

## APLICAÇÃO DA EXTENSOMETRIA ATRAVÉS DE STRAIN GAGE: ELABORAÇÃO DE UMA CELULA DE CARGA COM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS COMPUTADORIZADO

**Malerba, P. C. C<sup>1</sup>, Guarnieri, F. L.<sup>2</sup>, Barros, J.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Curso de Engenharia Elétrica – FEAU/UNIVAP

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento – IP&D, UNIVAP

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Aeronáutica – EMBRAER

**Resumo** - Um corpo tende a se deformar quando sofre a ação de uma força externa. No entanto se esse corpo permanece em seu domínio elástico é possível medir essa deformação. Este trabalho trata da extensometria, técnica utilizada para análise experimental dessas deformações / tensões em estruturas e corpos sólidos e que possibilita a obtenção do máximo esforço que um corpo suporta. A extensometria também é utilizada para confecção de transdutores e sensores de alta precisão, utilizados para medidas como pressão, força e torque.

O objetivo principal deste trabalho é a elaboração de uma célula de carga, utilizando um extensômetro elétrico, *Strain Gage*, para medição de esforços, e seu sistema de aquisição de dados via porta USB de um microcomputador, onde será feita à calibração e conversão dos dados para unidades de engenharia.

**Palavras-chave:** *Strain Gage*, Extensometria, Ponte de *Wheatstone*, Amplificador de Instrumentação.

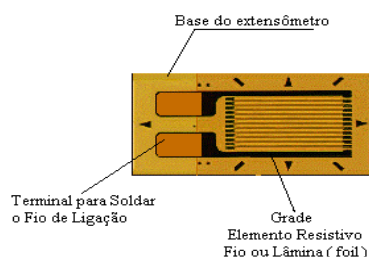
**Área do Conhecimento:** Instrumentação, Sensores, Calibração e Aquisição de dados.

### Introdução

A extensometria é uma técnica utilizada para medir as deformações de um sólido submetido a forças externas tendendo a deformá-lo, porém permanecendo em seu domínio elástico (Portnoi, M, 2007).

Medindo-se a deformação de um corpo podemos achar o valor da força externa aplicada a ele. Essa é a idéia básica do extensômetro elétrico, ou *Strain Gage*.

O *Strain Gage* nada mais é que uma resistência elétrica muito fina, fabricada sobre uma base isolante, conforme mostrado na Figura 1, e colado sobre o corpo em teste.



**Figura 1-** Modelo de *Strain Gage* (WWW.GEOCITIES.COM, 2005).

Seguindo-se corretamente os procedimentos de colagem, o *strain gage* irá se deformar nas mesmas proporções do corpo em teste. Tendo uma força aplicada sobre um corpo teremos que a resistência elétrica  $R$  sendo definida pela expressão 1:

$$R = (\rho \cdot L / A) \quad (1)$$

Onde:  $\rho$  = resistividade do material

$L$  = comprimento do fio

$A$  = área da seção transversal do fio

A razão da deformação total sofrida pelo comprimento original é definida como *strain* e por ser muito pequena seu valor é normalmente expresso em micro-*strain*, ou seja, *strain* x  $10^{-6}$  (OMEGA.COM, 1999)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

Onde  $\epsilon$  = micro-*strain*

Outro parâmetro a ser levado em consideração é o *Gage Factor* (GF ou K), que indica a sensibilidade do *strain gage* conforme a equação 3 (COSTA, 2001). O *gage factor* é fornecido pelo fabricante.

$$GF = (\Delta R/R) / (\Delta L/L) \quad (3)$$

Um fator que influencia muito a medição efetuada pelo *strain gage* é a temperatura. Além de gerar uma alteração na resistividade do material, o fator temperatura também dilata o corpo gerando um "sinal falso". Podemos minimizar esse efeito colando um *strain gage* na região não observada. Este elemento não efetuará nenhuma medida direta, ou seja, ele não é colado diretamente no corpo de prova, mas serve somente para medir as alterações criadas pelo efeito temperatura.

Utilizando-se uma ponte de *Wheatstone* completa esse efeito da temperatura é compensado automaticamente.

Configurando-se a resistência do *strain gage* em uma ponte de *Wheatstone*, como a mostrada na figura 4, é possível também melhorar a sensibilidade da instrumentação. A ponte de *Wheatstone* converte a variação de resistência em uma saída de tensão, que é proporcional à força aplicada. Em alguns casos conseguiu-se dobrar o sinal de saída melhorando assim a percepção da deformação e as condições de “trabalho” do sinal.

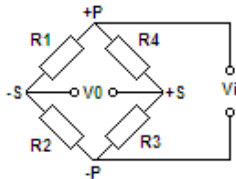


Figura 4- Ponte completa de *Wheatstone*

O trabalho propõe a instrumentação de um corpo de prova para medir tração e compressão, ou seja, a confecção de uma célula de carga, utilizando um *strain gage* de 350  $\Omega$  produzido pela Micro-Measurements (*MM\_measurements group*), configurados em uma ponte de *Wheatstone* completa e alimentados com 10Vdc. Para o condicionamento do sinal serão utilizados três amplificadores operacionais em uma configuração onde cada sinal de saída do *strain gage* (positivo e negativo) será conectado diretamente ao terminal não-inversor de um amplificador operacional. Este arranjo no circuito é denominado de “Amplificador de Instrumentação”. Após o condicionamento será utilizado um Conversor Analógico Digital (A/D) USB, baseado no micro-processador PIC 16C765 (Santos et al., 2006) para se fazer a interface e aquisição dos dados via um microcomputador.

## Metodologia

Primeiramente foi necessária a definição do corpo de prova a ser utilizado, pois só a partir dele podemos definir a geometria do *strain gage*, seu material de fabricação, o tamanho que melhor contribui para sua instalação além da geometria da colagem.

Assim então definimos o modelo do *strain gage* que melhor se enquadrava com as características do corpo de prova como sendo o EA-06-125BF-350E. Sua colagem foi efetuada com o adesivo AE-10 que é uma mistura de componentes que constitui uma resina *epoxy* resistente e que eleva a vida útil da instrumentação. O adesivo AE-10, por ser mais resistente, requer maiores cuidados em sua utilização. Tem que ser aplicado 10 minutos após a mistura de seus componentes, possuindo uma cura de 6 horas em temperatura ambiente.

Todo o procedimento de colagem do *strain gage* foi efetuado conforme segue:

*Dispositivo para cura do adesivo:* antes de iniciar a preparação da superfície elaboramos um dispositivo para aplicar força sobre o *strain gage* durante o procedimento de cura do adesivo. Isso é necessário para obter uma perfeita fusão do elemento sensor com a superfície a ser testada.

Também foi necessário ser feito o estudo do dispositivo de aplicação de força antecipadamente, pois após preparada a superfície, não é recomendável que a mesma fique exposta para que não ocorra contaminação.

O dispositivo usado foi um grampo que mantém a pressão sobre os quatro elementos sensores de uma só vez. Para distribuir a força uniformemente em todo o *strain gage* foi utilizada uma chapa de alumínio de aproximadamente 2mm de espessura sobre uma almofada de silicone apoiada sobre o elemento sensor.

*Desengraxamento:* foi utilizado um solvente apropriado para remoção de óleos, graxa e outros contaminantes orgânicos ou resíduos químicos solúveis do corpo. Esse foi o primeiro passo para a preparação da superfície a ser instrumentada.

*Limpeza Abrasiva:* a superfície do corpo onde foi colado o *strain gage* foi lixada para remover qualquer resíduo aderido e/ou alguma irregularidade da superfície (principalmente oxidação) e também preparar a superfície com uma textura apropriada para a colagem.

Durante todo o processo foi mantida a lixa umedecida com o condicionador, uma solução ácida de baixa concentração que acelera o processo de limpeza.

*Esquematização das linhas direcionais dos extensômetros:* antes da colagem pequenas marcações foram feitas no corpo com o intuito de orientar o *strain gage* na direção da deformação a ser medida.

*Neutralização da superfície:* este é o passo final na preparação da superfície. Tem por objetivo manter a alcalinidade entre 7% e 7,5% de pH, além de neutralizar o processo de limpeza abrasiva (utilizando ácido) anteriormente mencionado (BITTENCOURT, 2006).

Após a neutralização os quatros (4) *strain gages* foram posicionados no corpo de prova com uma fita celofane de baixa aderência. Foi preparado o adesivo AE-10 e aplicado rapidamente sobre a superfície, o dispositivo de aplicação de força foi então instalado.

Depois das 6 horas de cura do adesivo o dispositivo para aplicação de força foi removido cuidadosamente e a colagem foi verificada minuciosamente. Observou-se que um dos *strain gages* apresentava uma descontinuidade em sua colagem. Tratava-se de uma bolha que se formou devido a um mau posicionamento da almofada de silicone.

Todo o processo de preparação da superfície teve que ser refeito para que uma nova colagem fosse feita. Agora o cuidado teve que ser dobrado para não se danificar o *strain gage* no lado que teve uma colagem bem sucedida.

Para se montar a ponte de *Wheatstone* foi utilizado fios de baixa resistência e de menor tamanho físico, para não influenciar nas medidas do sensor, e usando um terminal elétrico foi feita a interligação com o cabo de alimentação e sinal.

A Figura 6 mostra o corpo de prova com a instrumentação instalada.

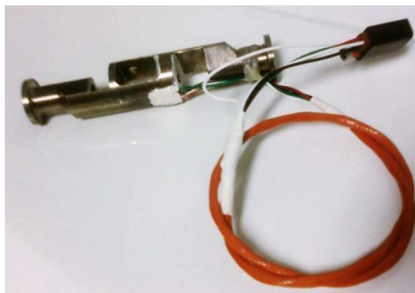


Figura 6- Instrumentação do corpo de prova.

Para o condicionamento do sinal foram utilizados três circuitos integrados UA741, de 8 pinos, para confecção de um Amplificador Diferencial de Instrumentação. Este amplificador de instrumentação é um circuito elaborado com três amplificadores operacional e resistores, conforme Figura 7, onde cada sinal de saída do sensor é conectado diretamente ao terminal não-inversor de um amplificador operacional e logo após esses dois sinais já amplificados passam por um amplificador diferencial. Cada sinal vê uma resistência de entrada muito alta, obtendo-se uma saída proporcional à diferença entre duas entradas.

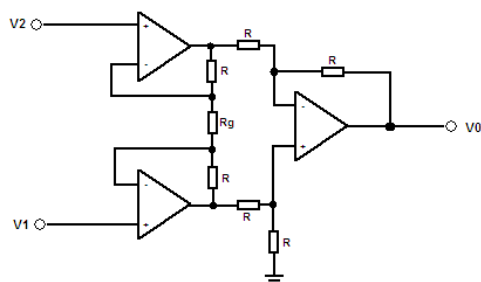


Figura 7- Amplificador de Instrumentação.

O circuito amplificador de instrumentação teve seu sinal de saída,  $V_o$ , conectado a um filtro RC passa-baixa para eliminar os ruídos de alta frequência e o sinal de saída deste filtro foi encaminhado ao circuito de conversão do sinal analógico para um sinal digital de 8 bits.

Esse conversor analógico digital (A/D) foi baseado no micro processador PIC 16C765, e utiliza uma porta USB para fazer a interface com o microcomputador. Esse conversor foi fruto de um Trabalho de Conclusão de Curso, desenvolvido na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo (SANTOS et al, 2006), utilizado como parceria para elaboração do sistema de aquisição. O conversor possui duas entradas analógicas de 0 V até 5 V que são convertidas para digital e fazem interface com um software de leitura dos dados via porta USB.

Trabalhando a uma frequência de 24MHz o conversor possui quatro LEDs para visualização de seu funcionamento sendo um verde para indicar o funcionamento, outro também verde para indicar comunicação com o sistema de aquisição e dois laranja para indicar os canais analógicos utilizados. Este dispositivo é mostrado na Figura 8.



Figura 8- Conversor Analógico/Digital utilizado no projeto (SANTOS et al, 2006).

Além do conversor A/D, o sistema de aquisição de dados foi composto por um software elaborado em LabView sobre o sistema operacional Windows XP, onde uma calibração foi aplicada. Foram utilizados valores conhecidos de forças, gerando-se uma curva com os valores de tensão de saída para cada força aplicada. Essa curva foi aplicada ao *software* para se obter valores em unidades do sistema internacional de medidas

## Resultados

Alimentando o circuito condicionador e a instrumentação com +6 Vdc e -6 Vdc, podemos verificar o funcionamento e ajustar a saída do sistema. Notamos uma grande dificuldade em condicionar esse tipo de sinal, que é muito baixo sofrendo assim muita interferência externa.

Utilizando um multímetro digital monitoramos as tensões lidas na saída do sistema para fazer um "ajuste fino" no ganho do circuito amplificador variando-se o valor da resistência  $R_g$  entre os amplificadores.

Após esse ajuste observamos no multímetro a variação de +3 Vdc e -3 Vdc na saída do circuito quando aplicada uma força de tração ou de compressão no corpo, sendo que o mesmo

apresenta um offset de 0,1 Vdc quando em repouso.

Com o corpo instrumentado e o circuito condicionador regulado, o sistema foi interligado para os testes finais. O conversor A/D e o microcomputador com o software elaborado para aquisição fizeram interface com a “célula de carga” confeccionada e seu circuito condicionador.

Para sabermos qual a força que está sendo aplicada foi necessário aplicar uma calibração no sistema, ou seja, aplicando-se forças conhecidas, medimos as respostas em tensão do sensor. Observamos a necessidade de se aplicar vários “ciclos de força” para que houvesse uma “acomodação” da instrumentação. Assim podemos gerar uma “curva de calibração” que aplicada corretamente ao *software* nos dará uma leitura dos valores de força em Kgf. Para a elaboração final da curva de calibração foram feitos dois ciclos, um de ida e outro de volta, e calculado os valores médios obtidos para se traçar à curva.

### Discussão

Apesar do tempo para se efetuar a instrumentação, comparado com outros sensores, os *strain gages* podem chegar a ser 75% mais baratos, dependendo do tipo de adesivo utilizado. Uma instrumentação que será utilizada por curto período de tempo e que não sofrerá adversidade da natureza (como altas variações de temperatura) pode ser efetuada com o adesivo MBOND 200, o popular “*SUPER BONDER*”, que é de simples instalação e de baixo custo.

O circuito projetado, apesar do baixo custo, não tem precisão tão boa, por isso são utilizados apenas para efeito de estudos, em circuitos “caseiros”. Em condições industriais instrumentos modernos fazem com que a confecção de circuitos assim não seja de grande vantagem. Um exemplo é o *Data Logger NI CompactDAQ*, da *National Instruments*, que possui módulos digitais e analógicos ligados em série onde uma interface via USB transfere os dados para análise em um microcomputador.

### Conclusão

Estudando os extensômetros elétricos e suas técnicas de colagem e ligação elétrica foi confeccionada uma célula de carga. Uma dificuldade encontrada na utilização dos extensômetros elétricos foi o condicionamento do seu sinal. Como ele mede micro-deformações, seu sinal de saída é muito pequeno, sendo de difícil visualização e ficando susceptível a diversos ruídos. O amplificador de instrumentação pode ser elaborado com amplificadores operacionais ou diretamente com o circuito Integrado AD620, que possui três AOs em um mesmo encapsulamento

configurados para instrumentação, porém não é um circuito muito comum.

Para se obter os dados em Kgf foi necessário gerar uma calibração, utilizamos valores conhecidos de força e lendo suas “respostas” em volts, assim pode-se interpretar a saída da célula. O sistema de aquisição de dados, composto pelo conversor A/D com interface USB e pelo software pode ser utilizado para aquisição de qualquer sinal analógico de 0 V à 5 V.

### Bibliografia:

SCHEFFER, B. Strain Gage Aço inoxidável e Silício. Dissertação (Graduação em Eng. Materiais) – UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

TAVARES COSTA, E. Transdução e medida de deslocamento. Dissertação (Graduação em Eng. Elétrica) – UNICAMP, Universidade de Campinas, 2005

EMANT PTE LTDA, Strain Gage Data Acquisition. Disponível em: [www.emant.com/325007.page](http://www.emant.com/325007.page). Acesso em: 19.jul.2007.

NATIONAL INSTRUMENTS, Strain Gage Measurement, Application note 078, 2005.

NORWOOD, Analog Devices Disponível em: [http://www.eletronica24h.com.br/CURSOAO/Experiencias\\_Reais/ad620.pdf](http://www.eletronica24h.com.br/CURSOAO/Experiencias_Reais/ad620.pdf). Acesso em 7.jul.2008

OMEGA ENGINEERING, INC. The Strain Gage. Disponível em: <http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/strain.html>. Acesso em: 05.set.2007

BITTENCOURT, V. Curso de Strain Gage, EMBRAER. Apostila cedida em 12.nov.2006

VISHAY MEASUREMENTS GROUP, Strain Gage & Accessories. Disponível em: [http://www.vishay.com/brands/measurements\\_group/strain\\_gages/mm.htm](http://www.vishay.com/brands/measurements_group/strain_gages/mm.htm) Acesso em 17.ago.2007.