



XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

SIMEX – Simulação de Extensometria

Camilla Borges Rampinelli e Jéssica Ceolin de Bona

UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia Mecânica
Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Bairro Trindade - CEP 88040-970 – Florianópolis – Santa Catarina
E-mail para correspondência: jdb@labmetro.ufsc.br

Introdução

Quando um corpo sólido é submetido a um carregamento externo, ele está sujeito a alterações tanto em sua forma como em suas dimensões. Tais alterações são denominadas de *deformações*, podendo ser visíveis ou quase imperceptíveis dependendo do material que compõe o corpo.

A extensometria trata de medir essas deformações por meio de sensores, os extensômetros, que são transdutores que relacionam alterações sensíveis em sua resistência às mudanças de dimensão de um corpo.

O SIMEX foi um projeto que visou o desenvolvimento de uma bancada integrada de testes de extensometria. O projeto consistiu na elaboração de softwares que seriam capazes de fornecer um comparativo entre deformações calculadas por meio da teoria e deformações obtidas por sensores experimentalmente. A aquisição de dados foi feita via CLP (Controlador Lógico Programável) e a programação será feita em linguagem G, no caso, LabVIEW®.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é criar ferramentas para facilitar a análise e dinamizar o estudo de deformações em um corpo submetido a forças externas.

Metodologia

1. Análise das forças envolvidas

Quando forças externas são aplicadas a um corpo ele pode sofrer alterações nas suas dimensões, as chamadas deformações. As deformações não precisam ser necessariamente uniformes em todo o corpo, algumas partes podem se alongar enquanto que outras se contraem.

A deformação é o alongamento ou contração de um segmento de reta do corpo por unidade de comprimento. No entanto, o conceito mais empregado é o de deformação normal média:

$$\varepsilon_{med} = \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s} \quad (1)$$

Onde Δs corresponde ao comprimento inicial e $\Delta s'$ corresponde ao comprimento após a deformação. Caso a deformação normal seja conhecida, é possível obter uma aproximação do comprimento final da reta, após ter sofrido a deformação.

$$\Delta s' \approx (1 + \varepsilon)\Delta s \quad (2)$$

Podemos também fazer uma breve análise sobre o sinal de ε , caso seja positivo as forças externas causaram um alongamento daquele segmento, caso seja negativo, houve a contração do mesmo. A deformação não possui uma unidade, pois se trata da relação entre duas medidas, no caso comprimentos.

Para o estudo das deformações em sólidos, considera-se a viga abaixo como sendo feita de aço A-36, com módulo de elasticidade E , e comprimento L . O perfil desta viga é retangular, tendo como base b e altura h . Como mostrado no desenho a viga é submetida a uma força vertical F direcionada para baixo em sua extremidade.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
 Artigo CREEM2012

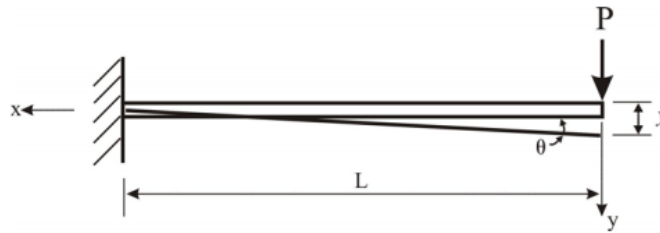


Figura 1 – Viga engastada.

Para que se calcule a deformação neste corpo, precisamos recorrer há algumas fórmulas e conceitos básicos da mecânica dos sólidos:

Força Gravitacional:

$$F = m \cdot g \quad (3)$$

Momento de Inércia (quadriláteros):

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (4)$$

Tensão normal (Lei de Hooke):

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (5)$$

Tensão:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (6)$$

O ponto c é a distância entre a linha neutra e a extremidade na viga. Como neste caso o perfil é uniforme, $c = h/2$. Assim podemos definir a deformação como:

$$\epsilon_{teórico} = \frac{Mc}{IE} \quad (7)$$

2. Extensômetros e Ponte Wheatstone

Um extensômetro é um transdutor capaz de medir deformação em corpos. Há vários princípios para o funcionamento deste pequeno dispositivo, mas sem dúvida o mais utilizado é o *Extensômetro Elétrico Resistivo*. Ele possui como princípio físico de funcionamento a variação da resistência elétrica de um fio quando o mesmo sofre uma variação em sua dimensão.

A resistência elétrica R que percorre os condutores é uma função da constante de resistividade ρ e das variáveis seção transversal A e comprimento L .

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (8)$$

O fator de sensibilidade de um extensômetro, ou Gauge Factor, caracteriza a inclinação da curva no diagrama da resistência elétrica x deformação. É a variação da resistência relativa pela deformação:

$$k = \frac{(\Delta R/R)}{\epsilon} \quad (9)$$

Este número é fornecido pelo fabricante, e é obtido através de testes. O fator k possui valores típicos de -10 a 6 para metais e de 50 a 200 para semicondutores.

As variações na resistência sofrida pelos extensômetros quando sujeitos a deformação, são de magnitude mínima. Assim, se faz necessária a aplicação de uma instrumentação sensível, que possa captar

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
 Artigo CREEM2012

essas pequeninas variações. Para tal é usado um circuito elétrico, a Ponte de Wheatstone, representado abaixo:

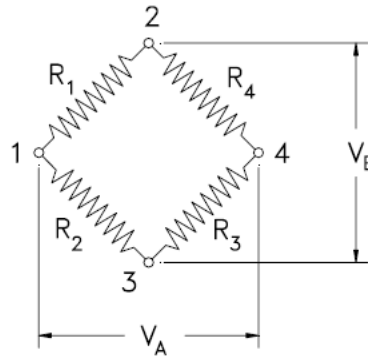


Figura 2 – Ponte de Wheatstone.

Nos quatro braços da ponte há a presença de quatro resistências R_1 , R_2 , R_3 , e R_4 . Entre as saídas (2) e (3) há uma fonte de potência com uma tensão V_E (tensão de entrada) conhecida, com isso aparecerá outra diferença de potencial V_A (tensão de saída) entre (1) e (4). Essa nova d.d.p. está diretamente relacionada às resistências da ponte.

O circuito atinge um estágio de equilíbrio quando $V_A/V_E = 0$, ou seja, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$. Assim é possível perceber que qualquer variação nas resistências traz o desequilíbrio da ponte, gerando uma diferença de potencial $V_A \neq 0$. Relacionando tais variações com o valor da resistência, obtemos a equação:

$$\frac{V_A}{V_E} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \tag{10}$$

A pontes de Wheatstone podem ser usadas com diferentes configurações, a completa contendo 4 extensômetros, a meia ponte contendo 2 extensômetros e o quarto de ponte contendo 1 extensômetro, como ilustrado abaixo.

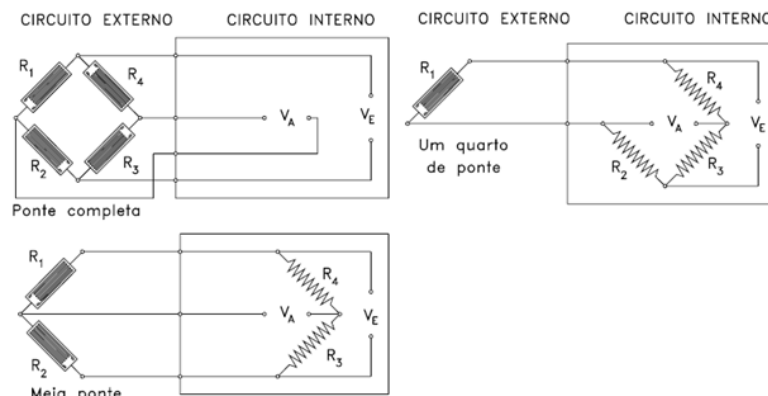


Figura 3 – Configurações possíveis de uma Ponte de Wheatstone.

3. Aplicação do problema

No caso da viga engastada apresentada inicialmente, se colocarmos dois extensômetros em sua parte superior, estes apresentaram uma deformação positiva visto que nesta parte a viga estará sob tração. No caso de colarmos dois extensômetros em sua face inferior, estes medirão uma deformação negativa logo que a viga, nesta face, estará sob compressão.

O programa SIMEX trabalha com duas frentes, a simulação matemática baseada na teoria, e a aquisição de dados experimentais. Foram modelados dois ambientes virtuais, um ambiente totalmente teórico, o qual calcula tensões e analisa a tensão de saída da Ponte de Wheatstone e outro ambiente prático, que integra uma bancada de extensometria, mostrada abaixo, a um Controlador Lógico Programável (CLP).

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012



Figura 4 – Bancada de extensometria utilizada.

Na simulação teórica, encontra-se um ambiente virtual para entender melhor os conceitos teóricos relacionados à extensometria. Na primeira fase desse ambiente, o usuário deve usar seus conhecimentos para deduzir a fórmula para o cálculo da deformação. Para isso é necessário ter conhecimento das seguintes equações:

$$I = b \cdot h^3 / 12 \tag{11}$$

$$c = h / 2 \tag{12}$$

$$\epsilon_{teórico} = Mc / IE \tag{13}$$

Após informar qual a equação correta, pula-se para a próxima etapa, na qual é disponibilizado três tipo de vigas engastadas, estas diferem-se apenas nas dimensões, e dez valores de massas diferente.

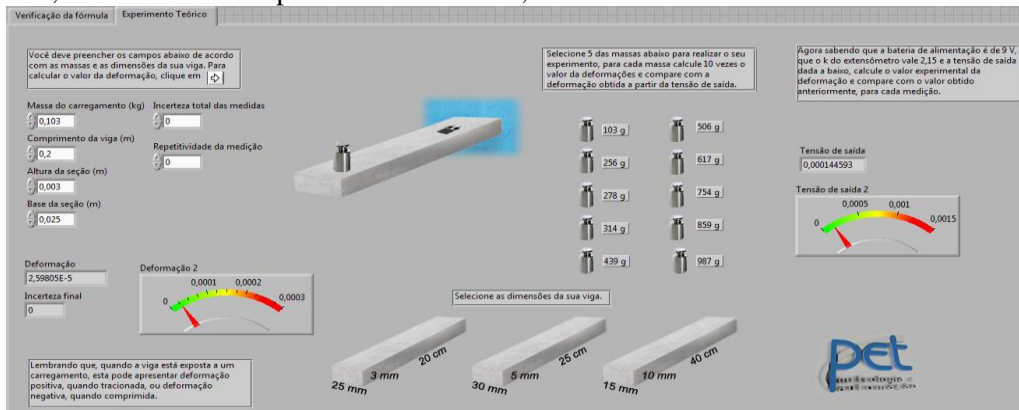


Figura 5 – Interface do software teórico.

Há campos onde o usuário deve preencher com as dimensões da viga que escolher, com as massas. Assim que os campos estiverem devidamente preenchidos, o programa calcula a deformação, pela fórmula escolhida na primeira etapa.

No canto direito, é indicado a tensão de saída. Essa tensão é calculada através do k, constante característica do extensômetro, a tensão de alimentação e a variação nas resistências ($\Delta R/R$). Usam-se as equações:

$$k = \frac{(\Delta R/R)}{\epsilon} \tag{14}$$

$$\frac{V_A}{V_E} = \frac{1}{4} \frac{(\Delta R)}{R} \tag{15}$$

Como o programa faz a simulação utilizando 1/2 ponte para os cálculos, a última equação fica:

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

$$\frac{V_A}{V_E} = \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} \quad (16)$$

É informado o valor da tensão de saída e da constante característica, e a partir disso é possível calcular um novo valor de deformação e compará-lo com o obtido anteriormente. Essa nova deformação será chamada de experimental e a fórmula utilizada deverá ser:

$$\epsilon_{experimental} = \frac{2V_A}{V_E k} \quad (17)$$

A integração com a bancada de testes foi feita com o aparato da National Instruments, Compact FieldPoint e os módulos específicos para extensometria FP-SG-140 e cFP-SG-140. Como transdutor foram utilizados quatro extensômetros colados em uma barra metálica engastada. O equipamento utilizado para a aquisição de dado, FieldPoint, é um controlador lógico programável altamente expansível, composto de robusto módulos, e capaz de adquirir diversas formas de sinais com precisão e de maneira fácil. Através do seu built-in Web e servidores de arquivo, a interface FieldPoint Compact publica automaticamente medições através da rede Ethernet.

Para que ocorresse o funcionamento e aquisição de dados, foi necessário criar um IP para o FieldPoint e fazer com que o computador o reconhecesse através da rede Ethernet. Estabelecida a conexão entre o computador e o CLP, foi feita a integração do transdutor ao sistema. Não foi necessário utilizar-se de um circuito elétrico externo, o próprio FieldPoint fazia as compensações essenciais a leitura das variações das tensões nos sensores.

Com o hardware todo conectado, o sistema estava pronto para a aquisição dos dados fornecidos pelo extensômetro. As ferramentas computacionais empregadas para isto foram dois softwares da National Instruments, o Labview® para programação, tratamento e manipulação dos dados e o Measurement & Automation® para estabelecer configurações específicas para cada canal do módulo.

Ao final chegou-se a seguinte interface para o usuário.

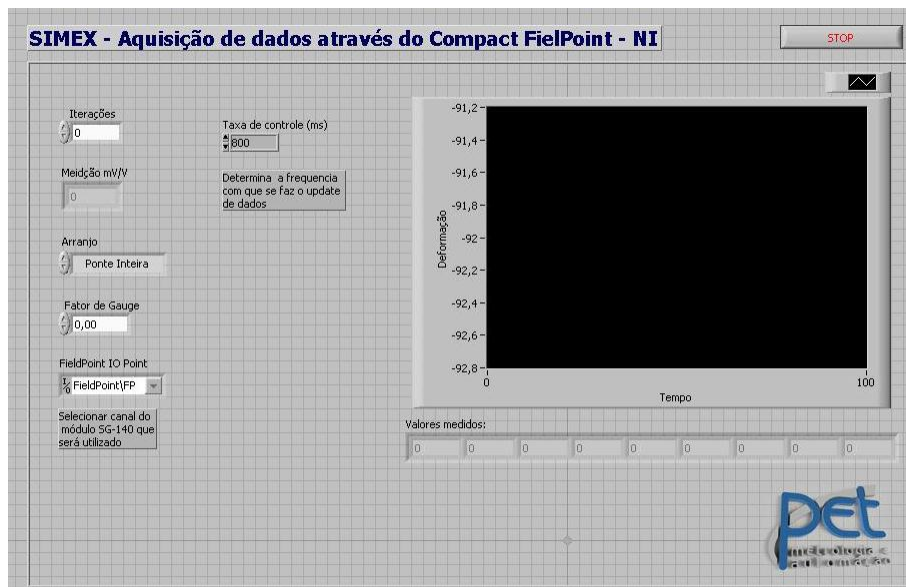


Figura 6 – Interface do software experimental.

Resultados

Com este trabalho conseguimos analisar de maneira dinâmica a evolução das tensões e deformações em um corpo carregado. Obtemos maneiras de calcular deformações teórica e empiricamente e para isto, agregamos conhecimento na manipulação de instrumentos como extensômetros, controladores lógicos



XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

programáveis (CLPs) e módulos de aquisição, linguagem G de programação, além de todo fundamento teórico que foi necessário aprimorar.

Com a simulação desenvolvida foi possível comparar um resultado teórico com um experimental e com a bancada foi possível realizar o experimento físico e plotar os dados coletados em uma interface “*user friendly*”.

Considerações Finais

Os resultados esperados com o trabalho foram alcançados, porém algumas melhorias podem ser efetuadas tanto no programa de simulação quanto na integração dos dois softwares. Primeiramente a linguagem escolhida para o desenvolvimento do programa de simulação, linguagem G, não demonstrou ser a mais adequada para os objetivos didáticos, porém, para a aquisição de dados o software LabVIEW®, que utiliza esta linguagem, é o mais adequado.

Outro ponto que pode ser melhorado é a integração entre os programas, pois ambos foram desenvolvidos separadamente. No futuro pode ser feita a integração destes dois programas em apenas um, de maneira que a simulação teórica e a experiência prática possam ser analisadas em apenas uma plataforma.

Referências Bibliográficas

- Zaro, M.A., Borchardt, I.G., “Extensômetros de Resistência Elétrica”, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 1982.
- Beer, F.P. e Johnston, JR., E.R., “Resistência dos Materiais”, 3.º Ed., Makron Books, 1995.
- Hibbeler, R.C., “Resistência dos Materiais”, 3.º Ed., Editora Livros Técnicos e Científicos, 2000.
- National Instruments, “Using LabVIEW 7.0 to Collect Data from FieldPoint Modules”, National Instruments, Austin, Texas, EUA.
- National Instruments, “Eight-Channel Strain-Gauge Input Modules”, National Instruments, Austin, Texas, EUA.
- National Instruments, “LabVIEW Measurements Manual”, National Instruments, Austin, Texas, EUA.
- National Instruments, “Strain Gage Module for Compact FieldPoint”, National Instruments, Austin, Texas, EUA.