

## **Projeto, construção e teste de um Torcímetro**

SANTOS, D.C.; BARBIERI, R.

Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais – PGCEM – UDESC  
Campus Universitário Prof. Avelino Marcante - Bairro Zona Industrial Norte - Joinville-SC - Brasil  
CEP 89219-710

e-mail: [dacleo.santos@gmail.com](mailto:dacleo.santos@gmail.com) ; [dem2rb@joinville.udesc.br](mailto:dem2rb@joinville.udesc.br)

---

### **RESUMO**

O torcímetro é um aparelho utilizado para medir a variação angular entre duas posições e uma das suas aplicações é para medir o *ângulo de torção* nos ensaios de torção de materiais. Neste trabalho é descrito o princípio de funcionamento, os principais detalhes do projeto e da construção de um torcímetro de baixo custo. A sua curva de calibração e alguns resultados experimentais também são mostrados para quantificar as medições obtidas com este protótipo.

**Palavras-chave:** Torcímetro, ensaio de torção, ângulo de torção.

---

### **Design, fabrication and testing of a Torsionmeter**

#### **ABSTRACT**

The torsionmeter is a device used to measure the change in angle between two positions and one of its applications is to measure the angle of twist in torsion tests of materials. This paper describes the working principle, the main details of design and construction of a low cost torsionmeter. Its calibration curve and some experimental results are also shown to quantify the measurements obtained with this prototype.

**Keywords:** Torsionmeter, torsion test, twist angle.

---

## **1 INTRODUÇÃO**

Normalmente os torcímetros comerciais com custo relativamente baixo são construídos se empregando algum tipo de transdutor de deslocamento linear (um relógio comparador [1], por exemplo). Na Figura 1 é mostrada uma ilustração de um torcímetro comercial que utiliza um relógio comparador para efetuar as medições indiretas da variação angular. Esse transdutor é construído com duas peças que possuem movimento angular relativo e em uma delas é fixado o relógio comparador e na outra uma haste onde é apoiada a extremidade do relógio para efetuar a medição do deslocamento de acordo com a rotação. O corpo de prova é fixado por meio de parafusos ajustáveis (indicados com setas) e o movimento da haste ocorre quando existe variação angular entre esses dois pontos de fixação do corpo de prova.

O deslocamento da haste do relógio comparador será diretamente proporcional à distância  $r$  e do seno do ângulo relativo de rotação  $\Delta\theta$ , Figura 1. Sua expressão matemática é:

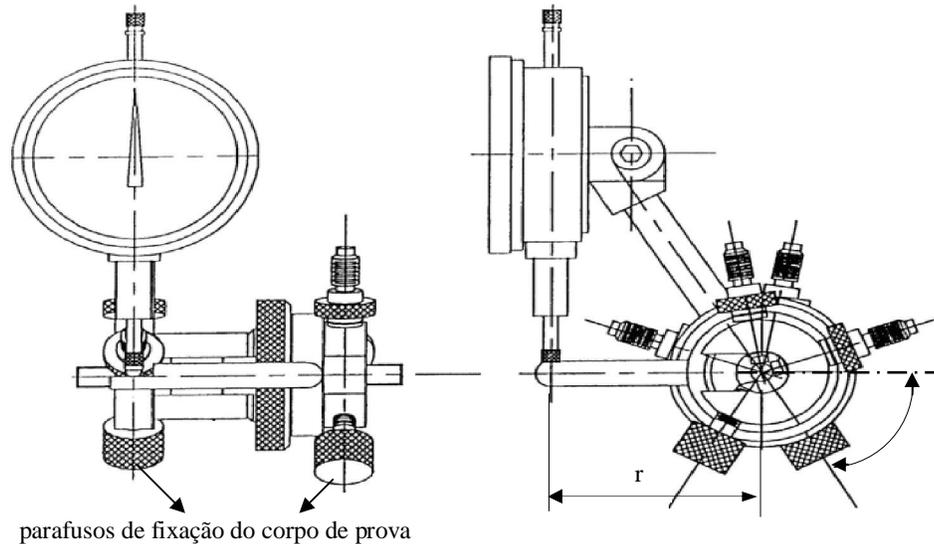
$$d \cong r \cdot \text{sen}(\Delta\theta) \quad (1)$$

Onde  $\Delta\theta$  é expresso em radianos e  $r$  é a distância radial entre o ponto de torção do corpo de prova e o ponto de apoio do relógio comparador na haste fixada em uma das peças móveis do transdutor [2].

Deste pequeno cálculo pode-se facilmente obter a precisão das medições para este sistema, correlacionando a precisão do relógio comparador com a variação angular  $\Delta\theta$ . Embora seja um torcímetro com custo relativamente baixo, o projeto ilustrado na Figura 1 é inviável para grandes deslocamentos devido às limitações de deslocamento da haste do relógio comparador.

O torcímetro projetado nesse trabalho não possui esta limitação de rotação, utiliza extensometria para as medições indiretas da variação angular entre duas posições, é de baixo custo e o sinal de saída é

analógico. O princípio de funcionamento desse aparelho, alguns cálculos, a sua calibração e alguns testes de uso são mostrados na seqüência.



**Figura 1:** Típico torcímeter comercial de baixo custo, [1].

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

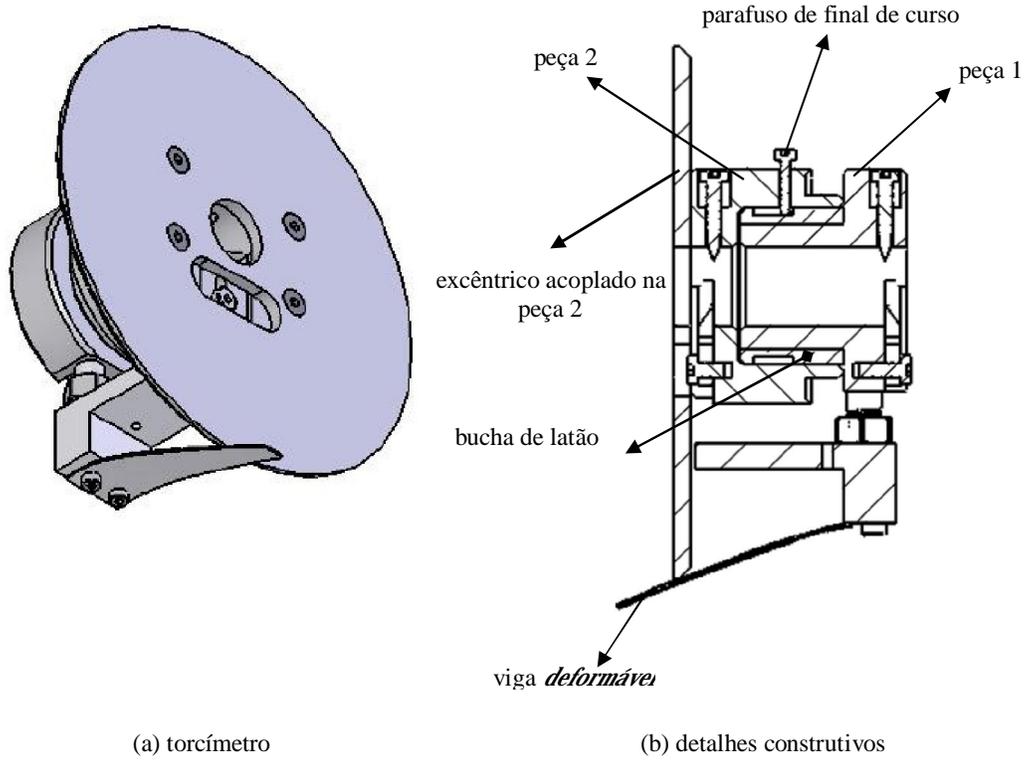
Como nos torcímetros comerciais o dispositivo mostrado na Figura 2 possui duas peças móveis que possuem movimento relativo de translação e rotação. Em uma dessas peças, é fixado um excêntrico e, em outra, uma pequena viga deformável. A técnica utilizada para obter indiretamente a variação angular entre as duas posições de fixação do corpo de prova é a extensometria que é empregada para determinar as deformações de uma viga engastada. Essa viga é engastada em uma extremidade (peça 1) e apoiada em um excêntrico na outra extremidade (peça 2). Na medida em que existe o movimento relativo devido à rotação do corpo de prova, o excêntrico se desloca e as deformações na viga são alteradas e medidas. Através desse valor, correlaciona-se o ângulo de variação angular entre essas duas posições.

Enquanto o movimento de rotação não possui limitação, o movimento de translação é limitado pelo parafuso de final de curso (curso máximo de 5 mm). As duas peças são separadas apenas por uma bucha de bronze (ajuste deslizante com folga mínima). Nota-se nesta Figura que existe uma viga deformável (aço mola 1065 estirado a frio com espessura de 0,2 mm) que se desloca de acordo com o excêntrico acoplado na peça 2.

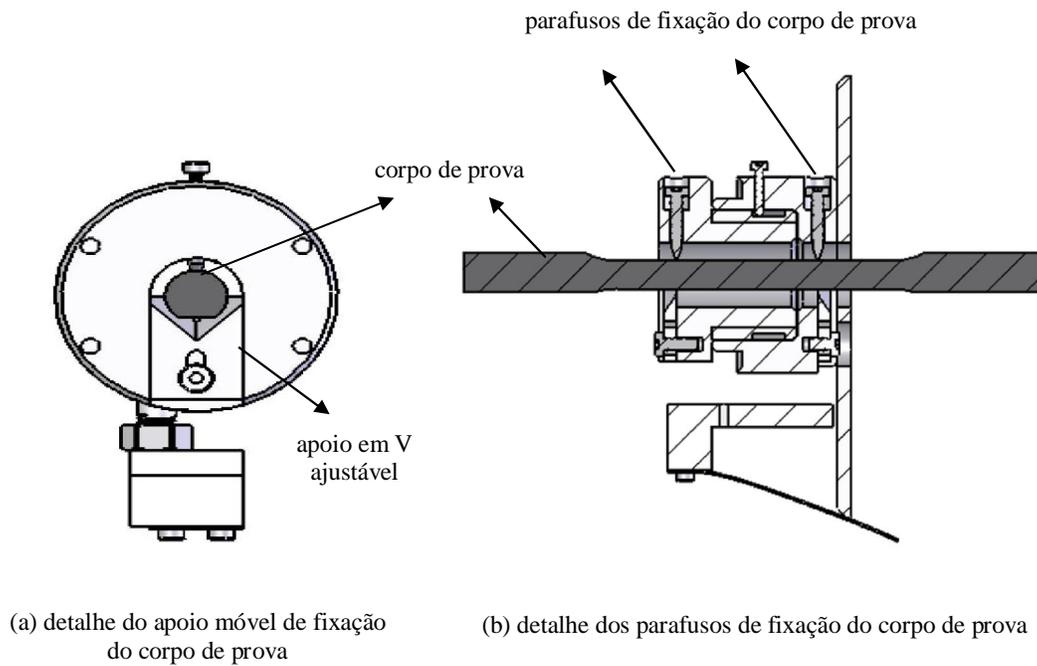
O corpo de prova é fixado em 3 pontos conforme a Figura 3: dois apoios na cunha com formato de V com ângulo de 90° e o outro apoio é a extremidade do parafuso de fixação. O apoio em V é regulável e permite a fixação de corpos de prova com até 8 mm de diâmetro, fig. 3a; a distância mínima entre os parafusos de fixação do corpo de prova é de 32,5 mm e a máxima é de 37,5 mm (limitada pelo parafuso de final de curso).

Na Figura 4, o ponto  $O$  indica o centro de rotação do corpo de prova e  $O'$  indica o centro geométrico do excêntrico,  $e'$  é a distância entre esses centros e  $R$  indica o raio do excêntrico. A distância  $\overline{OP}$  pode ser obtida a partir do ângulo de rotação  $\theta$ , do ângulo  $\beta$ , de  $R$  e de  $e'$ . Da Figura 4 tem-se:

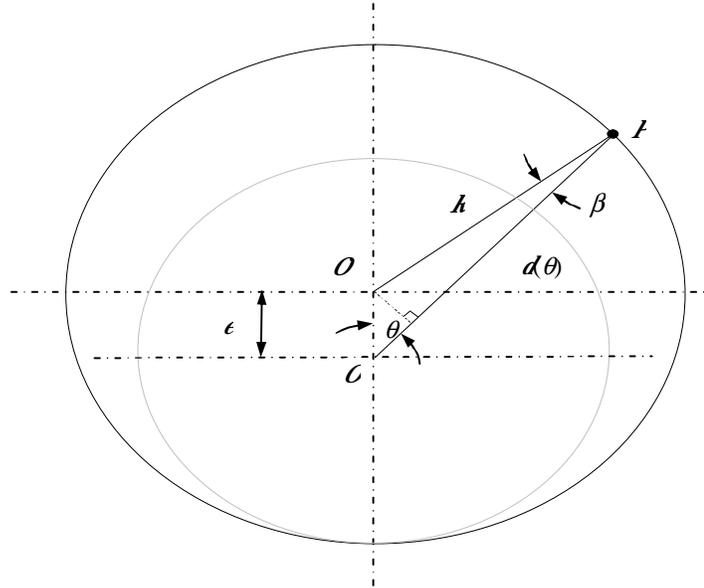
$$\overline{OP} = d(\theta) = e \cos(\theta) + R \cos(\beta) \quad (2)$$



**Figura 2:** Principais componentes do torcímetro.



**Figura 3:** Detalhes construtivos e de fixação do corpo de prova.



**Figura 4:** Parâmetros geométricos do excêntrico.

Como  $e \sin(\theta) = R \sin(\beta)$  e  $\cos(\beta) = \sqrt{1 - (e/R)^2 \sin^2(\theta)}$ , então a distância  $\overline{OP}$  denominada de  $d(\theta)$  pode ser escrita em função do ângulo  $\theta$ , de  $R$  e de  $e$ ; isto é:

$$d(\theta) = e \cos(\theta) + R \cos(\beta) = e \cos(\theta) + R \sqrt{1 - (e/R)^2 \sin^2(\theta)} \quad (3)$$

A curva ilustrada na fig.5a foi obtida empregando  $e=5$  mm e  $R=51$  mm que foram os parâmetros utilizados nesse projeto. A curva mostrada é limitada em  $\theta=180^\circ$  devido à simetria da função  $d(\theta)$  e observa-se que na faixa  $60^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$  o deslocamento aproxima-se de uma reta. Como pode ser verificado visualmente na fig.5a e na curva do erro entre a reta e a curva analítica, fig.5b, a aproximação de  $d(\theta)$  por uma reta é uma boa opção para essa faixa do ângulo  $\theta$ . A reta ilustrada na fig.5a foi ajustada com 51 pontos e empregando o método dos mínimos quadrados com coeficiente de determinação igual a 0,999982 e o erro máximo entre essa reta e a curva da Eq.(3) é em torno de 0,03 mm. Sua expressão analítica é:

$$d(\theta) \cong -0,08591\theta + 58,4958 \quad 60^\circ \leq \theta \leq 110^\circ \quad (4)$$

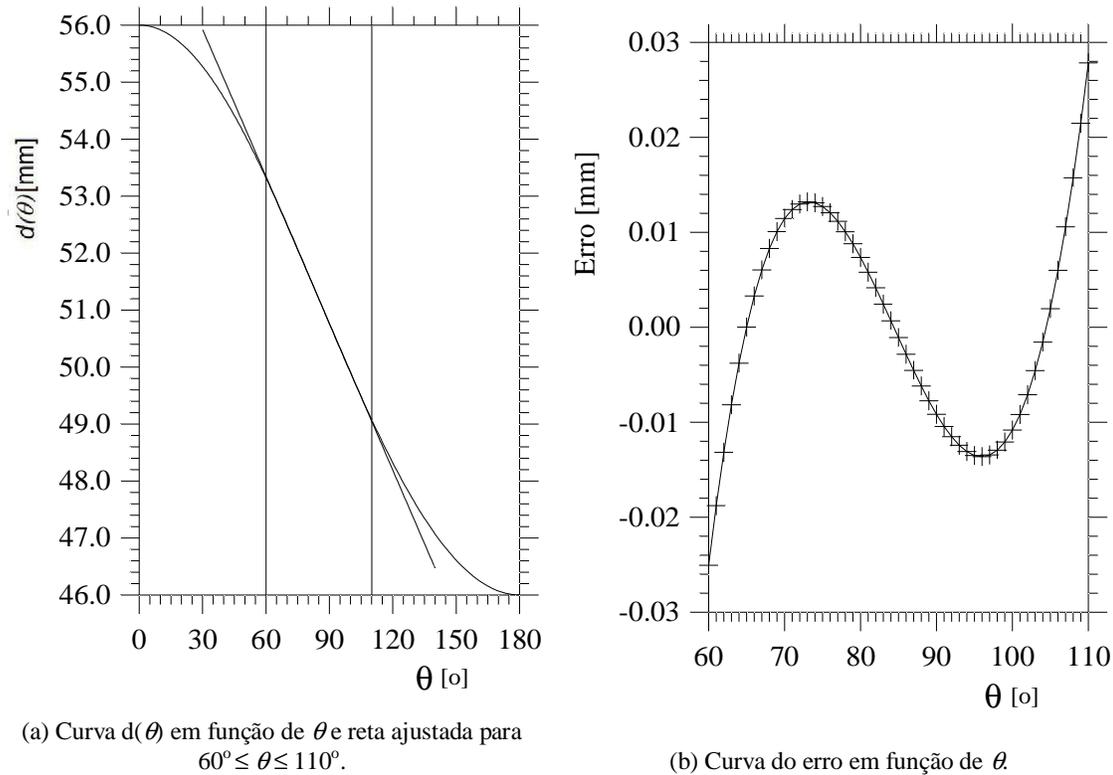
Para as medições de deformação da viga, foi utilizada extensometria com circuito em  $1/4$  de ponte de Wheatstone, KHAN e WANG [3]. Um extensômetro (strain gage) do tipo LY11-3/120 com resistência de 120 ohms foi colado próximo ao engaste da viga e a alimentação da ponte foi realizada com 5 Volts de corrente contínua, fig.6. O sistema de aquisição de dados também é de custo baixo (US\$50,00), os dados foram armazenados com 12 bits de resolução e um amplificador operacional foi utilizado para amplificar o sinal na faixa de 0 a 10 Volts de corrente contínua, com o objetivo de utilizar a entrada USB padrão para a coleta dos dados.

A calibração do torcímeter foi realizada com o ensaio de torção de um corpo de prova de alumínio (sua ruptura ocorre com aproximadamente 7 voltas completas) com velocidade constante de aplicação de carga igual a 0,8 rpm. Esta montagem pode ser vista na fig.7 e a curva de calibração obtida para meia volta é a mostrada na fig. 8. Entre dois pontos consecutivos desta curva que estão assinalados com o símbolo 'Æ' tem-se 10 dados de medição e este procedimento foi adotado para melhor visualização dos resultados experimentais.

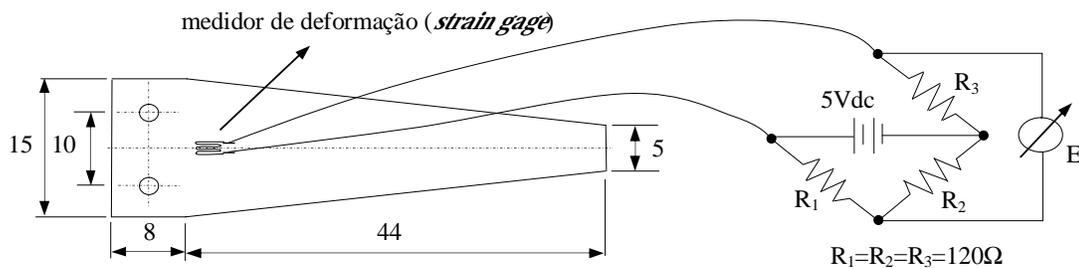
Mesmo tendo um comportamento não linear de deformação, os dados experimentais obtidos a partir das deformações da viga mostraram que na faixa que varia de  $60^\circ$  até  $130^\circ$ , a curva de calibração aproxima-se muito de uma reta. A expressão analítica para essa reta também foi obtida empregando-se o método dos mínimos quadrados para 313 pontos experimentais e com coeficiente de determinação igual a 0,999959, obteve-se a seguinte expressão:

$$V(\theta) = -0.03931\theta + 7.1687 \quad 60^\circ \leq \theta \leq 130^\circ \quad (5)$$

sendo  $V(\theta)$  em volts e  $\theta$  em graus. Devido a facilidade de calibração, este intervalo foi o mais utilizado para realizar as medições principalmente para os ensaios conduzidos com o objetivo de determinar o módulo de cisalhamento do material (regime elástico).

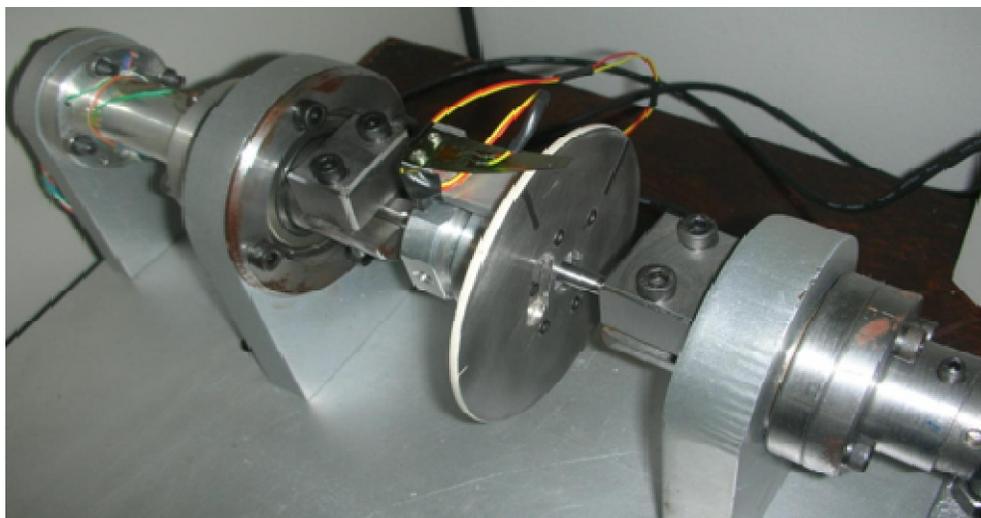


**Figura 5:** Curva característica do torcímeter e do erro de aproximação.

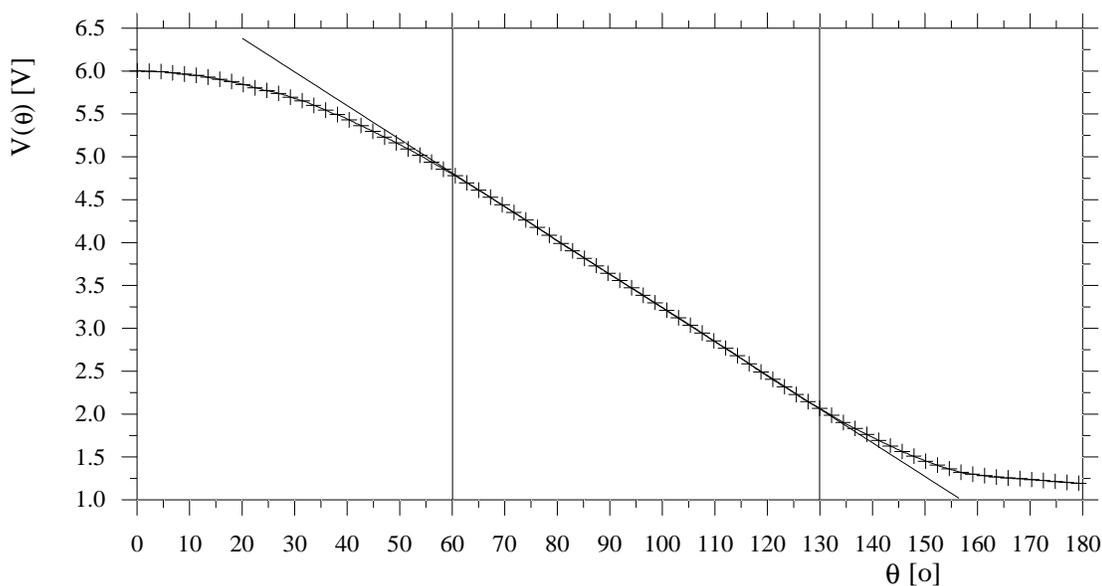


**Figura 6:** Viga e posição do extensômetro.

Como os deslocamentos da viga são muito maiores do que a sua espessura, o comportamento das deformações é não linear e embora o aspecto da curva de calibração mostrada na fig.8 apresente semelhança com a curva de deslocamento do excêntrico, fig.5, as deformações seguem padrões diferentes.



**Figura 7:** Ensaio de torção utilizado para calibrar o torcímetro.

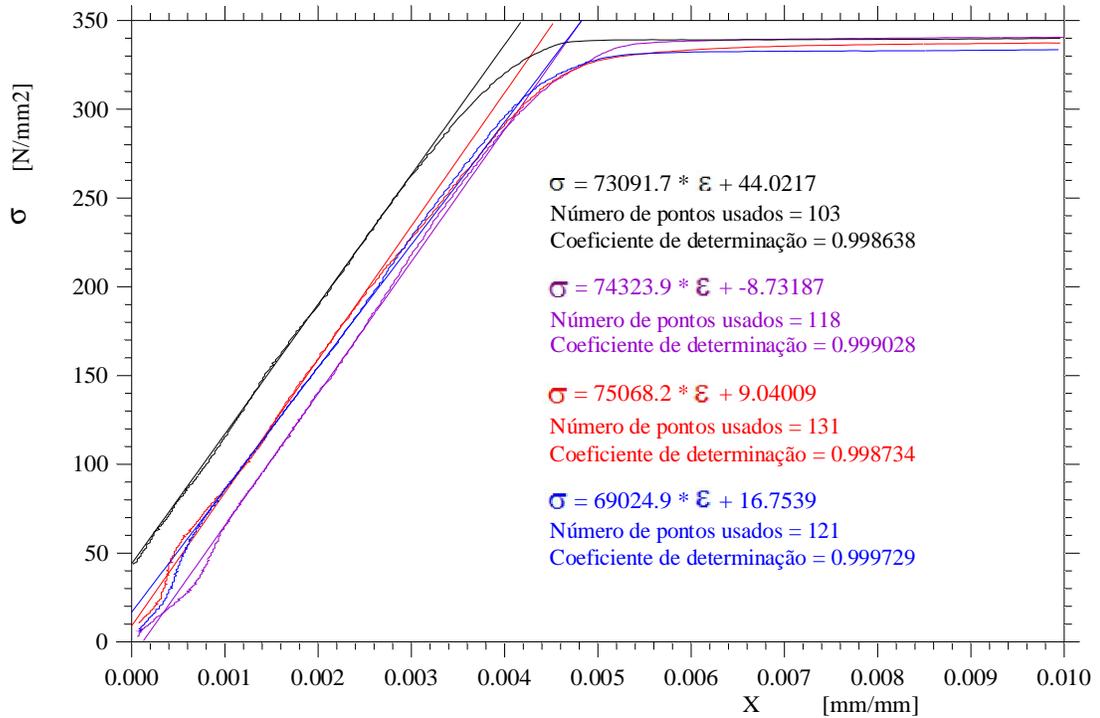


**Figura 8:** Curva de calibração do torcímetro.

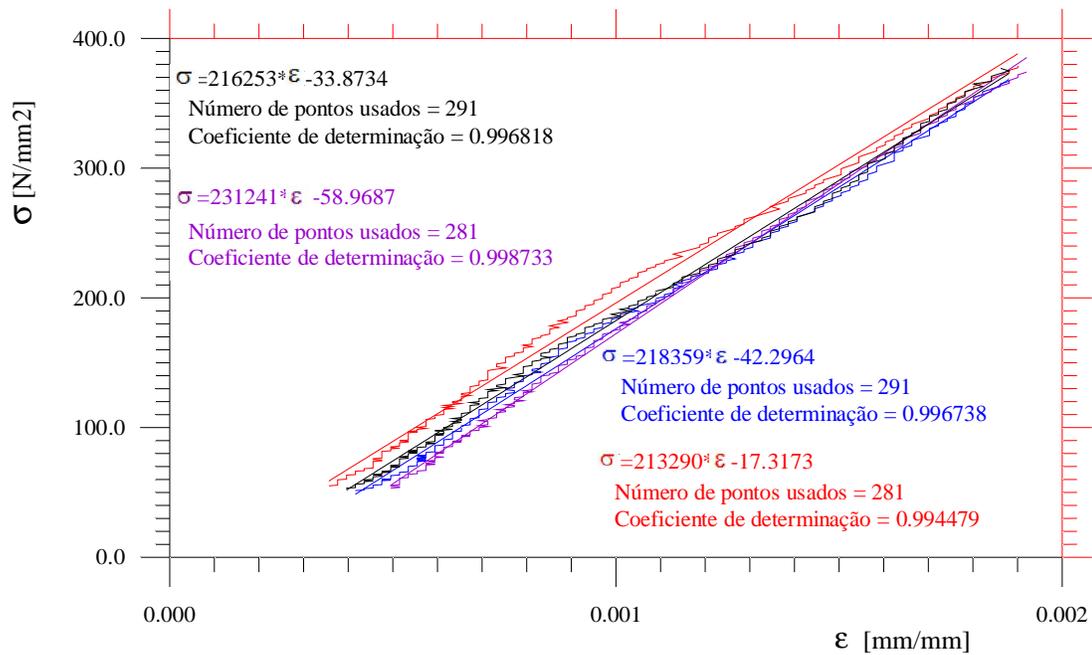
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como o princípio de medição empregado para avaliar o ângulo de torção é baseado em extensometria e com o uso de apenas um extensômetro (*strain gage*), a maior parcela do custo para a fabricação deste equipamento é resultante da usinagem dos componentes. O custo aproximado do protótipo construído foi em torno de R\$400,00 (US\$240,00).

Para avaliar a qualidade dos resultados obtidos com este torcímetro, além da curva de calibração mostrada anteriormente, foram realizados experimentos com o objetivo de determinar o módulo de cisalhamento (indiretamente do módulo de Young), empregando-se o ensaio de torção para alguns materiais (aço 1020 estirado a frio, alumínio comercialmente puro e latão). A primeira etapa dessa tarefa foi realizada com o ensaio de tração para o aço e o alumínio com o intuito de determinar, experimentalmente, o módulo de Young que é o parâmetro empregado nas comparações desse trabalho. Nas comparações de resultados para o latão, foram utilizados apenas os valores encontrados na literatura. Na Figura 9 e na Figura 10, estão mostrados os resultados obtidos para 4 corpos de prova em alumínio e aço 1020, respectivamente, em que se destacam as retas ajustadas com o método dos mínimos quadrados para os pontos na região elástica das curvas. O valor do módulo de elasticidade coincide com o coeficiente angular destas retas (todas ajustadas com coeficiente de determinação acima de 0,99) e o seu valor médio é indicado na Tabela 1.



**Figura 9.** Curvas tensão em função da deformação para o Al, usadas para determinação do módulo de elasticidade.



**Figura 10.** Curvas tensão em função da deformação para o aço 1020, usadas para determinação do módulo de elasticidade.

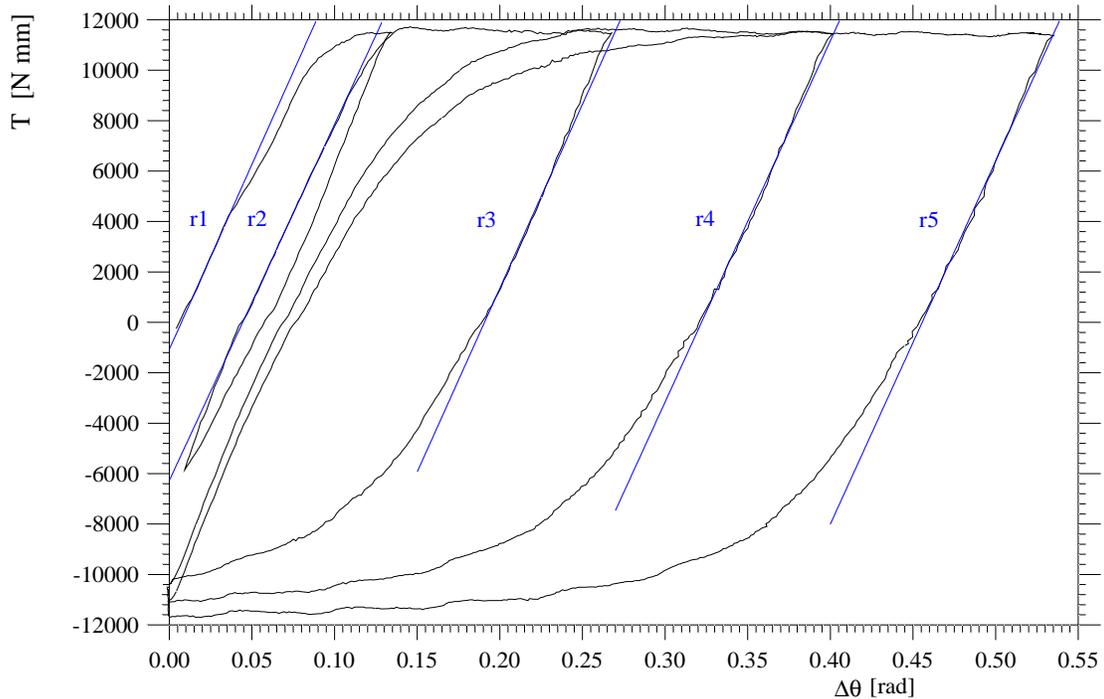
**Tabela 1:** Módulo de Elasticidade obtido com ensaio de tração.

Material	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Valor Médio
Alumínio	73.091,70	74.323,90	75.068,20	69.024,90	72.877,18
Aço 1020	216.253,00	231.241,00	218.359,00	213.290,00	219.785,75

O módulo de cisalhamento,  $G$ , para o alumínio foi determinado com o ensaio de torção mostrado na fig.11. Note que foram realizados diversos ciclos de carregamento e descarregamento do material e diversas retas ( $r_1, r_2, \dots, r_5$ ) foram ajustadas nas regiões lineares com o objetivo de determinar as suas inclinações. A partir destas inclinações,  $dT/d(\Delta\theta)$ , se obtém o módulo de cisalhamento empregando a seguinte relação [4]:

$$\frac{dT}{d(\Delta\theta)} \frac{L}{J} = G \quad (6)$$

sendo que  $L$  representa a distância entre os dois pontos de fixação do corpo de prova (32,50 mm),  $\Delta\theta$  representa o valor do ângulo de torção entre estas duas posições em radianos e  $J$  é o momento polar de inércia, ( $J = \pi d^4/32 = \pi 6,5^4/32 \text{ mm}^4 = 175,248 \text{ mm}^4$ ).

**Figura 11:** Curvas torque em função do ângulo para o Al, usadas para determinação do módulo de cisalhamento.

Os valores obtidos com os cálculos da Equação (6), estão indicados na Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2:** Alumínio - Módulo de Cisalhamento obtido com ensaio de torção.

Reta	$\frac{dT}{d(\Delta\theta)}$ [N mm/rad]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ] $E = 2G(1 + \nu)$	E <sub>1</sub> %	E <sub>2</sub> %
r <sub>1</sub>	146.748,00	27.214,63	72.935,21	0,08	1,72
r <sub>2</sub>	141.291,00	26.202,62	70.223,02	-3,64	-2,06
r <sub>3</sub>	145.716,00	27.023,03	72.421,72	-0,62	1,01
r <sub>4</sub>	143.297,00	26.574,42	71.219,45	-2,27	-0,67
r <sub>5</sub>	143.968,00	26.698,87	71.552,96	-1,82	0,21
Valor médio	144.204,00	26.742,63	71.670,25	-1,66	-0,05

E<sub>1</sub>%= erro percentual calculado com o valor médio da Tabela 1, E=72.877,18 [N/mm<sup>2</sup>].

E<sub>2</sub>%= erro percentual calculado com o valor clássico da literatura, E=71.700,00 [N/mm<sup>2</sup>] [5].

Esse procedimento foi repetido para os outros materiais mencionados anteriormente, as Tabelas 3 e 4 a seguir apresentam os dados calculados para os módulos de cisalhamento e de elasticidade para o aço 1020 estirado a frio e para o latão, respectivamente. As retas utilizadas para a obtenção dos valores mostrados nestas tabelas estão ilustradas nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Nessas tabelas, observa-se que a ordem de grandeza dos erros percentuais nos valores dos módulos de elasticidade é a mesma que aquela mostrada para o Al (Tabela 2).

**Tabela 3:** Aço 1020 - Módulo de Cisalhamento obtido com ensaio de torção.

Reta	$\frac{dT}{d(\Delta\theta)}$ [N mm/rad]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ] $E = 2G(1 + \nu)$	E <sub>1</sub> %	E <sub>2</sub> %
r <sub>1</sub>	417.174,00	77.365,33	199.912,01	-9,04	-3,33
r <sub>2</sub>	435.764,00	80.812,86	208.820,43	-4,99	0,98
r <sub>3</sub>	430.547,00	79.845,37	206.320,43	-6,12	-0,23
r <sub>4</sub>	414.355,00	76.842,54	198.561,12	-9,65	-3,98
r <sub>5</sub>	417.680,00	77.459,17	200.154,49	-8,93	-3,21
Valor médio	423.104,00	78.465,05	202.753,70	-7,75	-1,96

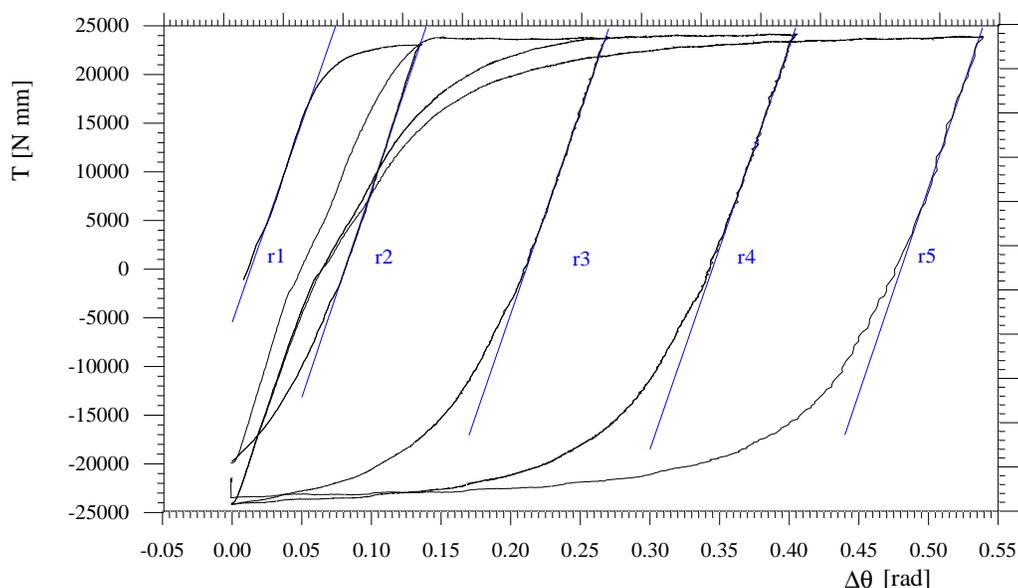
E<sub>1</sub>%= erro percentual calculado com o valor médio da Tabela 1, E=219.785,75 [N/mm<sup>2</sup>].

E<sub>2</sub>%= erro percentual calculado com o valor clássico da literatura, E=206.800,00 [N/mm<sup>2</sup>] [5].

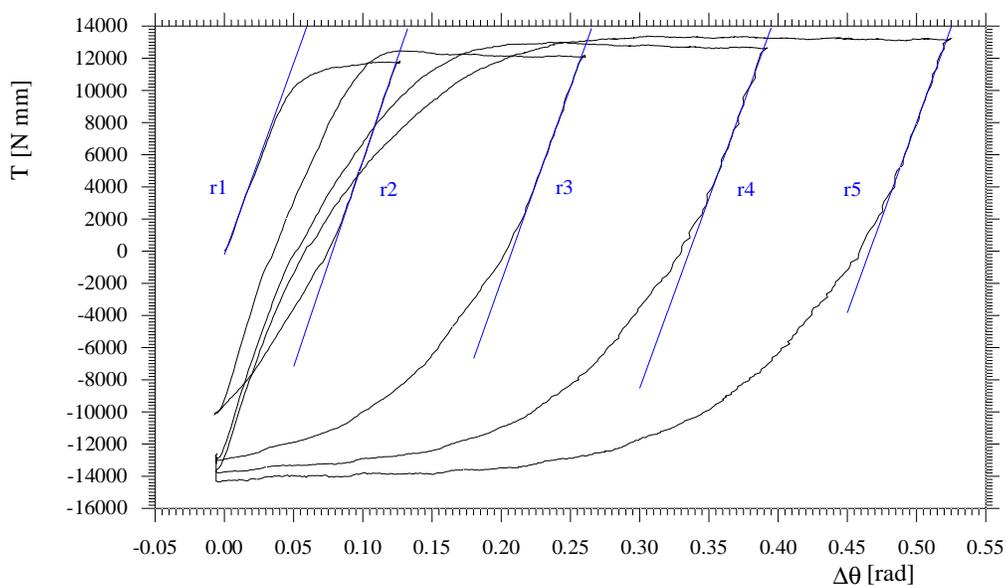
**Tabela 4:** Latão - Módulo de Cisalhamento obtido com ensaio de torção.

Reta	$\frac{dT}{d(\Delta\theta)}$ [N mm/rad]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ] $E = 2G(1 + \nu)$	E%
r <sub>1</sub>	23.8209,00	44.176,09	117.508,39	6,54
r <sub>2</sub>	24.2116,00	44.900,65	119.435,72	8,28
r <sub>3</sub>	24.0890,00	44.673,29	118.830,95	7,73
r <sub>4</sub>	23.5980,00	43.762,72	116.408,83	5,54
r <sub>5</sub>	23.6649,00	43.886,79	116.738,86	5,84
Valor médio	238.768,80	44.279,91	117.784,55	6,79

E%= erro percentual calculado com o valor clássico da literatura, E=110.300,00 [N/mm<sup>2</sup>] [5].



**Figura 12:** Curvas torque em função do ângulo para o aço 1020, usadas para determinação do módulo de cisalhamento.



**Figura 13:** Curvas torque em função do ângulo para o latão, usadas para determinação do módulo de cisalhamento.

#### 4 CONCLUSÕES

Baseado no torçímetro construído e testado, nesse trabalho, podemos concluir que trata-se de um equipamento de baixo custo (cerca de US\$ 240,00), que apresenta boa qualidade dos resultados na região elástica e na região plástica do ensaio de torção. Ele também pode ser utilizado até a ruptura do corpo de prova e acomoda corpos de prova com diâmetros até 8 mm. Ainda, possui a facilidade no uso do medidor mesmo nas faixas não lineares da curva de calibração. E, por fim, há facilidade na coleta de dados proporcionada pela saída analógica do sinal da ponte de Wheatstone.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento a CAPES pelo apoio concedido na forma de bolsa de estudo para a realização deste trabalho.

## 6 BIBLIOGRAFIA

- [1] STAR MEDIA [http://html.rincondelvago.com/resistencia-de-materiales\\_3.html](http://html.rincondelvago.com/resistencia-de-materiales_3.html), acessado em agosto de 2008.
- [2] TORSION TEST, <http://info.lu.farmingdale.edu/depts/met/met206/torsion.html>, acessado em agosto de 2008.
- [3] KHAN, A.S. e WANG, X., “Strain gage circuitry, transducers, and data analysis”, In: *Upper Saddle River; Strain Measurements and Stress Analysis*, 1 ed., chapter 8, New Jersey, USA, Prentice-Hall, 2001.
- [4] SOUZA, S.A., “Ensaio de torção”, In: Edgard Blücher, *Ensaíos mecânicos de materiais metálicos*, 5 ed., chapter 12, São Paulo, Br., Edgard Blücher, 1982.
- [5] NORTON, R.L., “Propriedades dos materiais”, In: Bookman, *Projeto de máquinas*, 2 ed., appendix C, Porto Alegre, Br., Bookman, 2004.