16.a.b.L^4 + 16.b^2.L^6)^{3/2}}{2.a + 12.b.L^2} \quad (2.25)$$

Estes raios estão indicados na Figura (2.7), e correspondem ao ponto característico do perfil após a expansão radial e a contração axial. Nesta Figura são apresentadas os valores numéricos calculados por meio das Equações (2.23) a (2.25) com os dados adotados para o perfil, apenas para exemplificação.

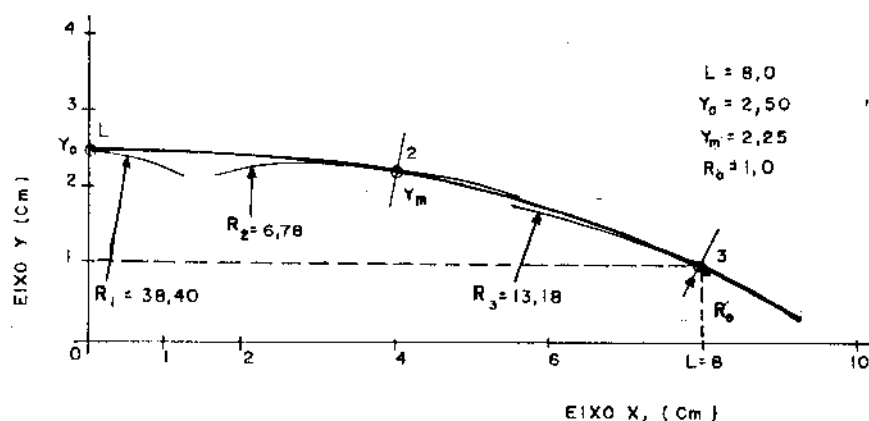


Figura (2.7) - Raios de curvatura para um perfil característico.

2.4 Comprimento retificado do perfil e contração axial

Para um comprimento fixo (S) dos tirantes longitudinais, ao sofrer uma contração axial (ΔL) devido à expansão radial, o perfil $y = f(x)$ assume diferentes posições, como mostrado na Figura (2.8). Como não há deformação elástica (hipótese admitida), resulta:

$$S = L_i + \Delta L = \text{cte} \quad (2.26)$$

ou seja, os comprimentos " L_i ", após a contração axial assumem diferentes valores, em função dos deslocamentos ΔL_i , existindo uma correlação entre eles.

Para um elemento dS do perfil (ver Figura (2.1)), vale a equação diferencial:

$$dS = [(dx)^2 + (dy)^2]^{1/2} = [1 + (dy/dx)^2]^{1/2} \cdot dx$$

Substituindo-se a derivada dy/dx dada pela Equação (2.20), e integrando-se, resulta:

$$S = \int_0^L ds = \int_0^L [1 + 4 \cdot x^2 (a + 2 \cdot b \cdot x^2)]^{1/2} \cdot dx$$

A solução analítica desta Equação é bastante

complexa. A melhor solução (mais prática) é a integração numérica, das quais existem duas regras básicas:

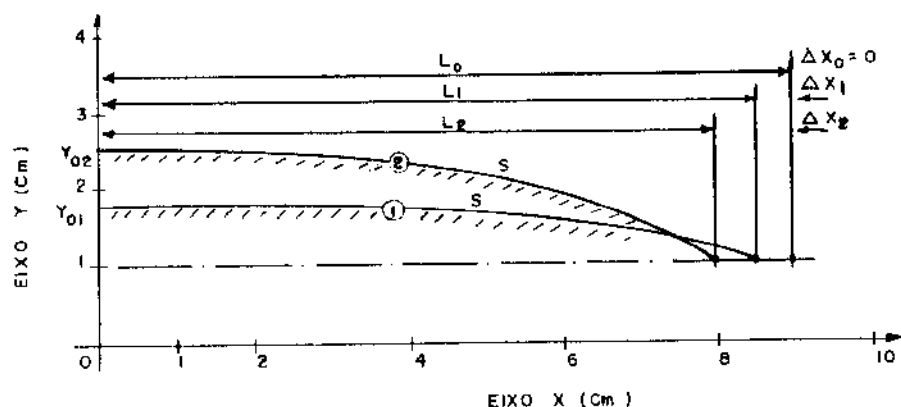


Figura (2.8) - Variação dos deslocamentos em função da forma dos perfis.

a) Regra do trapézio;

b) Regra de Simpson (regra parabólica).

Utilizando-se a "Regra do trapézio" que apresenta boa aproximação devido à pequena curvatura do perfil $y = f(x)$,

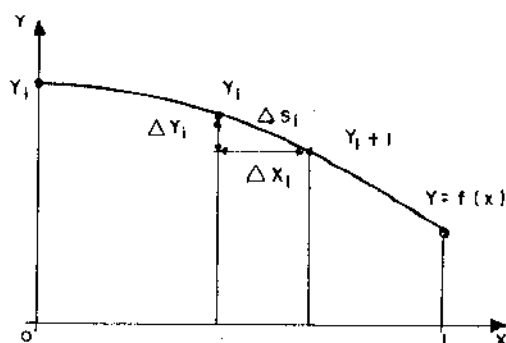


Figura (2.9) - Integração pela "Regra do trapézio" para determinação do comprimento desenvolvido do perfil.

conforme Figura (2.9), tem-se:

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i = \sum_{i=1}^n (\Delta y_i^2 - \Delta x_i^2)^{1/2} \quad (2.27)$$

onde "n" é o número de intervalos idênticos, e $\Delta x_i = L/n$.

Como a função $y = f(x)$ é sempre decrescente, tem-se as relações:

$$\Delta y_i = y_i - y_{i+1} \quad ; \quad \Delta x_i = x_{i+1} - x_i \quad (2.28)$$

substituindo-se na Equação (2.27), resulta

$$S = \sum_{i=1}^n [(y_i - y_{i+1})^2 + (x_{i+1} - x_i)^2]^{1/2} \quad (2.29)$$

Na Tabela (2.1) são apresentados os valores calculados para os segmentos ΔS_i , para os valores de L , y_0 , y_m e R_0 adotados na Figura (2.7). Neste exemplo, foi adotado o caminho inverso, ou seja, calcular o comprimento "S", sendo na realidade desejável calcular ΔL total a partir de uma medida "S" do Elemento tensor e do perfil assumido por $y = f(x)$, ou seja,

$$\Delta L = S - L \quad (2.30)$$

Tabela (2.1) - Valores calculados para a determinação do comprimento desenvolvido S, com os dados apresentados na Figura (2.7).

i	x_i	x_{i+1}	y_i	y_{i+1}	ΔS_i	$\sum \Delta S_i$ acumu.
1	0,0	1,0	2,5000	2,4868	1,0001	1,0001
2	1,0	2,0	2,4868	2,4453	1,0009	2,0010
3	2,0	3,0	2,4453	2,3696	1,0029	3,0039
4	3,0	4,0	2,3696	2,2500	1,0071	4,0110
5	4,0	5,0	2,2500	2,0728	1,0156	5,0266
6	5,0	6,0	2,0728	1,8203	1,0314	6,0580
7	6,0	7,0	1,8203	1,4712	1,0592	7,1172
8	7,0	8,0	1,4712	1,0000	1,1055	8,2227
					S =	8,2227

No caso dos dados da Tabela (2.1), resulta:

$$\Delta L = S - L = 8,2227 - 8,0000 = 0,2227 \text{ cm} = 2,227 \text{ mm}$$

para a contração axial em uma metade do perfil, ou seja, para uma contração total (ΔL_t) resulta:

$$\Delta L_t = 2 \cdot \Delta L \quad (2.31)$$

$$\Delta L_t = 2 \cdot 2,227 = 4,454 \text{ mm}$$

O caso prático resume-se em encontrar os valores " y_o " e " y_m " que satisfazem a uma contração axial " ΔL " do Elemento tensor. Por isso, foi construído um dispositivo para medida das contrações axiais, que será descrito no capítulo 4.

CAPÍTULO TERCEIRO

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL PARA MEDIDA DA FORÇA E DO DESLOCAMENTO

3.1 Preparação do experimento

O objetivo do experimento a ser realizado é medir as variáveis que definem o comportamento do Elemento tensor, em sua função normal. A dificuldade prática de se medir deslocamento e ao mesmo tempo a força gerada, exigiu cuidado no aprimoramento das idéias que compõem o projeto do equipamento de medição, que é descrito neste capítulo.

3.2 O equipamento de medição

A Figura (3.1), mostra as vistas lateral, superior e de situação do equipamento de medição, que especifica a melhor posição para sua localização. Os maiores detalhes são mostrados na vista do conjunto montado, Figura (3.1.a). A viga suporte (número 1) é a estrutura para todo o equipamento de medição; no suporte superior (número 2) está fixada a célula de carga, na qual é rosca a conexão (número 4) do Elemento tensor. No suporte inferior, (número 3) existe um mecanismo que liga o Elemento tensor às polias de força (número 5), mantendo o contacto com o LVDT (Transdutor de deslocamento variável linear), que fornece a leitura instantânea do deslocamento produzido pelo Elemento tensor. Através do uso do porta pesos (número 6), ligado às polias de força, é possível variar a força, que atua sobre o Elemento tensor.

3.3 Dispositivos auxiliares

Conjugado com o equipamento de ensaio, existem

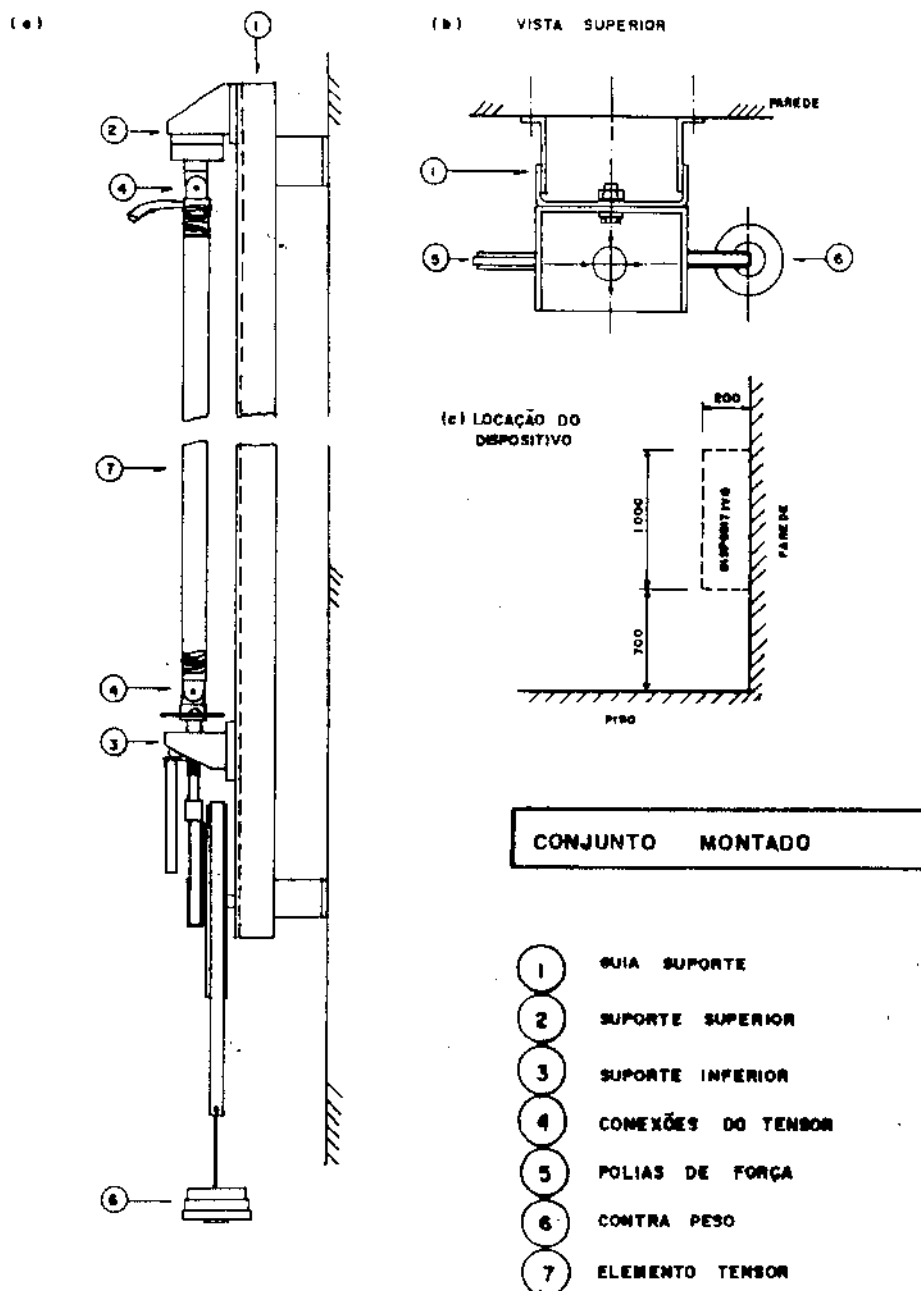


Figura (3.1) Dispositivo para ensaio de Elementos tensores:
 (a) Conjunto Montado; (b) vista superior (c) localização do
 dispositivo em uso normal.

dispositivos auxiliares que permitem o melhor desempenho dos testes de medida. A Figura (3.2), mostra um esquema de funcionamento dos equipamentos utilizados durante os experimentos. O com-

pressor e reservatório (número 1), fornecem o ar comprimido, que passa através do filtro regulador (número 2). A leitura da pressão é feita no manômetro (número 3). A célula de carga (número 7) e o medidor de deslocamento (número 6), fazem suas leituras diretamente do Elemento tensor (número 4).

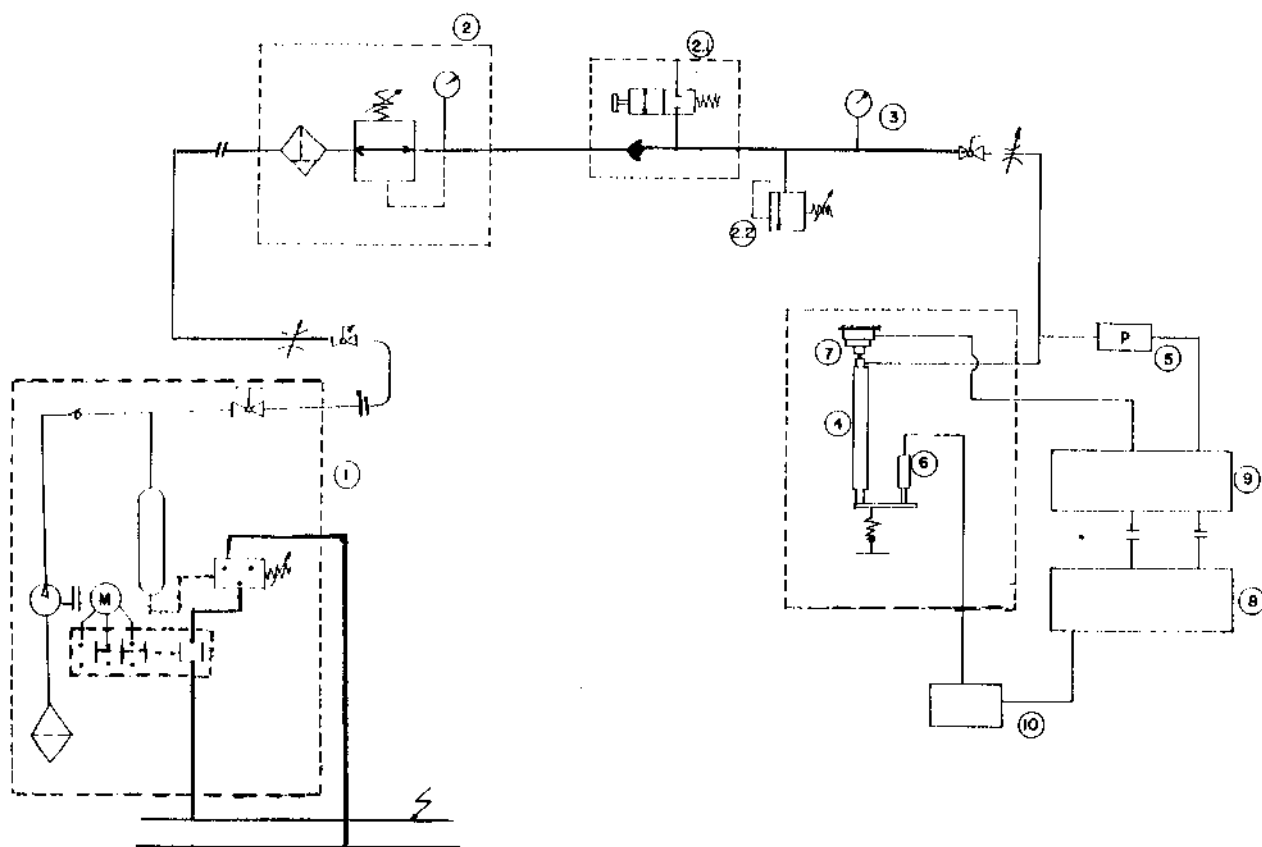


FIG. 13.21 ARRANJO FÍSICO DO DISPOSITIVO PARA TESTES DE ELEMENTOS TENSORES

1- COMPRESSOR + RESERVATÓRIO; 2- FILTRO + REGULADOR; (2.1- VALVULA DE CONTROLE; 2.2- VALVULA DE SEGURANÇA); 3- MANÔMETRO (0-2,5 bar); 4- ELEMENTO TENSOR; 5- TRANS-DUTOR DE PRESSÃO 0-7 kg / cm²; 6- MEDIDOR DE DESLOCAMENTO 0-30 mm E 0-30 mm; 7- CELULA DE CARGA (DINAMÔMETRO) 0-200 lb; 8- REGISTRADOR DE 3 CANAIS; 9- PONTE AMPLIFICADORA; 10- VOLTÍMETRO.

3.3.1 Alimentação e controle do ar comprimido

O controle manual da pressão é feito através do uso do regulador de pressão, que pode ser verificada visualmente pelo manômetro (Figura 3.4)), que fornece as medidas de pressão em bar.

As válvulas de controle (2.1) e de segurança (2.2), embora não façam parte diretamente do experimento, são utilizadas para maior segurança dos equipamentos.

3.3.2 - Medida do deslocamento

O transdutor de deslocamento variável linear, LVDT, possui um núcleo, que ao deslocar-se em um campo magnético, produz uma variação de voltagem proporcional ao deslocamento do núcleo. Este dispositivo não necessita estar ligado à ponte amplificadora (número 9), achando-se conectado apenas à fonte (número 10) e esta fonte ao voltímetro utilizado para as leitura, Figura (3.5).

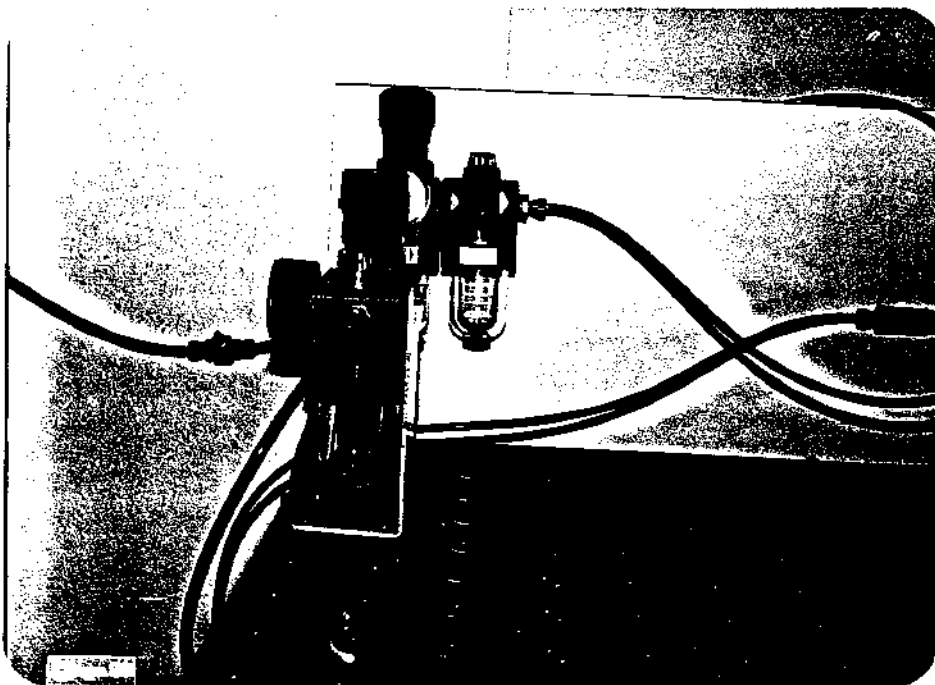


Figura (3.3) Filtro, regulador de pressão e lubrificador para alimentação de ar comprimido.

3.3.3 Medidas de força

A célula de carga é um transdutor que libera voltagens proporcionais às forças com que é solicitado. A Figura (3.6), mostra a célula de carga conectada ao equipamento de medição. A célula de carga foi calibrada substituindo-se o Elemento tensor por uma barra rígida. A medida que os pesos são colocados sobre o suporte, (número 6, da Figura (3.1)) é feita a leitura da célula de carga e do LVDT para observar o comportamento do equipamento de medição durante o experimento.

Maiores detalhes sobre a calibração dos instrumentos são fornecidas nos Apêndices A e B.

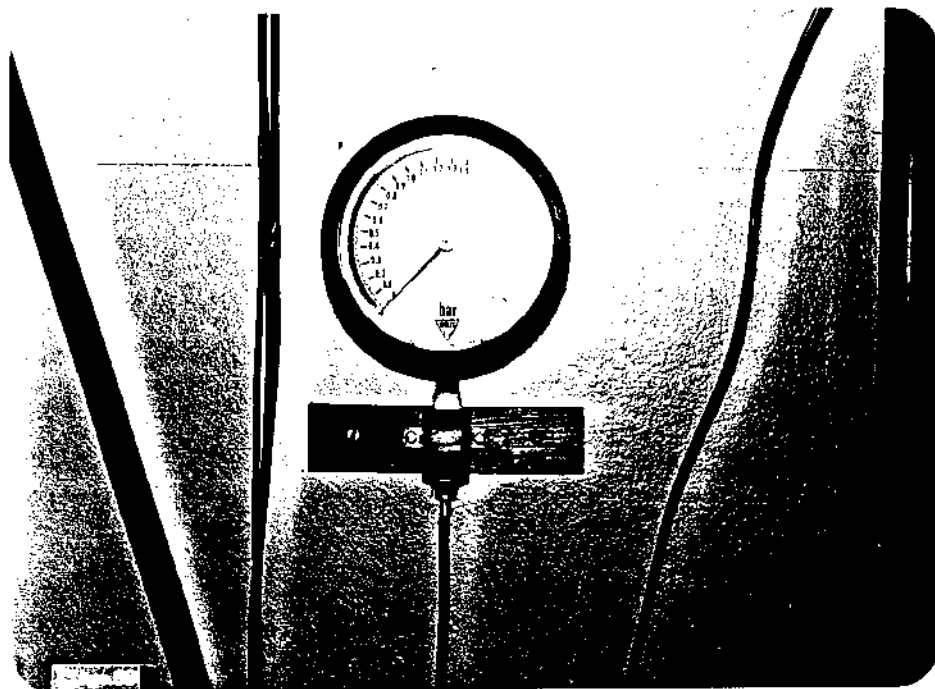


Figura (3.4) Manômetro de pressão para medida da pressão de alimentação.

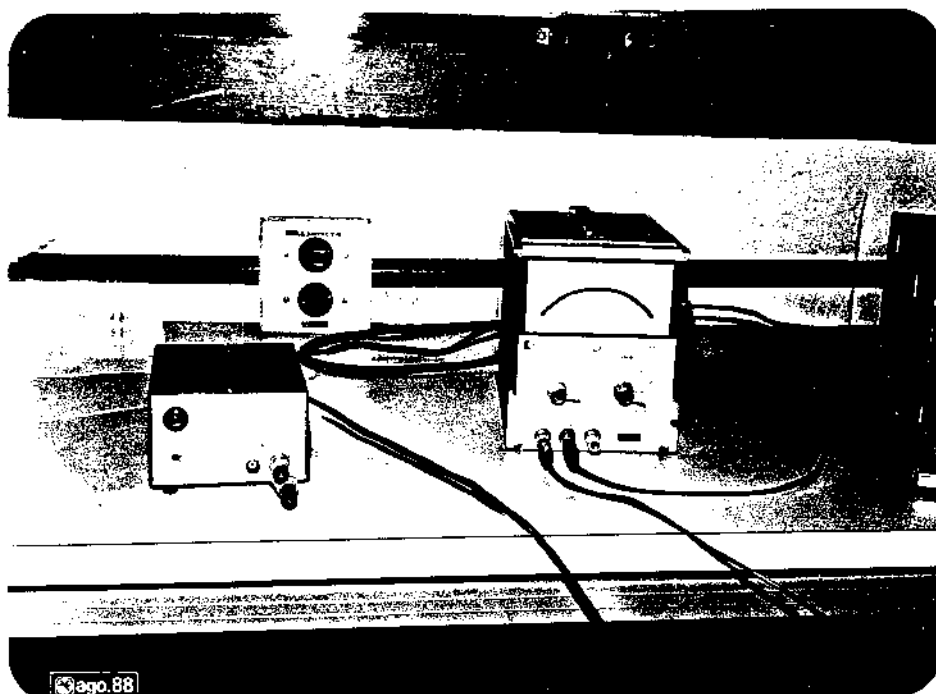


Figura (3.5) Fonte para o LVDT e Voltímetro para a célula de carga.

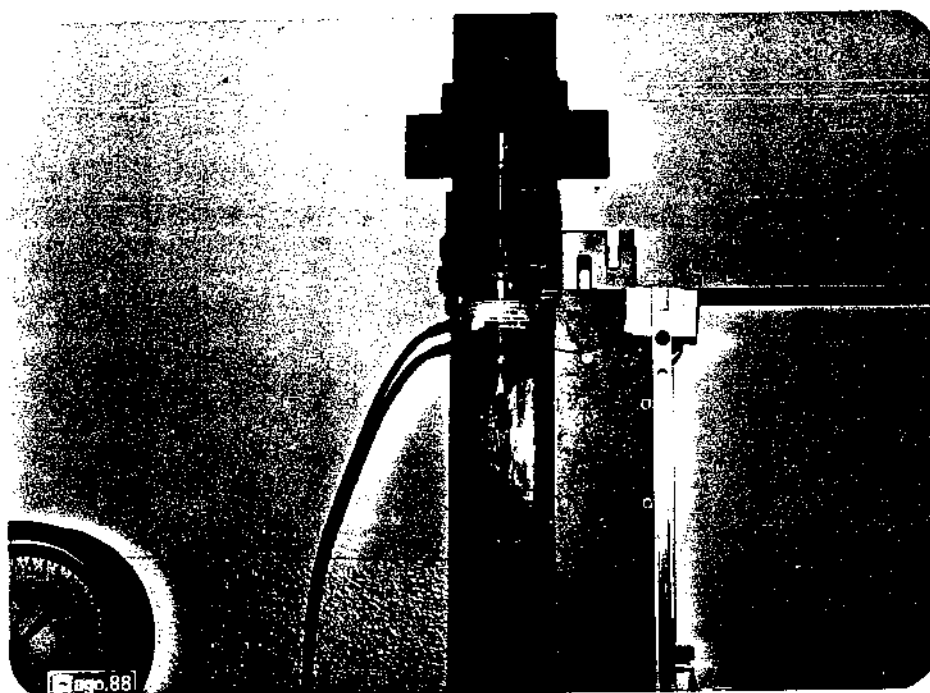


Figura (3.6) Célula de carga

ELEMENTOS TENSORES

4.1 Conjunto montado

O elemento tensor analisado neste trabalho, sofreu inúmeras modificações até atingir o estágio mostrado na Figura (4.1), os modelos construídos anteriormente são comentados no item seguinte. Os componentes principais na confecção e funciona-

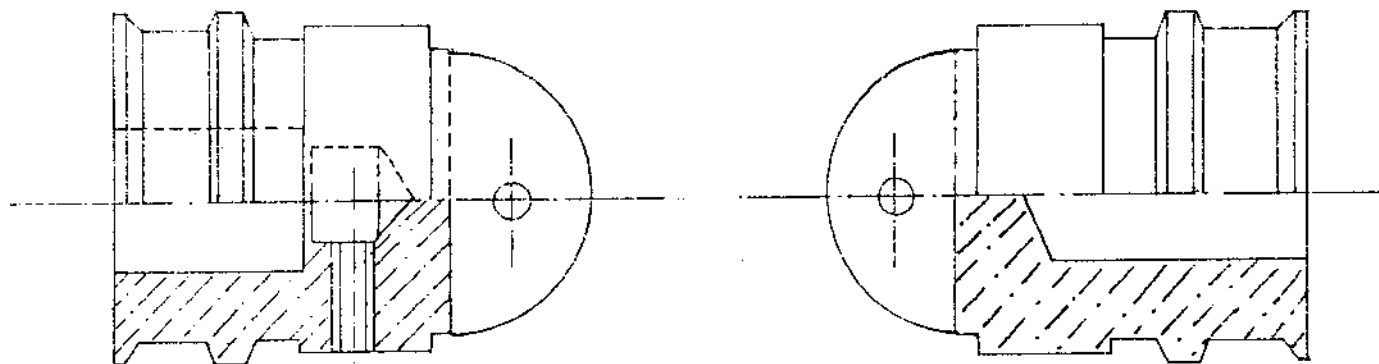


Figura (4.1) terminais de conexão do Elemento tensor

mento do Elemento tensor, são comentados nos parágrafos seguintes.

4.1.1 As extremidades rígidas

As extremidades devem ser de uma liga leve, neste caso utilizou-se o alumínio, cuja resistência a tração e rigidez são satisfatórias para os objetivos do experimento. Verifica-se na extremidade à direita, Figura (4.1), a conexão onde é introduzida a mangueira de ar e a passagem para o ar comprimido. As ranhuras superficiais servem para permitir uma melhor fixação dos reforços (ou tensores) e da câmara de ar. Ao centro é possível

observar um furo axial por onde deve ser encaixado os tubos guias, observe-se ainda à esquerda um desbaste que permite a fixação da mola de retorno, Figura (4.2).

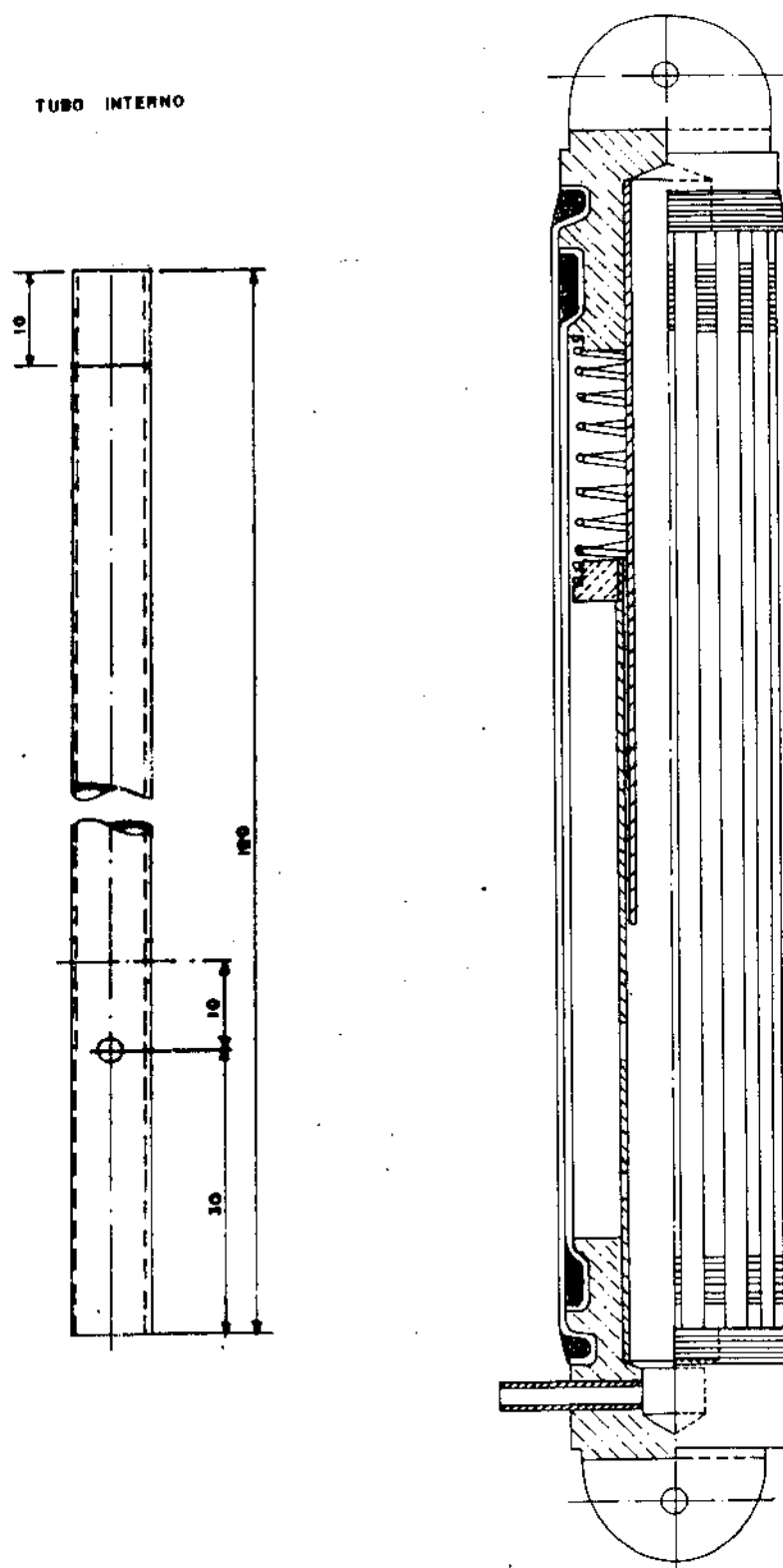


Figura (4.2) Elemento tensor

4.1.2 Tensores ou reforços

Os reforços são fixados às extremidades com cola e arames de aço finos (corda de piano). Estes tensores são distribuídos sobre toda a superfície com o objetivo de transmitir a expansão radial às extremidades, transformando dessa forma a expansão radial em deslocamento axial.

4.2 Considerações sobre os modelos construídos

4.2.1 Tensores colados

A princípio, imaginou-se que se os reforços fossem colados a câmara de ar, facilitaria o melhor desempenho do elemento tensor, porque este transmitiria toda e qualquer mudança de contorno radial para a direção axial. A experiência mostrou, entretanto, que a cola produz tensões entre os reforços e a câmara de ar, provavelmente devido a diferentes coeficientes de elasticidade entre os dois materiais, o que provoca diferentes deslocamentos superficiais.

Nos últimos protótipos construídos foi eliminado a cola como elemento fixador entre a câmara de ar e os tensores. Verificou-se que pelo fato da câmara deslizar livremente houve um aumento do deslocamento axial. Esta experiência determinou a eliminação da cola para fixar os tensores.

4.2.2 Tipos de tensores

Alguns Elementos tensores foram construídos com reforços de aço, finos arames que se estendiam longitudinalmente sobre a superfície da câmara de ar. Estes reforços apresentavam a desvantagem de atuarem como um fio de lâmina sobre a superfície da câmara de ar, Figura (4.3).

Uma solução procurada foi utilizar fios maleáveis recobertos por plásticos. Esta experiência, também, foi abandonada



Figura (4.3) Falha por corte longitudinal do Elemento tensor.

por duas razões:

a) Com a ausência da cola, que mantinha os fios no lugar e evitava uma distribuição não uniforme da expansão, ocorria escape da câmara de ar, durante a expansão, por entre os fios e não havia transmissão da expansão radial para o deslocamento axial.

b) Houve um excessivo aumento da não-linearidade, muito provavelmente devido ao plástico que recobria os arames.

Após todos estes experimentos a reflexão mostrava que o reforço ideal teria que ser flexível na direção transversal e o mais resistente possível na direção longitudinal. Dentro das possibilidades dos recursos disponíveis nesta pesquisa utilizou-se uma fita plástica, que é utilizada comercialmente como amarra para grandes embalagens.

4.3 Coeficiente de elasticidade

Uma pergunta que pode surgir é: quanto se estende o Elemento tensor durante os experimentos? Para responder esta

pergunta foi feita uma experiência somente com os pesos, que atuam sobre o Elemento tensor e colhido os dados mostrados na Tabela (4.1). É importante salientar que durante o experimento o Elemento tensor não foi expandido.

O peso mostrado na primeira coluna é colocado sobre o porta peso com o Elemento tensor colocado sobre o dispositivo de medição, Figura (3.1). Os valores da deformação axial devido ao peso é anotado nas colunas seguintes. Este processo é repetido por seis vezes. Na última coluna mostra-se o peso total acumulado que atua sobre o elemento tensor.

É possível verificar observando o último dado na coluna da média, que o máximo valor da deformação para 35,43 kg é de 0,79 mm. Este é um valor significativo se observarmos os valores do deslocamento axial. Acredita-se que este valor pode ser reduzido a valores pouco significativo, em relação ao deslocamento axial, quando for construído o protótipo industrializado utilizando materiais especialmente desenvolvidos.

Tabela (4.1)
Deformações axiais do Elemento tensor
Protótipo

Pesos aplicados	Deslocamento (μm)						Média	Força Total Aplicada [kg]
	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_4	ϵ_5	ϵ_6		
[g]								
453,4	37	110	37	37	37	74	55	2,67
655,4	110	184	73	110	110	220	134	5,54
995,9	184	220	184	220	220	294	220	10,52
991,0	220	440	294	331	294	404	331	15,48
996,7	294	514	441	404	441	477	429	20,46
1000,0	441	624	551	551	514	624	551	25,46
993,4	624	735	698	624	588	735	667	30,43
1000,0	735	808	845	808	698	845	790	35,43

O coeficiente elástico é encontrado através da

Figura (4.4) e possui o valor de 45 kg/mm . Estes valores não serão significantes nas análises do deslocamento e força (capítulo 5).

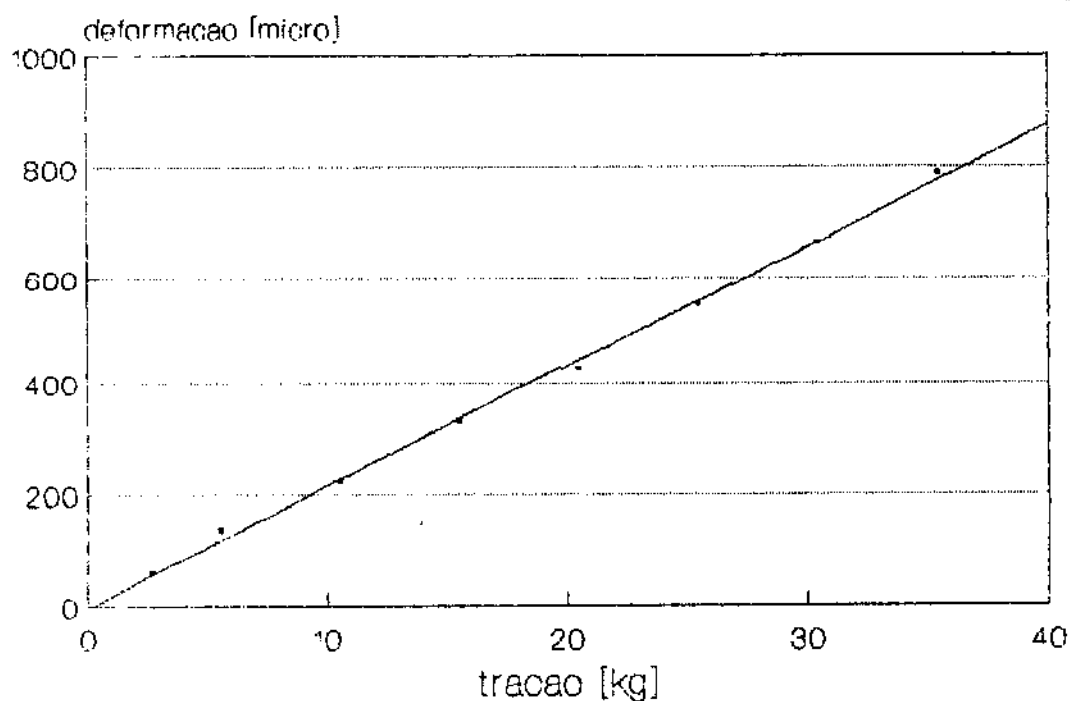


Figura (4.4) Deformação do Elemento tensor protótipo em função da atuação do peso.

MEDIDAS EFETUADAS

5.1 Deslocamento axial em função da pressão e carga aplicada

5.1.1 Histórico dos experimentos

Vários tipos de Elementos tensores foram construídos até se alcançar uma boa performance nos últimos modelos. Para ilustrar os deslocamentos axiais obtidos com os vários modelos, mostra-se as relações obtidas nestes Elementos tensores nas Figuras (5.1) a (5.5), cujos dados experimentais se encontram no Apêndice C, Tabelas (C.1.1) a (C.5.8).

Na Figura (5.1) verifica-se que o Elemento tensor construído com reforços de fios encapados apresenta deslocamento axial significativo após a pressão de 0,6 bar. O efeito da elasticidade dos fios, colados sobre a câmara de ar, provoca um aumento constante do deslocamento axial com a pressão e uma ligeira expansão no início dos experimentos.

A Figura (5.2), mostra as curvas obtidas para o experimento com o Elemento tensor com fitas coladas sobre a câmara de ar, e verifica-se um deslocamento ligeiramente maior para as mesmas pressões, e as curvas apresentadas são mais suaves.

A Figura (5.3), mostra o resultado de experimentos com o Elemento tensor com fitas sem cola. Verifica-se uma grande redução da pressão necessária para a expansão e geração da força disponível para vencer a tração sobre o Elemento tensor. O deslocamento axial é também muito aumentado. Por isto, a cola não mais participa dos próximos Elementos tensores e as fitas passam a participar na construção dos próximos Elementos tensores. Por observação experimental, verifica-se que uma reduzida área sobre a superfície é que comanda a expansão do Elemento tensor. Assim, reduziu-se o comprimento de 32 cm para 18 cm e testou-se

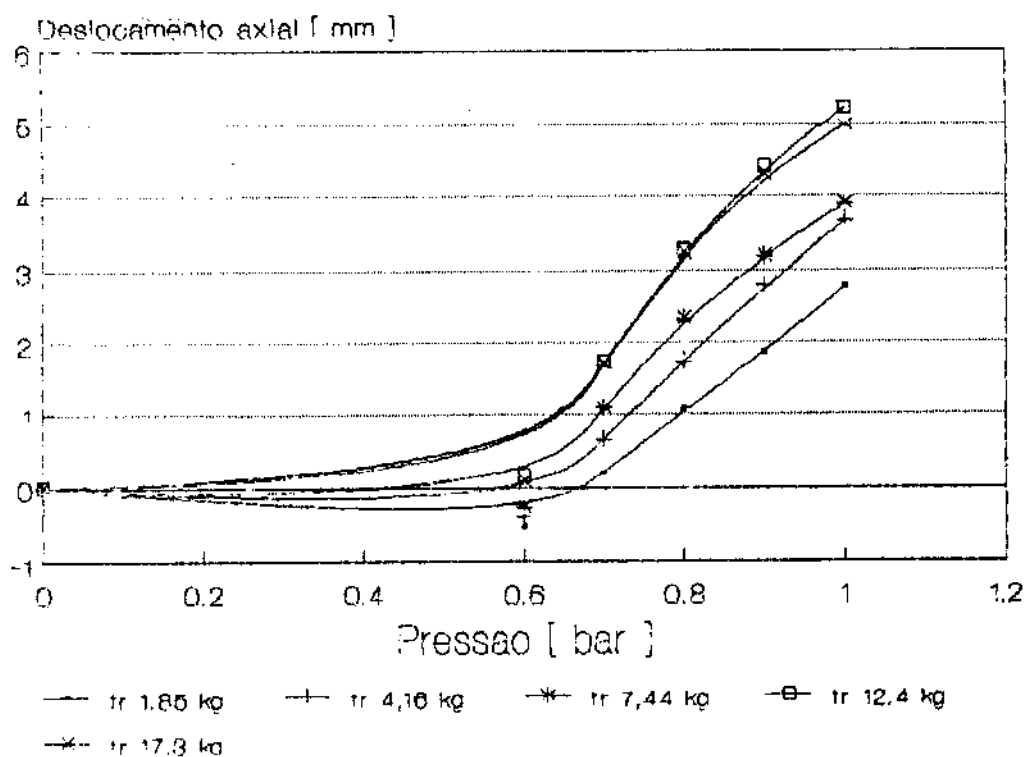


Figura (5.1) Reforço com fios encapados colados sobre a câmara ar.

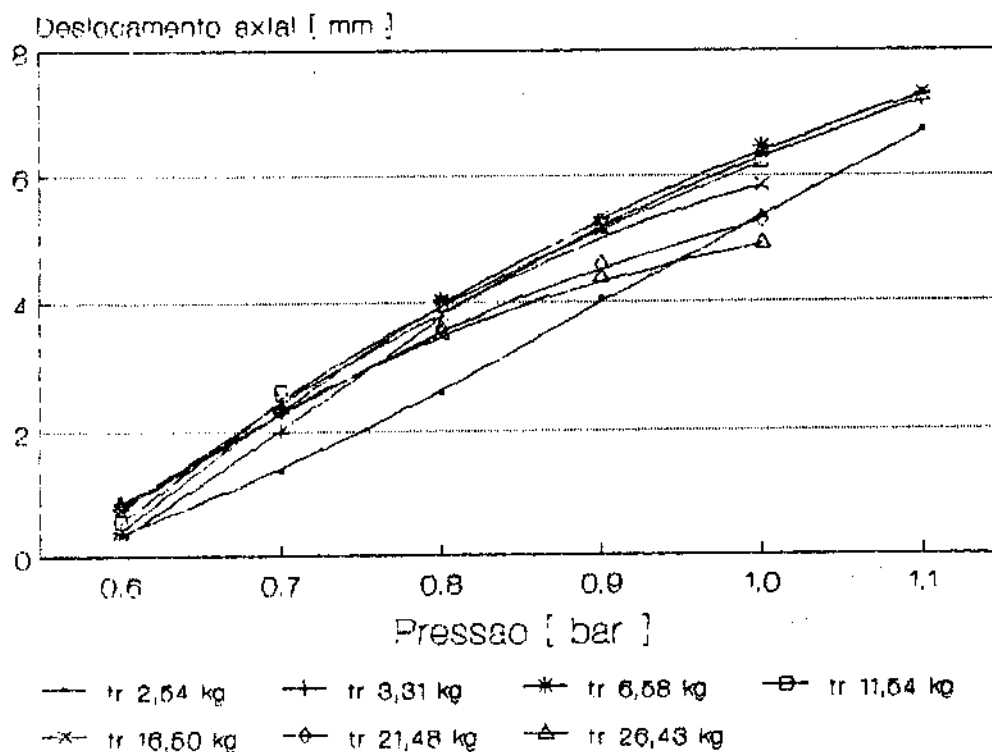


Figura (5.2) Reforço com fitas plásticas coladas sobre a câmara de ar.

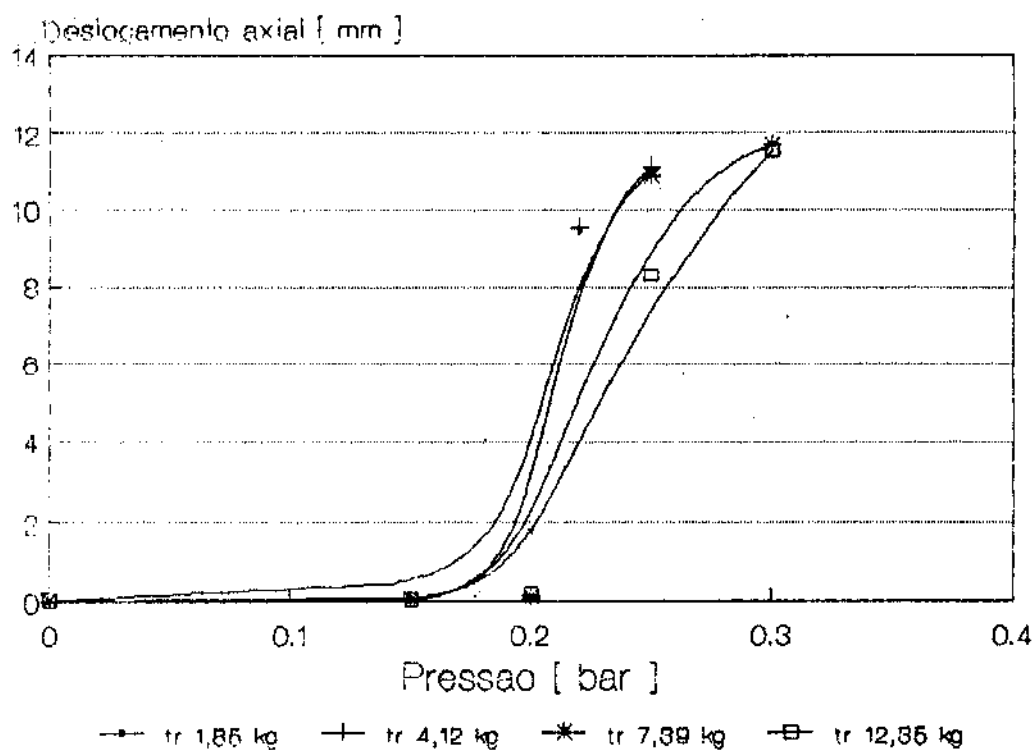
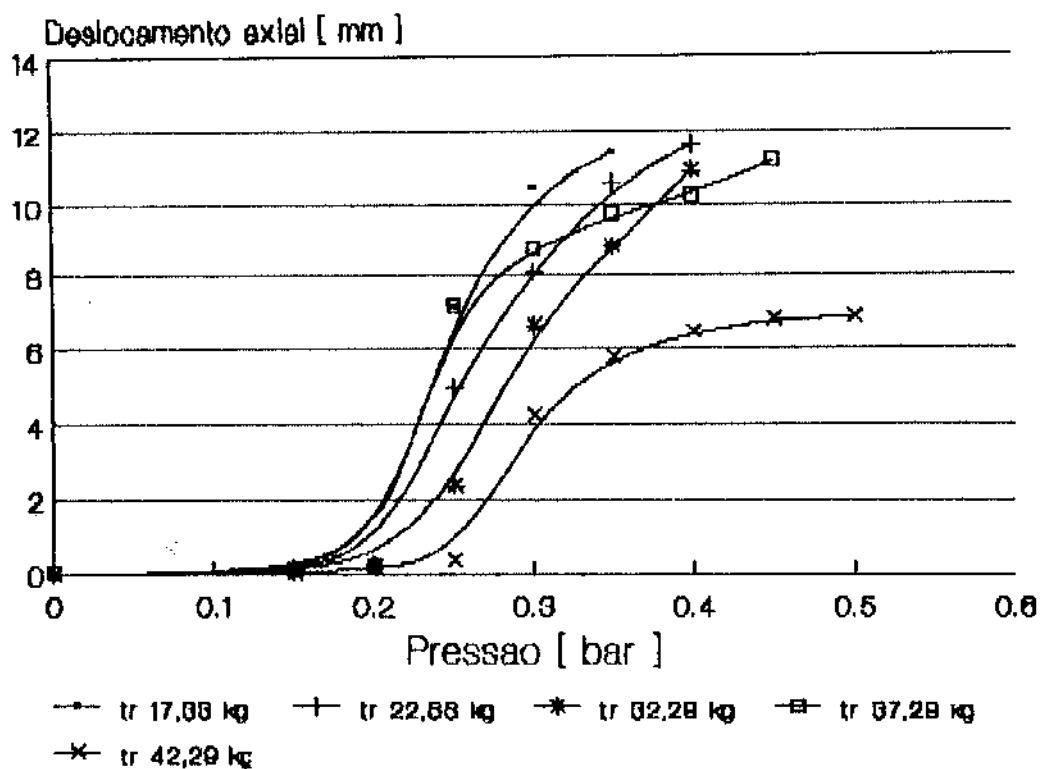


Figura (5.3) Reforço de fitas plásticas (sem cola)

também, um modelo com 12 cm de comprimento.

Nestes experimentos ficou evidente a necessidade de se procurar desenvolver o sistema de fixação da câmara e reforços sobre as extremidades. O escape e escorregamento das extremidades ocorria, na maioria das vezes, nos experimentos com trações maiores.

A Figura (5.4), mostra as curvas obtidas para o Elemento tensor com 18 cm de comprimento. As curvas nos últimos experimentos são novamente influenciadas pelo escape das extremi-

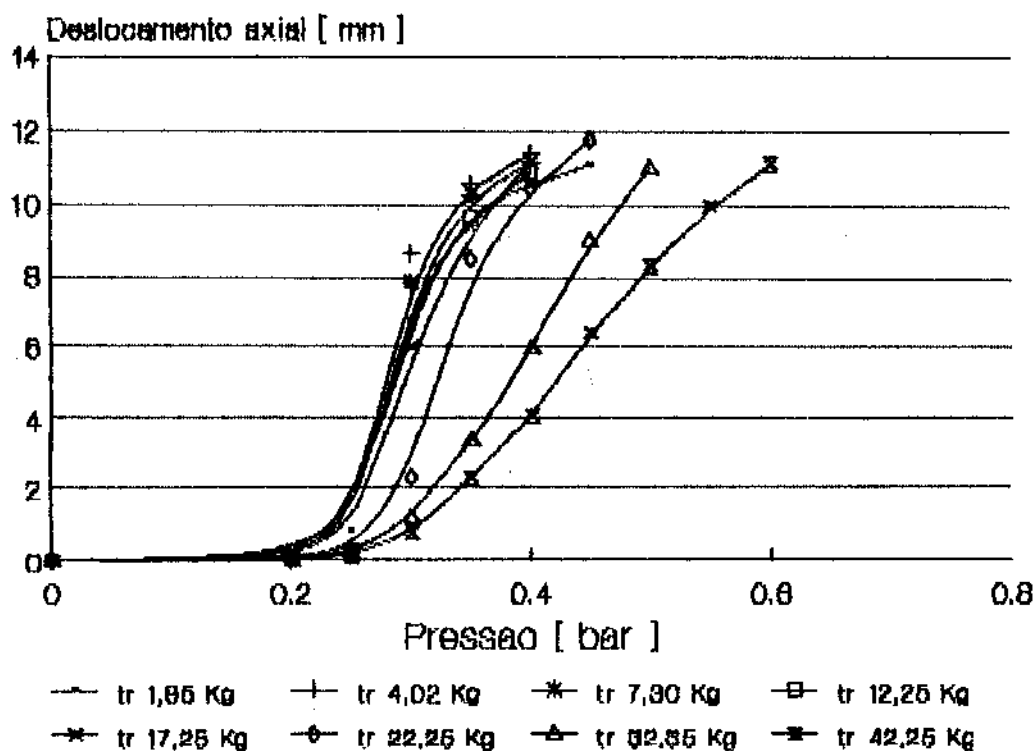


Figura (5.4) Fitas plásticas (sem cola), 18 cm de comprimento.

dades. As primeiras curvas apresentam um bom índice de repetibilidade com um notável deslocamento axial, e a capacidade de leitura do LVDT é rapidamente atingida.

A Figura (5.6), é o resultado dos experimentos relativo ao Elemento tensor de 12 cm de comprimento. Nota-se que este Elemento, também, possui boa repetibilidade, e também atinge o deslocamento máximo do LVDT.

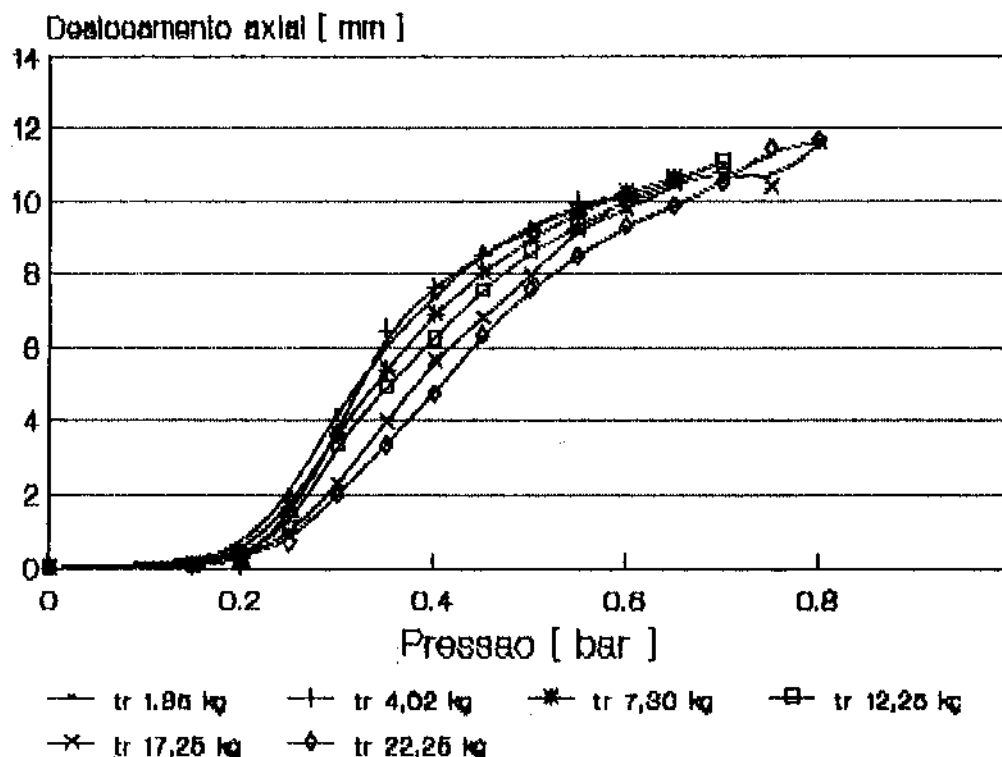


Figura (5.5) Elemento tensor de 12 cm

5.1.2 O protótipo

Com toda a experiência acumulada durante os vários experimentos realizados com os Elementos tensores construídos anteriormente, foi possível desenvolver o modelo apresentado na Figura (4.2). Este possui um eficiente sistema de fixação e uma mola de retorno, que é fixada sobre um tubo guia, entre outros itens.

As curvas obtidas para as relações entre pressão e deslocamento axial são mostradas na Figura (5.6). O deslocamento máximo é reduzido devido a variação máxima da mola de retorno, que se encontra dentro do Elemento tensor, e atua em sentido contrário ao movimento axial. Verifica-se, observando-se a figura, que as curvas apresentam maior repetibilidade nestes experimentos. As duas primeiras curvas estão ligeiramente diferentes. Isto ocorre porque o material da câmara de ar não é próprio para este fim, e apresenta alguma resistência à expansão no início dos experimentos.

5.2 Perfis de expansão

Os perfis de expansão foram coletados durante os experimentos utilizando-se pressões que variam de 0,0 (zero) até 0,5 (meio) bar, com intervalos de 0,05 bar entre elas. Os perfis obtidos foram sobrepostos, Figura (5.7), para facilitar a análise a ser desenvolvida no próximo capítulo.

Observa-se um perfil semelhante para os vários casos, não importando o peso a ser erguido. Obviamente, o maior ou menor peso provocará menor mudança no perfil. Observa-se que a expansão do diâmetro médio é diminuída com o aumento do peso. Isto é consequência da tração longitudinal (exercida pelo peso) que se transmite para a direção axial.

5.3 Considerações sobre os resultados das medidas efetuadas

5.3.1 Sobre os Elementos tensores construídos anteriormente

É possível verificar que estes Elementos já possuem um comportamento que está próximo do esperado para o Elemento tensor protótipo. A dificuldade de construção que os inviabilizou, pode tranquilamente ser superada em outras pesquisas que objetivem a construção industrial, desde que verifique-se a viabilidade econômica e técnica.

5.3.2 Sobre o protótipo construído

Já possui uma característica básica: tem uma boa repetibilidade, que é uma característica industrial básica para sua utilização em larga escala, podendo ser melhorada com a utilização de um material expensor com maior elasticidade.

5.3.3 Sobre os perfis

As pequenas variações entre os perfis sugere que a força disponível durante a expansão, não se modifica muito por causa da força de tração que atua sobre o Elemento tensor. Por-

tanto, os valores atingidos, a cada pressão em uma determinada tração axial, pouco diferem dos valores atingidos para um outro valor de tração axial.

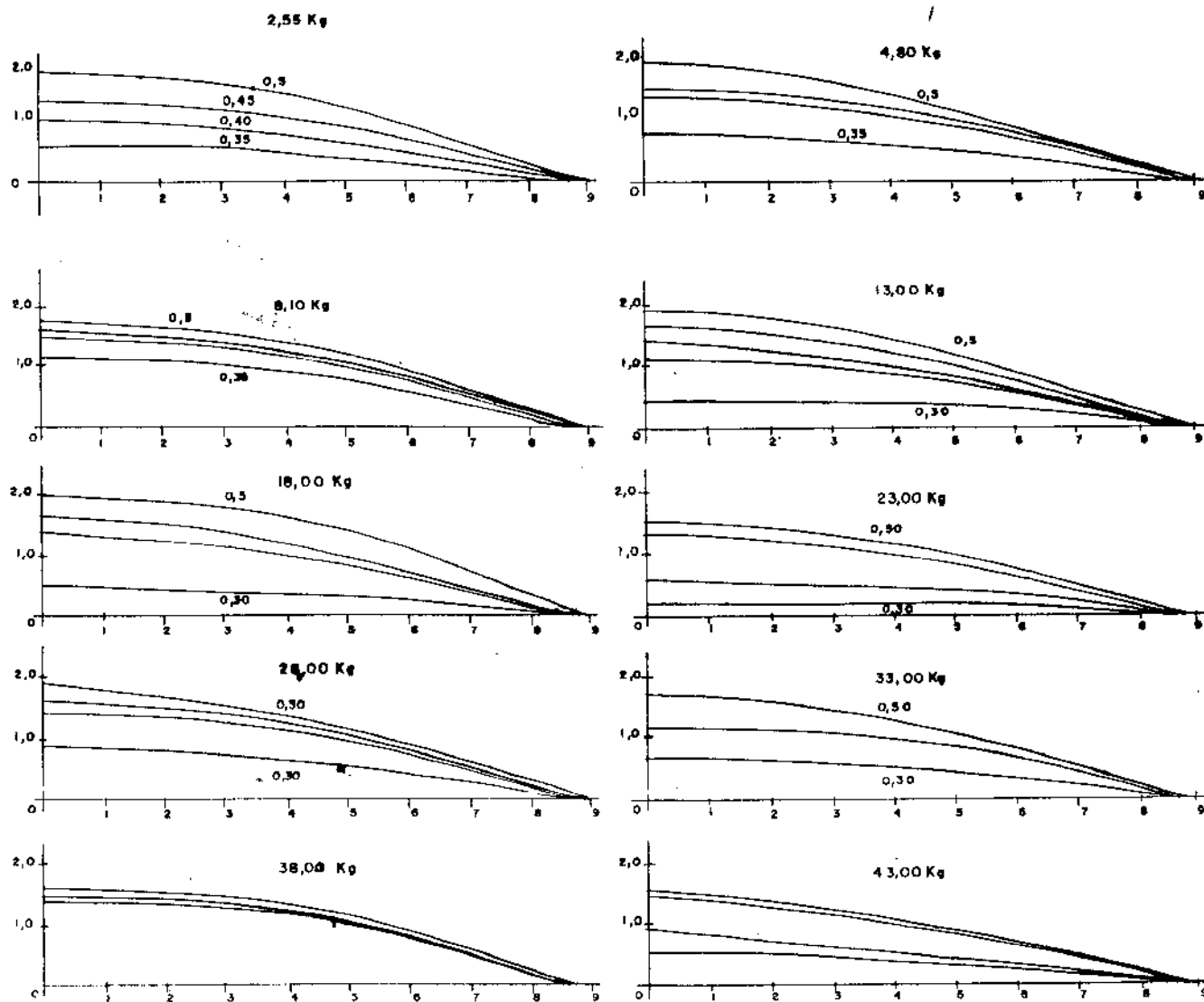


Figura (5.7) Perfis expandidos

CAPÍTULO SEIS

ANÁLISE DOS RESULTADOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS

6.1 Análise da Força axial

Devido a deficiências experimentais na determinação dos pontos médios (ordenada y_m do perfil expandido) não foi possível determinar o raio "r" da Equação (2.23), e consequentemente da força axial F_a pela Equação (2.15), ou seja:

$$r = 3.L/2(15y_o - 16y_m + R_o) \quad (2.23)$$

$$F_a = \pi.p.(2.y_o.r - R_o^2) \quad (2.15)$$

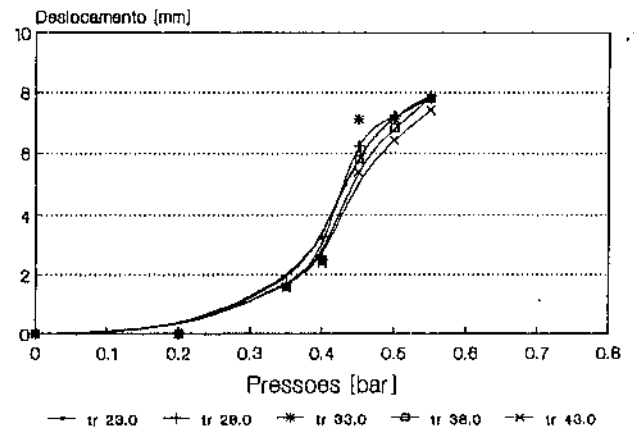
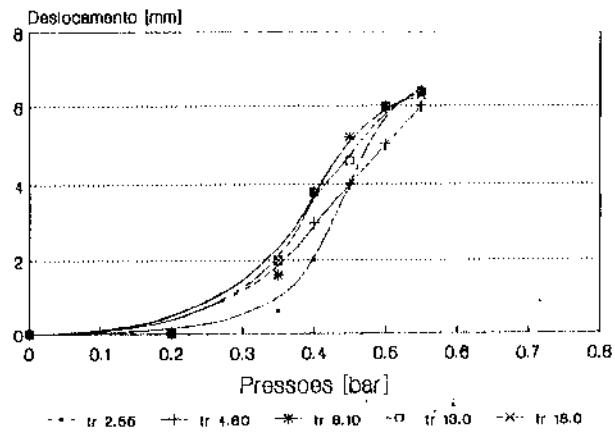
A determinação dos valores teóricos experimentais do do raio "r" e da ordenada y_o , deve ser objetivo de pesquisa posterior, como será sugerida no Capítulo 7 (Sugestões para futuros desenvolvimentos).

6.2 Análise do deslocamento axial

Os deslocamentos axiais obtidos experimentalmente são mostrados no Capítulo 5. Para o elemento tensor protótipo, as curvas de deslocamento são mostradas na Figura (5.6). Novos deslocamentos são calculados a partir da força exercida pelo elemento tensor, as curvas obtidas, ao lado da Figura (5.6), são mostradas na Figura (6.1).

O deslocamento obtidos experimentalmente aproxima-se do deslocamento teórico. Por observação, verifica-se que a partir

(A)



(B)

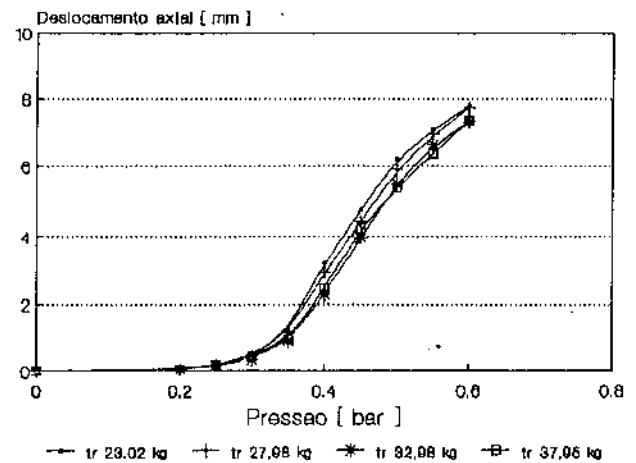
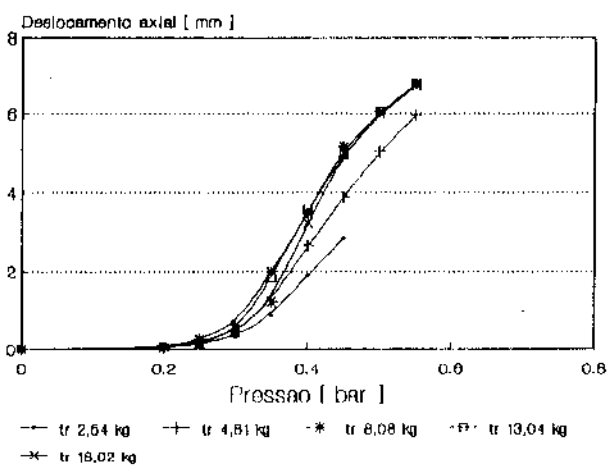


Figura (6.1) Deslocamentos (a) teóricos, e (b) experimentais

de um certo valor da pressão existe um aumento significativo do deslocamento em relação à pressão. Ao final, as curvas tendem a um mesmo ponto para uma determinada pressão.

6.3 Conclusões

Quanto a disponibilidade da força

O desenvolvimento dos perfis, durante a expansão, não geram mudanças significativas, quando varia-se as tensões externas, que atuam sobre o Elemento tensor. As mudanças são pouco perceptíveis mesmo quando ocorre falha de algum componente do Elemento tensor. Isto significa que a força disponível do elemento tensor é limitada pela resistência dos componentes, conexões e fixações que o constituem.

Quanto a utilidade do Elemento tensor

Apesar da fabricação artesanal do Elemento tensor protótipo verifica-se uma boa repetibilidade dos deslocamentos obtidos durante os experimentos. Isto mostra que, utilizando tecnologias modernas disponíveis industrialmente, não será difícil a construção de Elementos tensores mais eficientes, com maior capacidade de carga e de alta repetibilidade.

Quanto a versatilidade no projeto de Equipamentos e Máquinas

Através destes experimentos verificou-se que com apenas 0,5 bar foi possível levantar pesos de até 43 kg. Os Equipamentos que forem construídos com Elementos tensores serão mais leves, consumirão menos energia e podem diminuir o tamanho dos dispositivos próprios para serviços pesados.

Quanto a versatilidade dos movimentos

Um grande avanço que proporcionará o Elemento tensor será com relação à flexibilidade dos movimentos de um braço mecânico produzido por um feixe de pequenos Elementos tensores, Figura (7.1). Em futuro próximo, com a pesquisa de novos materiais, é possível que o projeto de braços de robos também se constitua de elemento flexíveis.

CAPÍTULO SETE

SUGESTÕES PARA FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

a) Determinação de características físicas

Seria importante pesquisar com as características físicas ideais para os componentes do Elemento tensor. Verificar as relações entre estas características e a força exercida pelo Elemento tensor. Para isto será necessário utilizar um método matemático mais adequado ao caso, por exemplo: Método dos Elementos Finitos, ou Métodos dos elementos de contorno.

b) Construção Equipamentos industriais alternativos

Em uma segunda etapa, de posse das orientações sobre as características do material, construir um elemento tensor e construir equipamentos utilizados no dia a dia industrial.

c) Exemplo de aplicações práticas

Miniaturização dos tensores em mecanismos automáticos, onde seja necessário grandes forças com pequenos deslocamentos, como mostrado na Figura (1.3).

Projeto de pacotes de Elementos tensores, Figura (7.1). Este conjunto produz uma conexão capaz de executar movimentos de vários graus de liberdade.

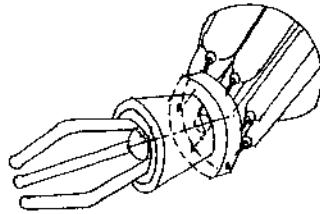


Figura (8.1) Aplicação do Elemento tensor em braço mecânico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - Timoshenko, P.S. ; Krieger, W.S. Theory of plates and shells. McGraw-Hill Kogakuscha, LTD., seg. ed., Tokyo, 1959.
- [2] - Timoschenko, P.S. ; Goodier, N.J. Teoria da Elasticidade. 3^a Edição, Guanabara dois, Rio de Janeiro, 1980.
- [3] - Zavalishin, N. N. ; Sagalevich, V. M. ; Loschilov, V. I. Strain and Stress in an Elastic orthotropic tube with an annular concentrator upon pulsation. Translated from Meckhanika Polimerov, No. 3, pp. 490-495, May-June, 1978.
- [4] - Fêng Yang Ch'eng. Biomechanics, its subject, history, and some aspects of the use of the mechanics of a continuous medium in physiology. Mekhanika, No. 5, pp. 111-123 , 1968.
- [5] - Kas'yanov, V.A. An anisotropic elastic model of large human blood vessel. Mekhanika Polimerov., No. 5, pp. 874-884, 1974.
- [6] - Kas'yanov, V.A. ; Knets, V.I. The strain energy function of large human blood vessels. Mekh. Polim. No. 1, pp. 122 - 128, 1974.
- [7] - Kislyakov, Yu. Ya. The static properties of passive vessels of the arterial type. Biofizika, V. 16, No. 6, pp. 1903 - 2100, 1971.
- [8] - Kislyakov, Yu. Ya. Active and passiv properties of carotid arteries. Biofizika, V. 20, No. 3, pp. 511 - 514, 1975.

[9] - Doebelin, O. Ernest. Measurement Systems Application and design. McGraw-Hill Kogakusha, Ltda. Tokyo, 1966.

[10] - Young, D. H. Statistical Treatment of experimental data. McGraw-Hill Book Company, New York, 1962.

[11] - Lang, Serge, Cálculo. Ao livro técnico S/A, Volume 2. Rio de Janeiro, 1970.

[12] - Shigley, Joseph E. Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill Book company, London, 1983.

[13] - Merian, James. Estática. Livros técnicos e cinéticos editora S.A., seg. ed., Rio de Janeiro, 1985.

[14] - Hibbeler, R.C. Mecânica estática. Editora campos ltda. Rio de Janeiro, 1985.

[15] - Popov, Egor P. Introdução à mecânica dos sólidos. Ed. Edgard Blücher ltda.

APÊNDICE A

CALIBRAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA

A.1 Processo de medição

Antes do início das medições, a ponte amplificadora foi regulada com os seguintes parâmetros:

Alimentação:	2 V ;
Fundo de escala:	10 mV ;
Escala do voltímetro:	2 V ;
Sensibilidade:	10 mV .

Os pesos, colocados sobre o porta pesos, são de valores conhecidos e foi incluído na calibração o peso do porta pesos. Os valores, em mV, são registrados apenas durante o carregamento, porque é somente nesta fase que o elemento tensor é utilizado durante os experimentos. Para facilitar a montagem da tabela de calibração, os pesos são numerados, conforme a Tabela (A.1). Na construção da Tabela (A.2), os pesos são referidos pelos números e as medidas efetuadas são abreviadas pelas letras M - i, que significa medida número i.

A função das polias de força é multiplicar a força que atua sobre a célula de carga, por isto, na última coluna aparece o total de pesos, acumulado sobre o suporte, multiplicado por cinco. A relação de multiplicação entre as polias é obtida razão dos diâmetros forma das polias.

O gráfico da Figura (A.1), é contruído com a última coluna da Tabela (A.1) e a média das medidas obtidas, mostradas na Tabela (A.2). Como os pontos são próximos de uma reta utiliza-se o método dos mínimos quadrados^[9,10] para encontrar melhor a reta que melhor interpola os pontos. A reta obtida possui a seguinte forma:

Tabela (A.1) Pesos usados na calibração
da célula de carga (todos em gramas)

No. do Peso	Valor (g)	Total Acumulado (g)	Na c.c. (x5)
0	507,9	507,9	2539,5
1	453,4	961,3	4806,5
2	655,4	1616,7	8083,5
3	991,0	2607,7	13038,5
4	995,9	3603,6	18018,0
5	1993,2	5596,8	27984,0
6	1992,8	7589,6	37948,0
7	1000,0	8589,6	42948,0

Tabela (A.2) Medidas para calibração
da célula de carga

Peso	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	M - 6	M - 7	Média
0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
1	0,021	0,018	0,018	0,019	0,018	0,019	0,018	0,019
2	0,066	0,055	0,060	0,057	0,055	0,057	0,056	0,058
3	0,114	0,111	0,112	0,113	0,113	0,114	0,114	0,113
4	0,172	0,174	0,170	0,170	0,170	0,170	0,170	0,171
5	0,276	0,282	0,283	0,285	0,285	0,285	0,285	0,283
6	0,404	0,398	0,399	0,404	0,400	0,400	0,400	0,401
7	0,459	0,455	0,453	0,460	0,456	0,458	0,457	0,457

$$Y = m x + b \quad (A.1)$$

Onde y - valor da força em Kg ;
x - variação de potencial em mV ;
m - inclinação da reta em kg/mV ;
b - valor inicial em kg.

Os valores de m e b podem ser encontrados

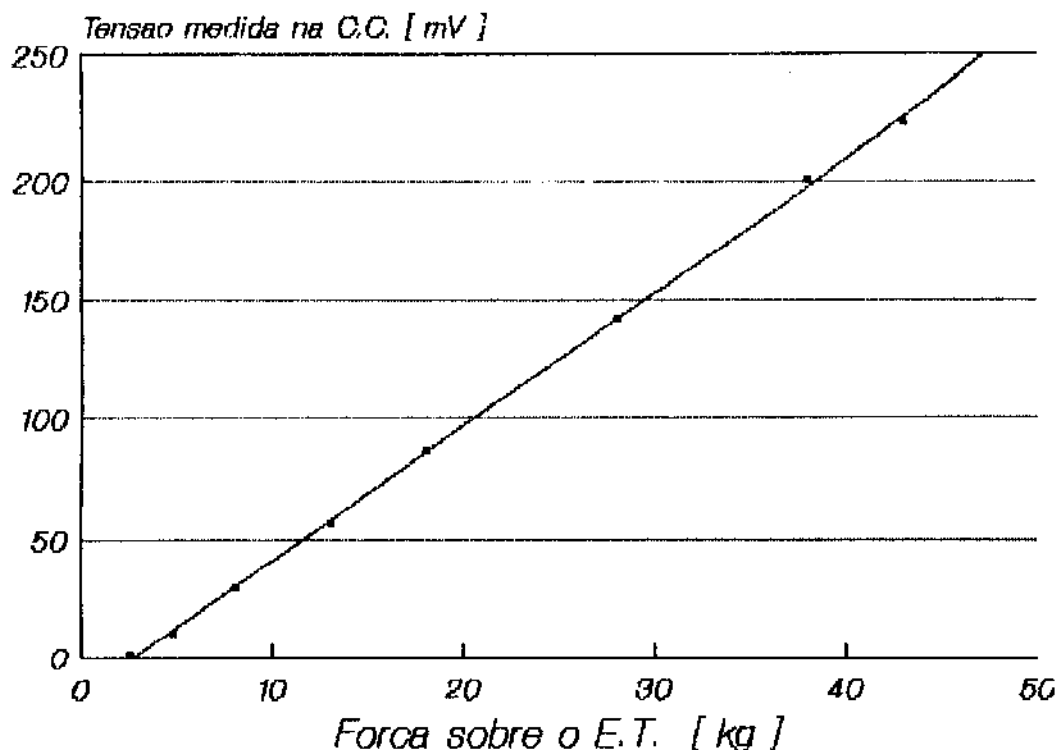


Figura (A.1) Interpolação linear dos pontos fornecidos na calibração da célula de carga

utilizando-se as equações^[10,11] abaixo:

$$m = \frac{N \sum (x_i y_i) - \sum x_i y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (A.2)$$

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (A.3)$$

A-2 Parâmetros de calibração

Determinando-se a média dos pontos de calibração, mostrados na Tabela (A.2), é possível encontrar os valores dos parâmetros, que determinam a reta que melhor aproxima os pontos:

$$m = 87,71 \text{ kg/mV} ;$$

$$b = 2,94 \text{ kg} .$$

O gráfico resultante da interpolação dos pontos é mostrado na Figura (A.1). As leituras obtidas, durante os experimentos são satisfatórias.

APENDICE B

CALIBRAÇÃO DO TRANSDUTOR (LVDT) DE DESLOCAMENTO

B.1 Transdutor de deslocamento variável linear (LVDT)

deslocamento máximo 0,5 pol.

O transdutor de deslocamento variável linear (LVDT), foi calibrado utilizando-se um paquímetro especial, fornecido pelo fabricante, com esta finalidade. Este aparelho, foi regulado para medir distâncias em polegadas, por isto para evitar números

Tabela (B.1) Calibração do LVDT
Deslocamento máximo : 0,5 polegadas

Desl.	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	M - 6	M - 7	Média
0,00	-10,39	-10,40	-10,40	-10,40	-10,41	-10,40	-10,41	-10,40
0,05	-9,88	-9,94	-9,98	-10,04	-9,92	-9,99	-9,96	-9,96
0,10	-7,44	-7,50	-7,54	-7,54	-7,48	-7,50	-7,50	-7,50
0,15	-5,00	-5,05	-5,07	-5,08	-5,05	-5,06	-5,07	-5,05
0,20	-2,56	-2,57	-2,59	-2,60	-2,58	-2,59	-2,61	-2,59
0,25	-0,07	-0,07	-0,09	-0,11	-0,12	-0,11	-0,12	-0,10
0,30	2,42	2,40	2,40	2,39	2,37	2,38	2,37	2,39
0,35	4,89	4,86	4,88	4,87	4,83	4,85	4,85	4,86
0,40	7,33	7,30	7,33	7,31	7,28	7,30	7,30	7,31
0,45	9,78	9,75	9,79	9,77	9,72	9,78	9,77	9,77
0,50	12,18	12,19	12,18	12,18	12,19	12,18	12,16	12,18

significativos arredondados sem necessidade e facilitar a construção da Tabela (B.1) e da Figura (B.1), a leitura da distancia é transformada em milímetros após a construção do gráfico de calibração.

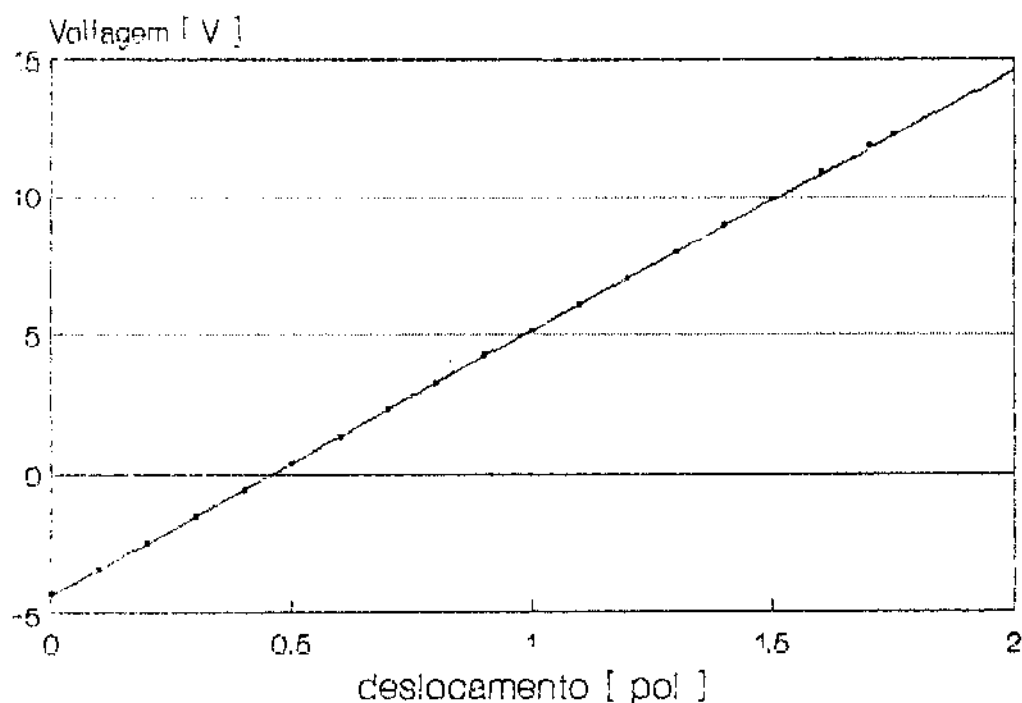


Figura (B.1) Gráfico de calibração do LVDT de 0,5 polegadas.

B-2 (LVDT) - Deslocamento máximo 1,7 polegadas

O mesmo será feito para a construção do gráfico de calibração do LVDT de deslocamento máximo de até 1,70 polegadas. Para isto é construído a Tabela (B.2), que juntamente com o gráfico, mostrado na Figura (B.2), determinam as relações entre a voltagem e o deslocamento. Para o LVDT, de variação máxima de 0,5 polegada, a relação obtida foi:

$$49,111 \text{ mV/pol} = 1,934 \text{ mV/mm}$$

Para o LVDT, de variação máxima de 1,7 polegada, obteve-se:

$$9,457 \text{ mV/pol} = 0,3723 \text{ mV/mm}$$

Tabela (B.2) Calibração LVDT deslocamento máximo: 1,7 pol.

desl.	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	M - 6	M - 7	Média
0,00	-4,31	-4,32	-4,32	-4,33	-4,33	-4,35	-4,36	-4,33
0,10	-3,39	-3,39	-3,39	-3,40	-3,40	-3,41	-3,42	-3,40
0,20	-2,44	-2,45	-2,46	-2,46	-2,46	-2,47	-2,47	-2,46
0,30	-1,51	-1,51	-1,52	-1,52	-1,52	-1,53	-1,53	-1,52
0,40	-0,56	-0,58	-0,57	-0,58	-0,58	-0,58	-0,59	-0,58
0,50	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,36	0,36
0,60	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
0,70	2,28	2,27	2,26	2,27	2,26	2,27	2,27	2,27
0,80	3,22	3,20	3,21	3,22	3,21	3,21	3,21	3,21
0,90	4,17	4,16	4,14	4,17	4,16	4,17	4,14	4,16
1,00	5,12	5,11	5,09	5,11	5,10	5,13	5,08	5,11
1,10	6,07	6,06	6,03	6,05	6,04	6,07	6,02	6,02
1,20	7,02	6,98	6,98	7,02	7,00	7,02	6,97	7,00
1,30	7,96	7,92	7,93	7,96	7,95	7,98	7,93	7,95
1,40	8,94	8,88	8,88	8,92	8,91	8,93	8,87	8,90
1,50	9,90	9,85	9,84	9,87	9,90	9,90	9,84	9,87
1,60	10,87	10,82	10,80	10,84	10,87	10,87	10,79	10,84
1,70	11,84	11,81	11,78	11,78	11,86	11,87	1,78	11,82
1,75	12,26	12,26	12,15	12,15	12,35	12,35	12,00	12,22

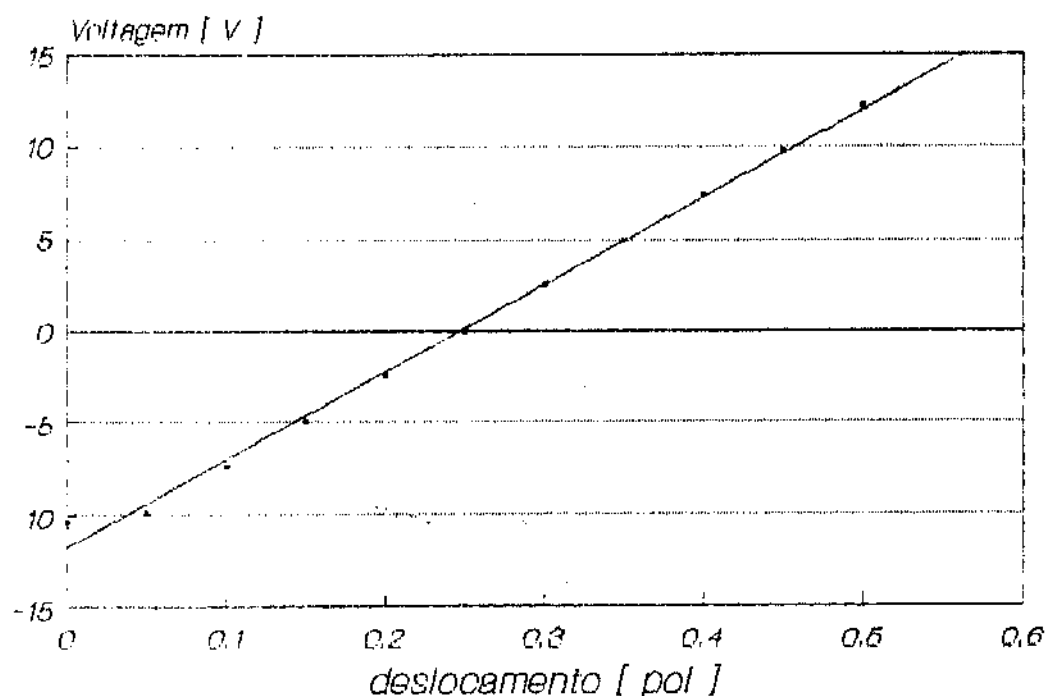


Figura (B.2) Gráfico de calibração para o LVDT de 1,7 pol.

APÊNDICE C

VALORES DO DESLOCAMENTO E FORÇA EM FUNÇÃO DA PRESSÃO

Tabela (C.1.1) Elemento tensor construído com oito fios encapados
tracionado com um peso de $370,0 \text{ (x 5)} = 1850 \text{ gramas}$

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00		0,00	13,2	0,00	16,0	0,00	12,1	0,00	15,2	0,00	12,0	0,00	13,7
0,1	0,28		0,37	12,0	0,24	16,0	0,43	12,0	0,24	14,8	0,29	13,5	0,31	13,7
0,2	0,40		0,47	11,5	0,32	15,0	0,51	12,1	0,27	11,9	0,34	11,6	0,39	12,4
0,3	0,47		0,54	11,1	0,32	12,1	0,62	11,3	0,34	11,5	0,40	11,5	0,45	11,5
0,4	0,53		0,63	11,5	0,33	11,0	0,70	10,9	0,41	11,2	0,48	11,1	0,51	11,1
0,5	0,72		0,68	11,2	0,14	11,0	0,77	10,8	0,46	11,1	0,53	10,9	0,55	11,0
0,6	0,70		0,68	12,0	0,59	11,0	0,78	11,1	0,46	13,0	0,54	12,0	0,54	11,2
0,7	0,40		0,60	14,0	1,50	11,5	0,57	15,5	0,02	15,3	0,04	15,1	0,19	14,8
0,8	0,26		0,36	15,5	2,36	11,5	0,68	15,2	1,51	15,0	1,10	15,0	1,05	14,3
0,9	0,82		1,25	16,0	2,87	12,0	1,61	16,0	2,36	16,0	2,26	15,3	1,86	15,1
1,0	1,53		2,67	15,1	3,42	16,0	2,51	16,0	3,19	16,0	3,26	16,0	2,76	15,8

- Os deslocamentos negativos são no sentido de compressão axial do elemento tensor. São medidos em milímetros.
(o sinal aparece no canto superior direito do número)
- O símbolo CC significa a voltagem, em milivolts, lida na célula de carga.

Tabela (C.1.2) E.T. de oito fios encapados

tracionado com um peso de $(370,0 + 463,4) \times 5 = 4163,0$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	25,0	0,00	28,2	0,00	30,0	0,00	29,8	0,00	29,5	0,00	29,2	0,00	28,6
0,1	0,30	25,0	0,25	28,0	0,18	26,0	0,16	24,6	0,14	28,5	0,07	25,0	0,18	26,2
0,2	0,40	24,2	0,28	25,0	0,24	25,0	0,24	24,5	0,19	27,0	0,13	24,1	0,25	25,0
0,3	0,47	24,0	0,34	24,8	0,31	24,2	0,29	24,0	0,21	25,0	0,19	24,0	0,30	24,3
0,4	0,53	23,8	0,40	24,5	0,36	23,9	0,36	23,5	0,23	23,5	0,24	23,2	0,35	23,7
0,5	0,58	23,5	0,43	24,0	0,40	23,5	0,38	23,1	0,28	23,2	0,26	23,0	0,39	23,4
0,6	0,59	26,0	0,43	27,1	0,38	25,0	0,39	26,5	0,27	26,6	0,25	26,1	0,39	26,2
0,7	0,04	29,0	0,70	28,2	0,32	27,2	0,85	26,0	0,91	28,0	1,14	25,4	0,66	27,3
0,8	1,20	29,0	1,60	28,0	1,53	28,8	1,80	29,5	2,06	29,7	2,17	29,4	1,73	29,1
0,9	2,29	28,0	2,58	29,3	2,69	30,0	2,76	29,8	3,13	29,0	3,25	30,0	2,78	29,4
1,0	3,07	30,5	3,40	30,6	3,58	30,0	3,81	29,0	3,90	30,2	4,07	30,5	3,64	30,1

Tabela (c.1.3) E.T. de oito fios encapados

tracionado por um peso de $(655,4 + 833,4) \times 5 = 744,0$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	74,0	0,00	82,0	0,00	76,0	0,00	85,0	0,00	86,0	0,00	86,0	0,00	81,5
0,1	0,36	76,0	0,08	77,0	0,33	77,0	0,10	80,0	0,09	80,0	0,10	82,0	0,18	78,7
0,2	0,43	74,0	0,14	75,0	0,47	77,0	0,15	78,0	0,13	78,0	0,13	80,0	0,24	77,0
0,3	0,53	74,0	0,22	76,0	0,54	75,0	0,20	77,0	0,18	78,0	0,18	78,0	0,31	76,3
0,4	0,60	73,0	0,25	75,0	0,67	80,0	0,23	76,0	0,21	76,0	0,22	78,0	0,36	76,3
0,5	0,66	74,0	0,28	75,0	0,68	83,0	0,25	75,0	0,23	76,0	0,23	76,0	0,39	76,5
0,6	0,67	75,0	0,23	80,0	0,08	80,0	0,21	82,0	0,20	82,0	0,17	83,0	0,26	80,3
0,7	0,45	83,0	0,97	85,0	1,07	85,0	1,23	85,0	1,38	86,0	1,46	87,0	1,09	85,2
0,8	1,55	82,0	2,17	85,0	2,21	85,0	2,60	86,0	2,73	87,0	2,73	87,0	2,33	85,3
0,9	2,30	85,0	3,12	85,0	2,90	85,0	3,58	86,0	3,68	87,0	3,45	87,0	3,17	85,8
1,0	2,99	84,0	3,81	86,0	3,50	85,0	4,33	83,0	4,35	86,0	4,38	84,0	3,89	84,7

Tabela (c.1.4) E.T. de oito fios encapados
tracionados por um peso de $(991 + 1488,8) \times 5 = 12399$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	105	0,00	105	0,00	115	0,00	105	0,00	105	0,00	105	0,00	107
0,1	0,06	100	0,02	105	0,02	100	0,03	101	0,03	100	0,03	100	0,03	101
0,2	0,10	100	0,08	100	0,05	100	0,08	98	0,06	100	0,07	100	0,07	100
0,3	0,15	98	0,11	98	0,09	77	0,11	98	0,10	98	0,11	78	0,11	91
0,4	0,18	96	0,18	96	0,12	96	0,15	96	0,12	97	0,13	96	0,15	96
0,5	0,18	96	0,16	96	0,13	97	0,16	97	0,14	97	0,14	105	0,15	100
0,6	0,35	106	0,33	106	0,05	105	0,03	105	0,02	106	0,23	106	0,16	106
0,7	1,77	106	1,62	105	2,15	103	1,33	105	1,75	105	1,69	106	1,72	105
0,8	3,27	106	3,27	106	3,19	106	3,05	105	3,49	106	3,23	106	3,25	106
0,9	4,36	106	4,38	107	4,27	106	4,49	105	4,39	104	4,49	106	4,40	106
1,0	5,13	106	5,14	106	5,22	106	5,24	105	5,24	105	5,28	104	5,21	105

Tabela (C.1.5) E.T. de oito fios encapados
tracionado por um peso de $(993,4 + 2479,8) \times 5 = 17336$ gramas.

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	127	0,00	132	0,00	134	0,00	134	0,00	134	0,00	130	0,00	132
0,1	0,11	127	0,04	128	0,02	130	0,03	128	0,03	130	0,01	125	0,04	128
0,2	0,15	127	0,06	126	0,04	126	0,05	126	0,05	127	0,07	125	0,07	126
0,3	0,21	126	0,10	125	0,06	125	0,08	125	0,09	126	0,11	125	0,11	125
0,4	0,23	126	0,13	126	0,09	125	0,12	125	0,12	125	0,18	125	0,15	125
0,5	0,26	127	0,11	127	0,10	125	0,15	125	0,13	129	0,19	125	0,16	124
0,6	0,08	137	0,08	135	0,10	137	0,01	137	0,11	137	0,07	137	0,08	137
0,7	1,88	136	2,13	132	1,99	136	1,74	137	0,69	136	1,71	137	1,69	136
0,8	3,02	138	3,30	135	3,25	137	3,42	137	3,24	136	3,08	137	3,22	137
0,9	4,05	135	4,43	136	4,38	137	4,35	137	4,28	137	4,25	136	4,29	136
1,0	4,56	136	4,96	139	5,10	136	4,99	137	5,12	136	5,02	136	4,96	137

Tabela (C.2.1) E.T. de oito fitas plásticas
coladas sobre a câmara de ar
tracionado por um peso de $(507,8) \times 5 = 2539,0$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	45,0	0,00	47,0	0,00	50,0	0,00	50,0	0,00	47,0	0,00	48,0	0,00	49,0
0,1	0,09	45,0	0,20	45,0	0,10	46,0	0,07	45,0	0,01	45,0	0,04	44,0	0,09	45,0
0,2	0,15	45,0	0,31	45,0	0,09	45,0	0,08	44,0	0,07	42,0	0,09	42,0	0,13	44,0
0,3	0,24	45,0	0,41	45,0	0,12	45,0	0,13	43,0	0,12	42,0	0,12	42,0	0,19	44,0
0,4	0,30	45,0	0,51	45,0	0,26	44,0	0,19	43,0	0,25	45,0	0,18	42,0	0,28	44,0
0,5	0,58	45,0	0,54	45,0	0,20	44,0	0,23	43,0	0,27	42,0	0,21	41,0	0,34	43,0
0,6	0,52	43,0	0,60	45,0	0,22	47,0	0,30	48,0	0,28	45,0	0,23	45,0	0,36	46,0
0,7	0,49	42,0	1,22	52,0	1,47	52,0	1,62	47,0	1,79	48,0	1,52	47,0	1,35	48,0
0,8	0,50	50,0	2,49	55,0	2,80	54,0	3,36	52,0	3,28	49,0	3,30	46,0	2,62	51,0
0,9	1,59	55,0	3,54	58,0	4,21	55,0	4,88	53,0	4,89	46,0	5,07	43,0	4,03	52,0
1,0	2,94	54,0	5,27	54,0	5,60	54,0	5,84	53,0	6,08	47,0	6,21	46,0	5,32	51,0
1,1			6,28	55,0	6,39	55,0	6,80	49,0	7,06	50,0	7,08	45,0	6,72	51,0

Nota: todos os deslocamentos são no sentido de compressão do
Elemento tensor

Tabela (C.2.2) E. T. de oito fitas pláticas

coladas sobre a câmara de ar

tracionada por um peso de $(453,4 + 507,8) \times 5 = 3306$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	55,0	0,00	63,0	0,00	63,0	0,00	63,0	0,00	63,0	0,00	63,0	0,00	63,0	0,00	62,0
0,1	0,09	55,0	0,01	59,0	0,02	59,0	0,04	59,0	0,02	58,0	0,02	58,0	0,02	58,0	0,03	58,0
0,2	0,15	55,0	0,06	55,0	0,06	56,0	0,06	57,0	0,06	56,0	0,07	56,0	0,07	56,0	0,08	56,0
0,3	0,24	55,0	0,12	55,0	0,10	55,0	0,14	55,0	0,12	55,0	0,14	56,0	0,14	56,0	0,14	55,0
0,4	0,30	54,0	0,15	55,0	0,15	55,0	0,19	55,0	0,14	55,0	0,16	55,0	0,16	55,0	0,18	55,0
0,5	0,36	54,0	0,18	54,0	0,18	55,0	0,20	55,0	0,18	56,0	0,21	55,0	0,21	55,0	0,22	55,0
0,6	0,37	59,0	0,22	60,0	0,42	62,0	0,30	61,0	0,22	61,0	0,25	60,0	0,25	60,0	0,30	66,0
0,7	1,74	62,0	1,97	63,0	1,97	60,0	1,84	62,0	2,25	58,0	2,08	62,0	1,98	61,0	1,98	61,0
0,8	3,71	62,0	3,82	60,0	3,74	60,0	3,70	63,0	4,31	58,0	3,95	64,0	3,87	61,0	3,87	61,0
0,9	5,05	63,0	5,05	60,0	5,14	63,0	5,28	64,0	5,38	63,0	5,44	64,0	5,22	63,0	5,22	63,0
1,0	6,39	64,0	6,27	60,0	6,25	63,0	6,44	60,0	6,23	63,0	6,51	64,0	6,35	62,0	6,35	62,0
1,1	7,17	64,0	7,08	65,0	7,18	61,0	7,23	64,0	7,25	64,0	7,29	64,0	7,20	64,0	7,20	64,0

Tabela (C.2.3) E.T. de oito fitas plásticas

coladas sobre a câmara da ar

tracionadas por um peso de $(655,4 + 655,4) \times 5 = 6583$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	77,0	0,00	86,0	0,00	87,0	0,00	85,0	0,00	85,0	0,00	86,0	0,00	84,0	0,00	84,0
0,1	0,14	78,0	0,03	80,0	0,01	80,0	0,00	81,0	0,01	80,0	0,02	80,0	0,02	80,0	0,04	80,0
0,2	0,24	77,0	0,09	78,0	0,03	79,0	0,03	79,0	0,04	77,0	0,04	78,0	0,04	78,0	0,08	78,0
0,3	0,34	78,0	0,11	76,0	0,07	78,0	0,05	78,0	0,12	75,0	0,08	57,0	0,08	57,0	0,13	77,0
0,4	0,41	78,0	0,19	75,0	0,11	78,0	0,07	79,0	0,11	75,0	0,11	75,0	0,11	75,0	0,17	77,0
0,5	0,47	77,0	0,19	76,0	0,13	77,0	0,08	80,0	0,16	76,0	0,13	75,0	0,13	75,0	0,19	77,0
0,6	0,48	81,0	0,22	82,0	0,57	86,0	0,58	85,0	0,35	85,0	0,20	83,0	0,20	83,0	0,40	84,0
0,7	2,12	88,0	2,16	85,0	2,32	86,0	2,56	80,0	2,59	80,0	2,70	80,0	2,41	83,0	2,41	83,0
0,8	3,83	88,0	3,92	85,0	4,00	83,0	4,10	85,0	4,23	83,0	4,12	85,0	4,03	85,0	4,03	85,0
0,9	5,21	86,0	5,23	89,0	5,27	86,0	5,47	85,0	5,58	80,0	5,09	85,0	5,31	85,0	5,31	85,0
1,0	6,46	86,0	6,24	88,0	6,42	87,0	6,54	86,0	6,58	87,0	6,50	86,0	6,46	87,0	6,46	87,0
1,1	7,32	89,0	7,17	88,0	7,27	88,0	7,42	80,0							7,30	86,0

Tabela (C.2.4) E.T. de oito fitas plásticas
coladas sobre a câmara de ar
tracionado por um peso de $(991 + 1316,6) \times 5 = 11538$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	105	0,00	110	0,00	110	0,00	110	0,00	110	0,00	110	0,00	109
0,1	0,01	95,0	0,00	105	0,01	105	0,01	100	0,00	105	0,01	110	0,01	103
0,2	0,07	95,0	0,01	105	0,03	105	0,03	100	0,03	105	0,03	105	0,03	103
0,3	0,15	95,0	0,04	100	0,05	100	0,05	100	0,05	100	0,05	100	0,07	99,0
0,4	0,18	95,0	0,06	100	0,07	100	0,07	100	0,07	100	0,08	100	0,09	99,0
0,5	0,21	95,0	0,08	100	0,08	100	0,08	100	0,08	105	0,09	105	0,10	101
0,6	0,58	110	0,33	110	0,12	110	0,73	110	0,83	110	0,71	110	0,55	110
0,7	2,95	110	2,83	100	2,94	100	2,28	110	2,38	110	2,31	110	2,62	107
0,8	3,81	110	3,99	110	3,86	110	3,81	110	4,12	110	4,25	105	3,97	109
0,9	4,91	110	5,18	115	5,28	110	5,03	110	5,29	110	5,33	110	5,17	111
1,0	5,97	115	6,22	110	6,32	110	6,21	110	6,19	110	6,28	115	6,20	112

Tabela (C.2.5) E.T. de oito fitas plásticas
coladas sobre a câmara de ar e reforçada
tracionada por um peso de $(993,4 + 2307,6) \times 5 = 16500,0$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	130	0,00	145	0,00	145	0,00	145	0,00	135	0,00	144	0,00	141
0,1	0,03	125	0,00	140	0,00	140	0,00	140	0,02	130	0,01	140	0,01	136
0,2	0,08	125	0,04	135	0,00	135	0,01	135	0,06	130	0,03	135	0,04	133
0,3	0,13	129	0,02	133	0,02	135	0,04	135	0,08	130	0,06	135	0,06	133
0,4	0,17	128	0,04	130	0,04	135	0,06	133	0,11	130	0,08	135	0,08	132
0,5	0,19	140	0,05	135	0,05	135	0,07	135	0,12	130	0,09	135	0,10	135
0,6	0,52	145	0,69	145	0,71	145	0,70	150	0,92	146	0,95	150	0,75	147
0,7	2,16	145	2,21	145	2,45	145	3,47	130	2,48	145	2,44	148	2,54	143
0,8	3,80	145	3,89	145	3,75	145	4,20	145	3,48	145	3,86	145	3,83	145
0,9	4,85	145	4,99	145	5,05	145	5,04	150	4,81	150	6,01	145	5,13	147
1,0	5,77	145	5,83	150	5,92	146	5,81	150	5,78	150	5,89	150	5,83	149

Tabela (C.2.6) E.T. de oito fios encapados
colados sobre a câmara de ar e reforçado
tracionado por um peso de $(995,4 + 3300) \times 5 = 21477,0$ gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	155	0,00	180	0,00	165	0,00	160	0,34	165	0,00	180	0,00	168
0,1	0,07	155	0,00	170	0,00	160	0,01	160	0,09	160	0,02	170	0,03	163
0,2	0,13	155	0,00	160	0,01	160	0,04	155	0,18	160	0,04	170	0,07	160
0,3	0,17	155	0,00	160	0,02	160	0,06	155	0,20	160	0,05	165	0,08	159
0,4	0,01	156	0,02	160	0,04	155	0,09	155	0,31	160	0,07	165	0,09	159
0,5	0,24	155	0,03	160	0,08	160	0,10	156	0,34	160	0,09	170	0,15	160
0,6	0,70	174	0,83	180	0,93	165	0,55	170	0,37	165	1,33	170	0,78	171
0,7	2,30	170	2,16	180	2,11	175	1,88	180	2,38	180	3,00	170	2,31	176
0,8	3,42	180	3,64	180	3,27	180	3,37	180	3,86	180	4,12	170	3,61	178
0,9	4,31	180	4,68	180	4,30	182	4,17	180	4,84	160	5,27	165	4,60	175
1,0	5,26	180	5,15	180	4,96	180	4,83	180	5,47	185	5,93	165	5,27	178

Tabela (C.2.7) E.T. de oito fitas plásticas
coladas sobre a câmara de ar e reforçada
tracionada por um peso de $(1000 + 4295,4) \times 5 = 26427,0$

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0	0,00	190	0,00	195	0,00	190	0,00	180	0,00	190	0,00	195	0,00	192
0,1	0,03	185	0,01	180	0,08	185	0,07	190	0,03	190	0,02	195	0,04	188
0,2	0,10	185	0,03	180	0,15	180	0,17	190	0,08	190	0,03	195	0,09	187
0,3	0,14	185	0,05	185	0,23	185	0,26	190	0,12	180	0,04	195	0,14	188
0,4	0,18	185	0,08	190	0,37	180	0,32	190	0,20	190	0,05	195	0,20	188
0,5	0,18	205	0,10	190	0,47	187	0,36	190	0,21	190	0,05	195	0,23	193
0,6	0,67	200	0,70	205	0,60	200	0,61	205	0,94	215	1,44	200	0,83	204
0,7	2,49	210	2,12	200	1,87	210	2,10	210	2,39	215	3,28	200	2,38	208
0,8	3,47	210	3,51	210	2,80	205	----	210	3,37	210	4,54	205	3,54	208
0,9	4,5	205	4,27	210	3,77	205	-----		4,07	215	5,40	215	4,40	210
1,0	4,88	215	4,81	215	4,4	215	-----		4,41	215	6,09	215	4,92	215

--- Falha por escorregamento das fixações que ligam
a câmara de ar às extremidades do E.T.

Tabela (C.3.1) E.T. de oito fitas plásticas
Os tensores não são colados à câmara de ar reforço eliminado
tracionado por um peso de (370) x 5 = 1850 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,0			0,00	12,0	0,00	12,0	0,00	13,0	0,00	12,0	0,00	12,0	0,00	12,0
0,05			0,01	10,0	0,01	10,0	0,00	10,0	0,00	10,0	0,02	10,0	0,01	10,0
0,1			0,02	10,0	0,02	10,0	0,02	10,0	0,03	8,0	0,01	8,0	0,02	9,0
0,15			0,03	10,0	0,03	10,0	0,00	10,0	0,00	10,0	0,02	10,0	0,02	10,0
0,20			0,01	15,0	0,01	22,0	0,02	22,0	0,01	12,0	8,89	12,0	1,79	17,0
0,25			9,52	22,0	9,78	28,0	9,72	25	10,98	25	10,47	25	10,09	25,0
0,30			11,59	30	11,58	34	11,55	45	12,12	50	11,63	38	11,69	37,0

Tabela (C.3.2) O mesmo E.T com
tração de (370 + 453) x 5 = 4117,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	16,0	0,00	14,0	0,00	9,6	0,00	30,0	0,00	38,0	0,00	37,0	0,00	25,0
0,05	0,02	15,0	0,01	13,0	0,02	15,0	0,01	30,0	0,00	38,0	0,01	37,0	0,01	25,0
0,10	0,03	15,0	0,03	13,0	0,03	14,0	0,01	38,0	0,00	38,0	0,02	37,0	0,02	26,0
0,15	0,03	16,0	0,05	15,0	0,03	15,0	0,01	40,0	0,00	40,0	0,03	39,0	0,03	28,0
0,20	0,00	30,0	0,10	22,0	0,04	20,0	0,12	38,0	0,32	45,0	0,09	44,0	0,11	33,0
0,22	8,04	32,0	8,81	32,0	9,21	32,	11,00	44,0	9,07	44,	11,26	38,0	9,57	37,0
,25	11,44	35,	10,42	48,	10,04	44,	11,55	46,	11,44	54,	12,00	50,	11,15	46,0
,30	11,68	50,	11,59	58,	11,75	60,0	-----						11,67	56,0

--- expansão diametral demasiada provoca atrito da
câmara de ar e tensores com o suporte do
equipamento de medição.

Tabela (C.3.3)

tração de (655,4 + 823,4) x 5 = 7394,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	57,0	0,00	58,0	0,00	56,0	0,00	56,0	0,00	56,0	0,00	58,0	0,00	57,0
0,05	0,00	57,0	0,00	58,0	0,00	56,0	0,00	56,0	0,00	56,0	0,00	58,0	0,00	57,0
0,10	0,00	57,0	0,00	60,0	0,00	58,0	0,00	56,0	0,00	57,0	0,00	59,0	0,00	58,0
0,15	0,01	58,0	0,01	62,0	0,00	58,0	0,00	60,0	0,04	58,0	0,02	62,0	0,01	60,0
0,20	0,02	62,0	0,13	66,0	0,06	63,0	0,08	65,0	0,12	65,0	0,10	65,0	0,08	64,0
,25	10,86	63,	10,90	72,	10,68	76,	10,88	75,	11,46	62,	10,60	72,	10,90	70,0
,30	11,70	79,	11,50	67,	11,76	74,	11,79	85,	11,83	86,	11,65	85,	11,70	79,0

Tabela (C.3.4)

tração com (991 + 1478,8) x 5 = 12349,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	87,0	0,00	86,0	0,00	86,0	0,00	87,0	0,00	88,0	0,00	87,0	0,00	87,0
0,05	0,00	87,0	0,00	88,0	0,00	89,0	0,00	88,0	0,01	90,0	0,01	89,0	0,00	89,0
0,10	0,00	89,0	0,00	90,0	0,00	89,0	0,00	91,0	0,01	92,0	0,01	92,0	0,00	91,0
0,15	0,01	90,0	0,02	92,0	0,01	91,0	0,03	94,0	0,04	95,0	0,06	92,0	0,03	92,0
0,20	0,11	95,0	0,26	98,0	0,09	95,0	0,12	98,0	0,14	99,0	0,14	99,0	0,15	97,0
0,25	8,47	99,0	9,65	92,0	7,91	99,0	8,09	105,	7,85	94,0	7,86	95,0	8,31	97,0
,30	11,48	105	11,56	105	11,36	120	11,71	130	11,53	120	11,60	120	11,54	117,

Tabela (C.3.5)

tração de (995,6 + 2469,8) x 5 = 17327 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	110,	0,00	110,	0,00	115,	0,00	105,	0,00	110,	0,00	110,	0,00	110,
0,05	0,04	110,	0,01	115,	0,02	115,	0,00	105,	0,00	110,	0,00	110,	0,00	111,
0,10	0,03	110,	0,01	115	0,02	120	0,02	105	0,03	110	0,00	115,	0,00	113,
0,15	0,02	115,	0,05	120,	0,05	120	0,02	110,	0,04	120,	0,04	120	0,04	118,
0,20	0,12	120,	0,22	125,	0,48	125,	0,08	120,	0,32	120,	0,42	130,	0,28	123,
0,25	6,47	130,	7,06	140,	6,24	135	10,20	125,	6,23	140,	6,53	130,	7,13	133,
,30	10,02	140	10,55	145	10,29	160	10,66	150	10,70	130	10,50	140	10,46	144,
,35	11,28	160	11,65	165	11,57	155	$\partial(3)$	120	11,35	155	11,53	160	11,45	153,

$\partial(3)$ - nesta pressão percebe-se claramente que a expansão do elemento tensor é maior que a capacidade de medir do transdutor de deslocamento linear.

Tabela (C.3.6)

tração de (1000,0 + 3465,4) x 5 = 22327,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	130,	0,00	120,	0,00	125,	0,00	120,	0,00	110,	0,00	140,	0,00	124,
0,05	0,01	135	0,01	130,	0,01	125	0,00	120,	0,03	120,	0,03	140	0,01	128,
0,10	0,06	140,	0,02	130,	0,03	130,	0,01	120,	0,02	125,	0,04	145,	0,03	132
0,15	0,08	140,	0,02	140,	0,01	130	0,01	130,	0,02	130,	0,04	150	0,03	137
0,20	0,09	150,	0,01	150,	0,01	150,	0,02	150,	0,01	150	0,93	140,	0,18	148
0,25	4,03	155	4,52	160,	4,93	140,	4,56	150	5,74	140,	6,03	160	4,98	151,
0,30	7,95	180	7,74	160	8,04	180	7,71	180	8,06	180,	9,09	180	8,10	177,
,35	10,74	180	10,55	180	10,74	180	9,98	190	10,24	180	11,54	180	10,62	182,
,40	11,70	200	11,62	205	11,63	200	11,64	190	11,70	190	$\partial(2)$	180	11,66	194,

$\partial(2)$ - nota-se o mesmo problema verificado anteriormente

Tabela (C.3.7)

tração de (1993,4 + 4465,4) x 5 = 32294 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	200,	0,00	190,	0,00	200,	0,00	200,	0,00	200,	0,00	200,	0,00	200,
0,05	0,00	200,	0,03	200,	0,04	200,	0,03	200,	0,02	200,	0,02	200,	0,02	200,
0,10	0,01	200,	0,04	200,	0,04	205,	0,05	200,	0,03	205,	0,09	205,	0,04	203,
0,15	0,02	200,	0,07	200,	0,05	205,	0,09	205,	0,08	210	0,14	205,	0,08	204,
0,20	0,03	210,	0,10	205,	0,14	210,	0,20	210,	0,53	215,	0,17	210,	0,20	210,
0,25	1,73	210,	0,37	220,	1,32	220,	2,65	220,	4,18	220,	4,12	205	2,40	216,
0,30	6,51	215,	4,91	240,	6,48	210,	7,37	220,	7,48	230,	6,86	210,	6,60	221,
0,35	9,20	220,	6,23	260,	9,38	230	9,45	250,	9,63	250,	9,17	240,	8,84	242,
,40	10,21	250	10,66	250	11,48	260	11,07	250	11,29	230	11,01	240	10,95	247,

Tabela (C.3.B)

tração de (1000,0 + 6458,8) x 5 = 37294,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	220,	0,00	230,	0,00	225,	0,00	225,	0,00	225,	0,00	225,	0,00	225,
0,05	0,04	225,	0,01	225,	0,07	225,	0,04	230,	0,00	230,	0,00	230,	0,03	228,
0,10	0,05	225,	0,01	225,	0,06	225,	0,05	230,	0,01	230,	0,00	230,	0,03	228,
0,15	0,06	230,	0,02	230,	0,08	230,	0,06	235,	0,04	230,	0,00	225,	0,04	231,
0,20	0,30	240,	0,10	235,	0,18	240,	0,27	240,	0,10	250,	0,26	240,	0,20	240,
0,25	3,08	240,	3,24	230,	3,97	255,	3,76	250,	4,21	260,	4,37	230,	3,77	244,
0,30	6,76	260,	7,17	240,	6,98	240,	7,49	260,	7,72	230,	6,86	250,	7,16	247,
0,35	8,45	250,	8,15	260,	8,87	270,	8,96	280,	9,30	270,	8,77	270,	8,75	267,,
,40	10,02	260	10,09	280	10,32	270	10,45	280	10,60	280	10,20	280	10,28	275,,
,45	11,06	280	10,91	280	11,28	295	11,27	290	11,60	280	11,12	280	11,21	284,

Tabela (C.3.9)

Tração de (1000,0 + 7458,8) x 5 = 42294 gramas

Pres Desl CC

0,00 0,00 280,
0,05 0,12 280,
0,10 0,08 270,
0,15 0,03 270,
0,20 0,13 270,
0,25 0,34 290,
0,30 4,24 290,
0,35 5,77 310,
0,40 6,44 310,
0,45 6,77 310,
0,50 6,83 300,

Neste teste ocorreu falha por escorregamento das extremidades do elemento tensor.

Tabela (C.4.1) E.T. de oito fitas plásticas com braçadeiras especiais - com 18 mm de comprimento

Tração de (370) x 5 = 1850 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	18,0	0,00	18,0	0,00	17,0	0,00	18,0	0,00	16,0	0,00	20,0	0,00	18,0
0,25	0,00	20,0	0,20	25,0	0,28	24,0	0,00	18,0	0,67	25,0	3,80	25,0	0,83	26,0
0,30	4,16	30,0	4,19	23,0	8,70	27,0	7,52	27,0	7,36	26,0	8,51	24,0	6,74	26,0
0,35	8,28	28,0	9,87	18,	10,82	24,	10,79	22,	10,11	22,	10,92	22,	10,13	23,0
,45	11,11	28,0	-----										11,11	28,0

Tabela (C.4.2)

Tração de (370 + 434) x 5 = 4020 gramas

0,00	0,00	25,0	0,00	28,0	0,00	0,28	0,00	30,0	0,00	29,0	0,00	30,0	0,00	28,0
0,20	0,24	35,0	0,09	34,0	0,06	32,0	0,06	34,0	0,10	32,0	0,03	32,0	0,10	33,0
0,25	0,46	38,0	0,68	48,0	0,09	40,0	0,49	40,0	0,34	40,0	0,19	40,0	0,38	41,0
0,30	8,59	0,33	8,67	44,0	8,19	40,0	8,76	42,0	8,78	40,0	8,59	42,0	8,60	40,0
,35	10,75	37,	10,60	42,	10,36	44,	10,24	42,	10,98	40,	10,46	42,	10,57	41,0
,40	11,61	42,	11,28	44,	11,39	44,	11,42	44,	11,29	44,	11,35	44,	11,39	44,0

--- deslocamento maior que a capacidade de medir do LVDT

Tabela (C.4.4)

tração de (655,4 + 804) x 5 = 4081 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	47,0	0,00	47,0	0,00	55,0	0,00	56,0	0,0	53,0	0,00	50,0	0,00	51,0
0,20	0,05	45,0	0,03	57,0	0,01	59,0	0,01	57,0	0,03	56,0	0,00	58,0	0,02	55,0
0,25	0,21	60,0	0,48	62,0	0,29	65,0	0,12	63,0	0,21	66,0	0,19	67,0	0,25	64,0
0,30	8,26	58,0	7,79	52,0	7,86	60,0	7,51	69,0	7,82	66,0	7,66	67,0	7,82	62,0
,35	10,34	62,	10,50	58,	10,14	63,	10,18	69,	10,24	68,	10,37	62,	10,30	64,0
,40	11,61	64,	11,59	63,	11,77	64,	10,43	65,	10,40	70,	6(3)---	11,16	65,0	

Tabela (C.4.4)

tração de (991,0 + 1459,4) x 5 = 7297,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	78,0	0,00	75,0	0,00	80,0	0,00	75,0	0,00	53,0	0,00	50,0	0,00	51,0
0,20	0,00	85,0	0,02	85,0	0,05	80,0	0,02	80,0	0,01	80,0	0,01	80,0	0,03	82,0
0,25	0,29	98,0	0,28	95,0	0,03	80,0	0,21	90,0	0,36	90,0	0,27	90,0	0,24	91,0
0,30	7,63	95,0	7,78	80,0	7,96	90,0	7,70	90,0	7,68	85,0	8,01	85,0	7,79	88,0
0,35	9,22	94,0	9,40	90,0	9,88	90,0	9,57	95,0	9,69	95,0	9,86	85,0	9,60	92,0
,40	10,72	95,	10,79	100	10,96	90,	10,86	95,	10,95	95,	10,92	95,	10,87	95,0

Tabela (C.4.5)

Tração de (1000,0 + 2450,4) x 5 = 17252 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	100,	0,00	0,00	0,00	100,	0,00	100,	0,00	100,	0,00	100,	0,00	100,
0,20	0,03	105	0,04	110,	0,02	110,	0,01	110,	0,08	115,	0,11	110,	0,05	110,
0,25	0,14	110,	0,29	110,	0,17	120,	0,28	125,	0,31	120,	0,30	120,	0,25	118,
0,30	1,84	125,	6,40	130,	6,48	110,	7,21	130,	6,76	125,	7,20	120,	5,98	123,
0,35	9,45	130	9,21	130,	9,23	120,	9,48	100,	9,30	120	9,55	120,	9,37	120,
,40	10,92	130	11,19	125	11,03	120	11,17	125	11,30	120	11,36	120,	11,16	123,

Tabela (C.4.6)

Tração de (1000 + 3450,4) x 5 = 22252,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	130,	0,00	130,	0,00	130,	0,00	130,	0,00	130,	0,00	130,	0,00	130,
0,20	0,02	140,	0,03	140,	0,01	140,	0,01	140,	0,01	140,	0,00	140,	0,01	140,
0,25	0,10	145,	0,15	150,	0,11	145,	0,25	140,	0,13	150,	0,16	150	0,15	147,
0,30	0,93	165,	5,86	165,	1,35	160,	1,69	160	2,45	160,	2,45	160,	2,30	162,
0,35	8,39	155,	8,54	160,	8,41	160,	8,67	145	7,92	160,	8,88	160	8,47	157,
,40	10,65	150	10,55	160	10,46	155	10,80	160	9,78	160	10,40	160	10,44	158,
,45	11,55	155	11,61	160	11,67	160	12,19	160	11,70	160	11,70	160	11,74	159,

Tabela (C.4.7)

Tração de (2000,0 + 4450,4) x 5 = 32252,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	180,	0,00	185,	0,00	185,	0,00	180,	0,00	180,	0,00	180,	0,00	181,
0,20	0,02	195,	0,01	200,	0,01	200,	0,01	200,	0,01	200	0,01	200,	0,01	200,
0,25	0,14	205,	0,13	205,	0,24	200,	0,13	210,	0,14	21,	0,12	210,	0,15	210,
0,30	1,18	200,	1,20	230,	1,19	235,	0,68	220,	0,92	230,	0,57	235,	1,17	220,
0,35	3,25	235,	4,32	190,	2,34	230,	3,89	205	3,24	220,	2,75	235	3,30	219,
0,40	5,65	230,	5,11	230,	6,70	230,	5,75	200,	6,25	230,	5,97	215,	5,91	223,
0,45	9,09	225,	9,03	230,	9,47	230,	9,28	225,	8,96	230,	8,24	235,	9,01	229,
,50	10,75	225	10,94	230	11,03	230	11,07	225	11,14	230	11,04	230	11,00	228,

Tabela (C.4.8)

Tração de (2000 + 6450,4) x 5 = 42252,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	240							0,00	220	0,00	210	0,00	223
0,20	0,00	255	0,00	240	0,00	235	0,00	235	0,00	245	0,00	235	0,00	241
0,25	0,26	250	0,06	260	0,08	270	0,08	255	0,13	255	0,13	250	0,12	257
0,30	0,46	280	0,78	270	0,98	305	0,79	295	0,51	280	1,04	280	0,76	285
0,35	2,22	305	207	300	2,26	305	2,66	305	2,29	305	2,08	300	2,26	303
0,40	3,61	305	4,19	300	4,07	300	4,05	300	3,92	270	4,51	305	4,06	297
0,45	5,39	305	6,61	305	6,64	300	6,60	300	6,46	300	6,49	305	6,37	303
0,50	8,25	270	8,24	300	8,28	300	8,43	300	8,25	300	8,36	300	8,30	295
0,55	9,60	295	9,92	300	10,31	290	10,18	300	9,80	300	9,85	300	9,94	298
,60	10,85	300	10,74	300	10,93	300	11,61	300	11,16	300	11,34	300	11,11	300

Tabela (C.5.1) comprimento de 18 cm

Tração de (370,0) x 5 = 1850,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	10,0	0,00	10,0	0,00	10,0	0,00	10,0	0,00	6,0	0,00	8,0	0,00	18,0
0,15	0,03	12,0	0,08	10,0	0,05	10,0	0,05	10,0	0,24	10,0	0,03	9,0	0,08	10,0
0,20	0,16	15,0	1,72	12,0	0,21	11,0	0,19	11,0	0,81	8,0	0,30	9,0	0,57	11,0
,25	10,82	12,0	10,93	12,0	10,88	13,0	10,85	13,0	10,84	12,0	11,66	6,0	10,98	11,0
,30	14,18	15,0	14,99	15,0	14,64	14,0	14,61	14,0	14,61	13,0	16,55	14,0	14,93	14,0
,35	16,55	10,0	18,53	14,0	18,72	15,0	18,69	15,0	17,57	13,0	18,16	13,0	18,04	19,0

Tabela (C.5.2)

tração de (453,4 + 370,0) x 5 = 4117,0

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	19,0	0,00	19,0	0,00	19,0	0,00	21,0	0,00	22,0	0,00	18,0	0,00	20,0
0,15	0,05	23,0	0,05	23,0	0,05	23,0	0,08	23,0	0,08	23,0	0,08	23,0	0,07	23,0
0,20	0,59	23,0	0,89	25,0	0,40	25,0	0,43	23,0	0,24	25,0	0,43	25,0	0,50	25,0
,25	10,07	24,0	10,42	26,0	10,61	26,0	11,09	18,0	10,96	25,0	12,17	28,0	10,89	25,0
,30	13,99	28,0	15,34	28,0	14,96	28,0	14,72	28,0	14,32	28,0	13,99	28,0	14,55	28,0
,35	18,05	29,0	17,81	29,0	17,27	29,0	18,05	29,0	16,71	29,0	17,00	30,0	17,48	29,0

Tabela (C.5.1) E.T. fitas plásticas
Tração de (370) x 5 = 1850 gramas comprimento: 12 mm

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	18,0	0,00	16,0	0,00	15,0	0,00	15,0	0,00	15,0	0,00	15,0	0,00	15,0
0,15	0,03	21,0	0,05	21,0	0,11	20,0	0,04	20,0	0,10	20,0	0,06	19,0	0,06	20,0
0,20	0,17	20,0	0,92	22,0	0,59	21,0	0,45	20,0	0,29	20,0	0,27	20,0	0,45	20,0
0,25	1,07	22,0	2,34	18,0	2,46	21,0	1,89	20,0	2,24	20,0	2,49	20,0	2,07	20,0
0,30	2,76	22,0	4,15	22,0	4,00	22,0	4,46	20,0	4,31	21,0	4,12	18,0	4,00	21,0
0,35	4,23	22,0	5,31	21,0	5,81	18,0	6,11	22,0	6,63	0,22	6,35	22,0	5,79	21,0
0,40	6,02	22,0	6,77	20,0	6,59	22,0	7,36	22,0	7,70	22,0	7,29	20,0	7,01	21,0
0,45	7,34	21,0	7,46	20,0	7,78	22,0	8,15	22,0	8,59	22,0	8,24	20,0	8,01	21,0
0,50	8,59	19,0	8,52	22,0	8,85	22,0	9,09	22,0	9,31	22,0	9,36	22,0	9,00	22,0
0,55	9,08	21,0	9,08	22,0	9,27	21,0	9,92	22,0	9,81	22,0	9,85	21,0	9,55	22,0
0,60	9,79	21,0	9,67	22,0	9,65	22,0	10,17	22,0	10,08	22,0	10,13	22,0	9,94	22,0

Tabela (C.5.2)
Tração de (370 + 454,4) x 5 = 4122 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	28,0	0,00	28,0	0,00	28,0	0,00	28,0	0,00	35,0	0,00	32,0	0,00	30,0
0,15	0,05	33,0	0,05	34,0	0,04	34,0	0,04	34,0	0,02	35,0	0,05	35,0	0,04	34,0
0,20	0,26	35,0	0,55	33,0	0,46	36,0	0,62	36,0	0,02	40,0	0,05	40,0	0,29	37,0
0,25	1,62	36,0	2,47	35,0	1,85	36,0	1,96	36,0	0,34	43,0	1,08	41,0	1,53	38,0
0,30	3,71	36,0	4,77	37,0	4,67	32,0	4,01	37,0	1,19	43,0	3,73	41,0	3,66	38,0
0,35	5,47	38,0	6,01	36,0	5,84	37,0	6,07	38,0	4,41	43,0	5,68	42,0	5,42	39,0
0,40	7,07	37,0	7,01	38,0	7,18	38,0	7,20	38,0	6,44	40,0	7,07	42,0	7,08	39,0
0,45	8,11	38,0	7,92	38,0	8,24	37,0	8,18	38,0	7,69	40,0	8,24	41,0	8,14	39,0
0,50	8,81	37,0	9,14	36,0	9,09	38,0	9,17	38,0	8,64	40,0	8,98	40,0	9,00	38,0
0,55	9,77	35,0	9,82	35,0	9,74	38,0	9,86	38,0	9,80	35,0	9,56	40,0	9,78	37,0
0,60	10,33	39,0	10,34	37,0	10,33	38,0	10,33	38,0	10,22	40,0	10,21	40,0	10,28	39,0

Tabela (C.5.3)

Tração de (665,4 + 824,4) x 5 = 7399,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	48,0	0,00	45,0	0,00	47,0	0,00	45,0	0,00	47,0	0,00	44,0	0,00	46,0
0,15	0,08	50,0	0,20	50,0	0,11	50,0	0,01	49,0	0,03	52,0	0,01	48,0	0,04	50,0
0,20	0,19	58,0	0,22	58,0	0,43	60,0	0,51	60,0	0,38	60,0	0,09	55,0	0,30	59,0
0,25	1,05	62,0	1,34	60,0	2,46	60,0	1,56	60,0	1,73	60,0	1,65	59,0	1,63	60,0
0,30	3,61	62,0	3,32	60,0	3,46	60,0	3,92	60,0	3,76	60,0	3,38	60,0	3,58	60,0
0,35	5,69	62,0	5,24	61,0	5,56	60,0	5,02	61,0	5,48	60,0	5,43	60,0	5,40	60,0
0,40	6,71	60,0	6,63	60,0	6,96	60,0	7,02	61,0	7,02	60,0	6,86	60,0	6,87	60,0
0,45	8,12	55,0	7,63	60,0	8,16	60,0	8,06	60,0	8,21	60,0	7,86	60,0	8,01	59,0
0,50	8,80	62,0	8,71	60,0	8,84	60,0	9,22	60,0	9,00	60,0	8,96	60,0	8,92	60,0
0,55	9,34	62,0	9,56	61,0	9,45	60,0	9,83	60,0	9,85	60,0	9,72	60,0	9,63	61,0
,60	10,05	58,0	10,16	60,0	10,09	60,0	10,25	60,0	10,51	60,0	10,31	60,0	10,23	60,0
,65	10,50	58,0	10,51	60,0	10,61	60,0	10,65	60,0	10,73	58,0	10,58	60,0	10,50	59,0

Tabela (C.5.4)

tração de (991 + 1489,8) x 5 = 12404 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	74,0	0,00	84,0	0,00	75,0	0,00	75,0	0,00	90,0	0,00	89,0	0,00	81,0
0,15	0,05	78,0	0,01	88,0	0,01	84,0	0,01	90,0	0,05	102,0	0,02	100,0	0,03	90,0
0,20	0,19	88,0	0,02	90,0	0,28	94,0	0,23	0,05	0,62	108,0	0,28	108,0	0,27	97,0
0,25	1,27	84,0	0,42	98,0	1,01	95,0	0,99	0,98	1,11	108,0	1,58	106,0	1,06	98,0
0,30	2,50	95,0	4,31	98,0	4,19	95,0	2,60	98,0	3,48	105,0	2,59	109,0	3,29	100,0
0,35	4,55	90,0	5,42	98,0	5,32	98,0	5,27	98,0	4,55	105,0	4,29	110,0	4,90	100,0
0,40	5,71	95,0	6,62	90,0	6,51	98,0	6,18	98,0	6,41	110,0	6,02	110,0	6,24	100,0
0,45	7,00	96,0	7,88	95,0	7,81	98,0	7,13	97,0	7,41	110,0	7,95	110,0	7,53	101,0
0,50	8,23	97,0	8,68	98,0	8,84	98,0	8,62	98,0	8,31	110,0	8,82	109,0	8,58	102,0
0,55	8,99	96,0	9,23	98,0	9,41	98,0	9,29	98,0	9,32	110,0	9,42	110,0	9,26	102,0
0,60	9,70	95,0	10,30	98,0	9,91	98,0	10,10	98,0	10,11	109,0	10,00	110,0	10,02	101,0
,65	10,39	95,0	10,57	98,0	10,40	98,0	10,59	96,0	10,61	110,0	10,54	110,0	10,52	101,0
,70	10,78	95,0	11,06	98,0	11,01	98,0	11,10	98,0	11,25	110,0	11,19	110,0	11,07	102,0

Tabela (C.5.5)

Tração de (995,9 + 2580,8) x 5 = 17383,5 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	118	0,00	117	0,00	117	0,00	108	0,00	105	0,00	108	0,00	112
0,20	0,05	134	0,11	136	0,12	137	0,17	125	0,14	125	0,07	125	0,11	125
0,25	0,84	143	0,70	143	1,62	142	0,41	130	0,71	130	0,67	130	0,83	136
0,30	1,48	138	1,60	141	2,92	123	1,64	135	2,46	130	3,35	130	2,24	133
0,35	3,35	144	3,17	144	4,45	143	3,26	130	4,59	130	4,59	130	3,90	137
0,40	5,21	138	5,93	144	5,63	142	4,86	130	6,12	130	6,02	130	5,63	136
0,45	6,52	146	6,71	142	6,68	142	6,53	130	7,13	130	7,10	130	6,78	137
0,50	7,45	140	7,88	136	7,74	142	7,76	130	8,36	130	8,29	130	7,91	137
0,55	8,60	136	8,75	141	9,02	140	8,95	130	9,65	130	9,21	130	9,20	135
0,60	9,23	138	9,49	146	9,74	141	9,69	130	10,32	135	10,05	130	9,75	137
0,65	9,87	138	10,12	138	10,38	143	10,51	130	10,94	130	10,71	130	10,42	135
,70	10,31	136	10,58	143	11,04	143	11,03	130	11,43	130	11,20	130	10,93	135
,75	10,81	137	11,07	143	11,44	140	11,42	130	11,80	130	11,66	130	10,37	135
,80	11,26	137	11,27	140	11,70	138	11,56	170			11,86	130	11,53	143

Tabela (C.5.6)

tração de (1000 + 3576,7) x 5 = 22883,5

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	130	0,00	140	0,00	135	0,00	140	140	0,00			0,00	135
0,20	0,19	150	0,07	155	0,07	160	0,16	160	0,15	160			0,13	157
0,25	0,57	165	0,38	165	0,74	170	0,88	170	0,60	170			0,63	168
0,30	1,42	160	2,30	160	1,31	170	2,21	170	2,49	170			1,95	166
0,35	2,97	160	3,44	160	2,37	170	4,04	170	3,65	170			4,71	166
0,40	4,46	170	4,83	160	5,99	170	4,95	160	5,35	170			4,71	166
0,45	6,57	160	6,30	160	5,99	170	6,14	160	6,58	165			6,32	163
0,50	7,49	160	7,74	160	7,11	170	7,40	160	8,02	160			7,55	162
0,55	8,56	160	8,55	160	8,00	170	8,45	160	8,62	165			8,44	163
0,60	9,28	160	9,37	160	9,10	160	9,40	170	9,25	165			9,28	163
0,65	9,82	160	9,80	165	9,76	160	9,92	170	9,88	165			9,84	164
,70	10,32	160	10,72	160	10,31	165	10,62	170	10,50	165			10,49	161
,75	10,80	165	10,98	160	11,08	160	11,07	160	11,02	160			11,41	160
,80	11,19	160	11,55	160	11,38	160	11,54	160	11,38	160			11,62	160

Tabela (C.6.1)

Tração de (507,4) x 5 = 2537,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	8,0	0,00	5,0	0,00	7,0	0,00	4,0	0,00	6,0	0,00	3,0	0,00	6,0
0,20	0,03	10,0	0,03	10,0	0,03	10,0	0,08	8,0	0,03	10,0	0,05	10,0	0,04	10,0
0,25	0,16	10,0	0,11	10,0	0,13	10,0	0,03	10,0	0,13	8,0	0,27	7,0	0,14	9,0
0,30	0,08	8,0	0,40	11,0	0,30	10,0	0,21	8,0	0,35	10,0	0,51	10,0	0,31	10,0
0,35	0,24	10,0	1,07	12,0	0,99	11,0	0,67	5,0	0,83	8,0	1,34	10,0	0,86	9,0
0,40	0,99	10,0	1,80	11,0	1,85	11,0	1,69	10,0	2,50	10,0	2,47	10,0	1,89	10,0
0,45	2,52	10,0	2,90	11,0	2,85	11,0	2,74	10,0	3,12	10,0	3,04	10,0	2,86	10,0

Tabela (C.6.2)

Tração de (507,4 + 454,4) x 5 = 4809,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	15,0	0,00	32,0	0,00	27,0	0,00	25,0	0,00	25,0	0,00	25,0	0,00	25,0
0,20	0,03	23,0	0,03	35,0	0,03	37,0	0,03	35,0	0,03	35,0	0,03	35,0	0,03	33,0
0,25	0,48	24,0	0,05	40,0	0,21	30,0	0,08	35,0	0,13	35,0	0,19	42,0	0,19	34,0
0,30	0,64	24,0	0,21	40,0	0,61	37,0	0,30	35,0	0,38	35,0	0,43	35,0	0,43	34,0
0,35	1,15	25,0	0,46	40,0	1,26	38,0	1,07	35,0	1,53	35,0	1,91	35,0	1,23	35,0
0,40	2,01	25,0	1,15	40,0	3,63	38,0	2,90	36,0	3,12	35,0	3,20	35,0	2,67	35,0
0,45	2,77	25,0	2,77	40,0	4,22	38,0	4,51	35,0	4,35	36,0	4,70	35,0	3,89	32,0
0,50	4,54	40,0	4,10	40,0	5,08	39,0	5,26	36,0	5,56	36,0	5,61	35,0	5,03	38,0
0,55	5,37	40,0	5,32	40,0	5,96	39,0	5,96	36,0	6,34	35,0	6,82	35,0	5,96	38,0

Tabela (C.6.3)

Tração de (655,4 + 961,8) x 5 = 8086,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	46,0	0,00	40,0	0,00	40,0	0,00	40,0	0,00	40,0	0,00	40,0	0,00	41,0
0,20	0,08	54,0	0,03	55,0	0,03	55,0	0,03	55,0	0,03	55,0	0,03	55,0	0,04	55,0
0,25	0,24	54,0	0,21	55,0	0,16	56,0	0,51	55,0	0,16	55,0	0,19	56,0	0,24	55,0
0,30	0,43	57,0	0,56	54,0	0,48	57,0	0,81	56,0	0,54	56,0	0,94	56,0	0,63	56,0
0,35	1,88	58,0	1,37	55,0	1,85	57,0	2,50	56,0	2,15	56,0	2,18	56,0	1,99	56,0
0,40	3,33	58,0	2,02	56,0	3,46	58,0	4,27	58,0	3,55	58,0	4,30	58,0	3,49	58,0
0,45	4,73	59,0	5,02	58,0	5,48	56,0	5,31	58,0	4,81	58,0	5,61	56,0	5,16	58,0
0,50	5,80	59,0	5,72	58,0	6,26	55,0	6,23	58,0	5,96	58,0	6,31	56,0	6,05	57,0
0,55	6,82	59,0	6,47	59,0	6,82	58,0	6,90	58,0	6,85	58,0	6,98	58,0	6,81	58,0

Tabela (C.6.4)

Tração de (991 + 1617,2) x 5 = 13041 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	62,0	0,00	65,0	0,00	70,0	0,00	70,0	0,00	75,0	0,00	65,0	0,00	68,0
0,20	0,05	85,0	0,00	85,0	0,08	90,0	0,11	90,0	0,05	87,0	0,05	81,0	0,06	86,0
0,25	0,11	87,0	0,05	85,0	0,13	90,0	0,19	90,0	0,16	90,0	0,16	82,0	0,13	87,0
0,30	0,43	90,0	0,27	90,0	0,48	92,0	0,46	92,0	0,48	92,0	0,43	85,0	0,43	90,0
0,35	2,04	90,0	0,75	94,0	1,42	92,0	2,07	94,0	2,85	90,0	1,77	85,0	1,82	91,0
0,40	3,28	94,0	2,95	95,0	4,19	95,0	3,57	94,0	4,11	94,0	3,46	85,0	3,59	93,0
0,45	4,65	95,0	4,51	95,0	5,00	95,0	5,05	95,0	5,16	95,0	5,29	85,0	4,94	93,0
0,50	5,83	94,0	5,67	95,0	5,96	95,0	6,34	94,0	6,31	94,0	6,23	85,0	6,06	93,0
0,55	6,58	94,0	6,47	95,0	6,63	95,0	7,17	94,0	6,98	92,0	6,98	85,0	6,80	93,0

Tabela (C.6.5)

Tração de (995,4 + 2608,2) x 5 = 18018 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	96,0	0,00	95,0	0,00	98,0	0,00	92,0	0,00	115,0	0,00	115	0,00	102,0
0,20	0,03	106,0	0,03	115,0	0,05	115,0	0,05	115,0	0,03	135,0	0,03	130,0	0,04	119,0
0,25	0,11	116,0	0,40	95,0	0,13	120,0	0,19	120,0	0,11	140,0	0,08	135,0	0,17	121,0
0,30	0,26	120,0	0,56	120,0	0,51	105,0	0,48	120,0	0,48	140,0	0,27	140,0	0,43	124,0
0,35	0,73	125,0	1,29	125,0	1,26	115,0	1,42	120,0	1,10	140,0	1,56	140,0	1,23	128,0
0,40	3,38	125,0	3,06	125,0	3,06	125,0	3,71	118,0	3,28	140,0	2,95	144,0	3,24	130,0
0,45	4,59	129,0	4,54	125,0	4,78	120,0	5,29	120,0	5,67	140,0	5,10	140,0	5,00	129,0
0,50	5,88	126,0	5,75	125,0	5,91	125,0	6,23	120,0	6,18	140,0	6,04	140,0	6,00	129,0
0,55	6,61	126,0	6,80	125,0	6,74	120,0	6,90	120,0	6,66	140,0	6,77	140,0	6,75	128,0

Tabela (C.6.6)

Tração de (1000,0 + 4603,6) x 5 = 28018 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	150	0,00	150	0,00	150	0,00	150	0,00	150	0,00	150	0,00	150
0,20	0,03	160	0,05	160	0,03	170	0,08	170	0,05	170	0,08	170	0,05	167
0,25	0,16	165	0,11	165	0,13	170	0,24	150	0,16	175	0,19	180	0,17	168
0,30	0,32	180	0,32	180	0,35	180	0,51	180	0,51	180	0,43	180	0,41	180
0,35	1,13	180	1,07	180	1,07	185	1,56	180	1,21	185	1,26	180	1,22	182
0,40	2,47	180	3,60	180	2,95	190	3,57	180	2,93	190	3,81	180	3,22	183
0,45	4,38	180	4,83	190	4,65	190	4,89	185	4,75	190	5,00	190	4,75	188
0,50	6,63	180	6,39	185	5,86	190	6,10	190	6,12	190	6,20	190	6,22	188
0,55	6,98	180	7,14	180	6,85	190	7,39	190	7,09	190	7,20	190	7,10	187
0,60	7,52	180	8,00	180	7,68	190	7,84	190	7,79	190	7,84	190	7,78	187

Tabela (C.6.7)

Tração de (993,2 + 5603,6) x 5 = 32984 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	180	0,00	180	0,00	180	0,00	180	0,00	190	0,00	180	0,00	180
0,20	0,03	190	0,03	200	0,05	200	0,05	200	0,03	200	0,08	200	0,05	198
0,25	0,13	200	0,16	205	0,16	205	0,19	205	0,16	205	0,19	205	0,17	204
0,30	0,35	205	0,73	210	0,43	220	0,43	220	0,38	220	0,43	220	0,46	216
0,35	1,13	220	1,26	220	1,02	220	1,32	220	1,15	220	1,02	220	1,15	220
0,40	2,42	220	2,82	220	3,22	220	4,27	220	2,28	220	2,52	220	2,92	220
0,45	4,22	220	4,35	220	4,57	220	4,86	220	4,27	220	4,24	220	4,42	220
0,50	5,91	220	5,94	220	5,86	220	6,04	220	5,83	220	5,80	220	5,90	220
0,55	7,20	220	6,82	220	6,82	220	7,04	220	6,90	220	6,80	220	6,93	220
0,60	7,76	220	7,57	225	7,76	225	7,79	225	7,76	220	7,74	225	7,73	225

Tabela (C.6.8)

Tração de (1000 + 6596,8) x 5 = 37984,0 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- D	M- C
0,00	0,00	210	0,00	200	0,00	205	0,00	200	0,00	210	0,00	220	0,00	208
0,20	0,05	230	0,03	230	0,05	230	0,05	230	0,03	230	0,03	230	0,04	230
0,25	0,13	240	0,11	250	0,38	245	0,19	240	0,16	240	0,08	240	0,18	243
0,30	0,32	245	0,32	250	0,48	250	0,35	256	0,32	250	0,27	250	0,34	250
0,35	0,70	250	0,83	250	1,26	250	0,86	250	0,73	255	0,97	255	0,89	252
0,40	1,83	255	2,15	255	2,63	255	2,18	250	2,44	255	2,36	255	2,27	254
0,45	3,87	260	4,27	255	4,16	260	3,76	255	3,98	260	3,68	260	3,95	220
0,50	5,53	260	5,35	255	5,59	260	5,35	260	5,69	260	5,45	260	5,49	259
0,55	6,61	260	6,85	255	6,74	255	6,42	260	6,61	260	6,58	260	6,64	258
0,60	7,41	260	7,31	260	7,33	260	7,09	260	7,44	260	7,39	260	7,33	260

Tabela (C.6.9)

Tração de (992,8 + 7596,8) x 5 = 42948 gramas

Pres	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	Desl	CC	M- C	M- C
0,00	0,00	245	0,00	250	0,00	220	0,00	220	0,00	210	0,00	210	0,00	226
0,20	0,03	255	0,11	260	0,03	250	0,05	245	0,05	240	0,05	245	0,05	249
0,25	0,16	265	0,30	280	0,11	260	0,13	250	0,16	250	0,19	255	0,18	260
0,30	0,64	290	0,43	280	0,30	270	0,38	280	0,35	270	0,51	280	0,44	278
0,35	1,26	290	0,81	290	0,83	290	0,86	290	0,88	290	0,97	290	0,94	290
0,40	2,36	290	2,85	290	3,20	290	2,12	290	1,98	290	2,15	290	2,44	290
0,45	4,57	290	3,87	290	4,21	290	4,43	290	4,75	290	3,57	290	4,23	290
0,50	5,35	290	5,05	290	5,45	290	5,94	390	5,43	290	5,05	295	5,38	290
0,55	6,31	290	6,12	290	6,74	290	6,39	295	6,42	295	6,25	295	6,37	293
0,60	7,44	290	7,28	290	7,57	290	7,14	290	7,25	290	7,33	295	7,34	290