

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

INSTRUMENTAÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA ANÁLISE ESTRUTURAL DE TRELIÇAS PLANAS

Paulo Roberto Oliveira Martins¹, pr_martins@outlook.com
Júlio César de Araújo Carvalho¹, juliocesarcavvalho_@hotmail.com
Arleilson de Castro Cavalcante¹, arleilson.ac@gmail.com
Gustavo Cunha da Silva Neto¹, gustavoneto@ufam.edu.br

¹Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. General Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 6200, Coroado I, Campus Universitário – Senador Arthur Virgílio Filho – Setor Norte, 69077-000 Manaus, AM, Brasil.

Resumo: Um dos grandes desafios encontrados, no ensino de disciplinas que fazem parte das grades curriculares de cursos de Engenharia Mecânica diz respeito à aplicação dos conceitos teóricos em experimentos apropriados de modo a facilitar a compreensão dos alunos. É possível adquirir equipamentos com esse propósito comprando-os de empresas especializadas em fabricação de bancadas didáticas; entretanto, algumas vezes estes equipamentos, não atendem adequadamente aos requisitos desejados, impossibilitando que uma experiência didática mais eficiente seja atingida, fato observado em um conjunto didático de deformações de treliças adquirida pela Universidade Federal do Amazonas que se encontrava em desuso devido a limitações no sistema de instrumentação. A bancada dispunha apenas de instrumentos analógicos de características construtivas puramente mecânicas, que têm a confiabilidade das medições reduzidas caso não sejam conservados e recebam manutenção periódica. Portanto foi feito um retrofitting do equipamento, para sanar essa desvantagem, instalando-se um transdutor de deslocamento DTH-A-30 KYOWA, que se encontrava disponível. Os dados obtidos por ambos os instrumentos de medição foram validados através da comparação do valor de Módulo de Elasticidade do material dos elementos componentes das treliças com o valor encontrado a partir das treliças montadas através do Método de Castigliano. Os resultados demonstraram que a bancada didática instrumentalizada pode ser utilizada com fins didáticos integrando conhecimentos de disciplinas relacionadas a comportamento estrutural de treliças planas e instrumentação.

Palavras-chave: treliça, instrumentação, bancada didática, transdutor de deslocamento, retrofitting.

1. INTRODUÇÃO

Há uma grande dificuldade por parte de muitos estudantes de engenharia mecânica em conseguir compreender completamente os fenômenos físicos explicados durante as aulas teóricas. Sem a presença de experimentos práticos, os profissionais podem atuar de forma despreparada no exercício de sua profissão e com algumas desvantagens ao ingressar no mercado de trabalho. Os objetivos que as atividades experimentais pretendem alcançar durante a graduação são a visualização e a melhor compreensão dos fenômenos físicos (MOLIN *et.al*, 2013). As atividades didáticas experimentais colaboram para uma melhor compreensão dos discentes de como os conhecimentos e procedimentos científicos são formulados (DEMCZUK, 2007).

Além disso, é impreterível a necessidade de profissionais engenheiros serem dotados de conhecimentos para projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados, fato citado pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) e diversos planos pedagógicos de cursos de engenharia (CONFEA, 2013). Ainda de acordo com Demczuk (2007), as atividades didáticas acarretam numa maior autonomia aos estudantes fazendo com que eles as conceituem como de grande importância.

Um dos objetos de estudo, que os alunos iniciantes no curso de engenharia mecânica se deparam, é a Estática, isto é, a análise das propriedades de corpos em equilíbrio sob a ação de forças (MERIAM, 2009), nela os alunos tem seu contato inicial no estudo sobre estruturas como vigas e treliças. Entretanto, por vezes, as aulas se limitam somente à exposição teórica do tema, envolvendo a prática exaustiva de cálculos, sem garantir de forma eficiente a compreensão por parte dos alunos de conceitos fundamentais para as matérias subsequentes. Ainda dentro dessa mesma área de

conhecimento abordada no decorrer da formação de engenheiros mecânicos, a Mecânica dos Sólidos, também são apresentados conceitos de tensões, deformações, propriedades mecânicas dos materiais entre outros. Não obstante, a falta de práticas experimentais acaba por permitir o ceticismo quanto a fidedignidade das equações dos modelos propostos e comprometer a fixação dos assuntos aprendidos.

No laboratório de Sistemas Mecânicos e Controle, do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), encontrava-se uma treliça didática, na qual poderiam ser realizados experimentos que auxiliariam nas explicações de alguns fenômenos físicos pertinentes às matérias de escopo de comportamento estrutural. No entanto, esta treliça já não proporcionava uma experiência didática confiável, pois os instrumentos de medição foram considerados obsoletos e estavam há bastante tempo em desuso. Desta forma, o presente trabalho, pretende mostrar a implementação de um transdutor de deslocamento com sensor *strain gauge* nesta treliça visando sanar esse empecilho observado, a fim de garantir a confiabilidade dos resultados, e consequentemente, fazer com que ela pudesse voltar a ser utilizada no ensino de disciplinas relacionadas a comportamento estrutural de treliças planas e trabalhos de pesquisa.

2. TRELIÇAS

Uma estrutura formada de elementos unidos em suas extremidades para formar uma estrutura rígida é denominada treliça (MERIAM, 2009). Pontes, apoios de telhados, guindastes e outras estruturas do gênero são exemplos comuns de treliças. Ela oferece, ao mesmo tempo, uma solução prática e econômica a muitas situações de engenharia. Ela consiste em elementos retos unidos por nós. A maioria das estruturas reais é feita de várias treliças unidas para formar uma estrutura espacial. Cada treliça é projetada para sustentar cargas que atuam em seu plano, podendo ser tratada como estrutura bidimensional (MERIAM, 2009).

Comumente, os elementos de uma treliça são delgados e os mais utilizados são vigas em I ou em U, cantoneiras, barras e formas especiais que são unidas em suas extremidades por soldagem, conexões rebitadas, ou grandes parafusos ou pinos. Estes elementos podem suportar uma pequena carga lateral; todas as cargas, portanto, devem ser aplicadas aos vários nós, e não aos elementos propriamente ditos. Quando uma carga concentrada é aplicada entre dois nós, ou quando uma carga distribuída é suportada pela treliça, é preciso prever um sistema de pavimentação que por meio do uso de longarinas e vigas transversais, transfere a carga aos nós (MERIAM, 2009).

Sempre que uma força é aplicada a um corpo, esta tende a mudar a forma e o tamanho dele. A variação de qualquer dimensão associada a esses deslocamentos induzidos por cargas ou temperaturas é conhecida como deformação (PHILPOT, 2013). De modo geral, a deformação de um corpo não será uniforme em todo o seu volume e, portanto, a mudança na geometria de cada segmento de reta no interior do corpo pode variar ao longo de seu comprimento (HIBBELER, 2010).

3. TEOREMA DE CASTIGLIANO

O método que foi utilizado na análise de estruturas foi o teorema de Castigliano. Em 1879, Alberto Castigliano, um engenheiro de ferrovias italiano, publicou um livro no qual descrevia um método para determinar o deslocamento e a inclinação de dado ponto em um corpo (HIBBELER, 2010). Esse método, denominado segundo teorema de Castigliano, aplica-se somente a corpos que tenham temperatura constante e cujo material tenha comportamento linear elástico. Se o deslocamento em um ponto tiver de ser determinado, o teorema afirma que o deslocamento é igual à derivada parcial de primeira ordem da energia de deformação no corpo em relação a uma força que age no ponto e na direção do deslocamento (HIBBELER, 2010).

Com essa afirmação, podemos escrever:

$$\Delta_i = \frac{\partial U_i}{\partial P_j} \quad (1)$$

Devemos observar que esta equação é uma declaração referente aos requisitos de compatibilidade do corpo, visto que é uma condição relacionada com deslocamento.

3.1. Teorema De Castigliano Aplicado A Treliças

Para treliças, o teorema de Castigliano pode ser descrito a partir da seguinte equação:

$$\Delta = \sum N \left(\frac{\partial N}{\partial P} \right) \left(\frac{L}{AE} \right) \quad (2)$$

Nessa expressão,

- Δ = deslocamento da articulação da treliça
- P = força externa de intensidade variável aplicada a uma articulação de treliça na direção de Δ
- N = força axial interna em um elemento provocada por ambas, a força P e as cargas sobre a treliça

- L = comprimento de um elemento
- A = área da seção transversal de um elemento
- E = módulo de elasticidade do material

Para determinar a derivada parcial $\partial N / \partial P$, será necessário tratar P como uma variável, e não como uma quantidade numérica específica. Em outras palavras, cada força axial interna N deve ser expressa em função de P (HIBBELER, 2010).

4. TRANSDUTOR DE DESLOCAMENTO COM SENSOR STRAIN GAUGE

Os transdutores de deslocamento desse tipo se utilizam de strain gauges em seus detalhes construtivos internos funcionando como elemento sensor. O transdutor possui uma barra em balanço, interna, na qual são colados quatro strain gauges, elementos cuja resistência elétrica varia em função de pequenas deformações longitudinais, baseando-se na conversão de deformações mecânicas em sinais elétricos proporcionais. Esses elementos são pequenas células extensométricas afixadas na superfície do corpo de prova formando um conjunto solidário (FIALHO, 2010).

O transdutor também possui um eixo que pode se mover livremente através das buchas, que oferecem baixa resistência ao movimento. Uma vez que o eixo é movimentado, a barra em balanço sofre uma deflexão e, portanto, os strain gauges variam de resistência elétrica. Cada strain gauge atua como um braço ativo da ponte de Wheatstone. Além disso, por eles estarem localizados na mesma seção da barra, ficam sujeitos às mesmas condições de temperatura compensando automaticamente o dispositivo quanto a temperatura. Esse tipo de transdutor oferece excelentes características de repetibilidade, alta precisão, confiabilidade e estabilidade térmica (DHIMAN, 2006).

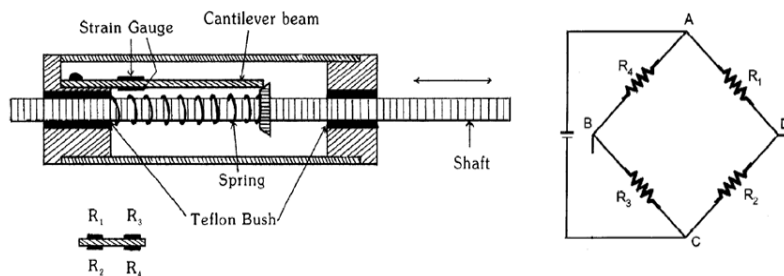


Figura 1. Transdutor de Deslocamento com Strain Gauge (DHIMAN, 2006)

5. METODOLOGIA

Foi-se utilizada uma bancada de deformação de treliças modelo SE 110.44 da empresa fabricante GUNT Hamburg GmbH. A bancada possui uma estrutura universal para montagem de treliça, barras de tubos de PVC de diferentes comprimentos com acoplamentos nas extremidades, junções de alumínio para os nós, dois apoios fixadores, um dispositivo aplicador de carga e um relógio comparador com suporte universal. Esse equipamento permite a montagem de diversas treliças planas diferentes, três montagens são sugeridas pelo fabricante, com a finalidade de se verificar o uso do Segundo Teorema de Castigliano em análise experimental de deformação de treliças.



Figura 2. Bancada de Deformação de Treliças SE110.44 (GUNT, 2016)

Uma adequação da bancada foi feita, a fim de relacionar os conceitos das disciplinas de mecânica estrutural e instrumentação, incluindo-se um transdutor de deslocamento com sensor *strain gauge*, DTH-A-30 da KYOWA, que pode oferecer medidas mais precisas de acordo com a calibração.



Figura 3. Transdutor de Deslocamento DTH-A-30 (KYOWA, 2016)

O transdutor de deslocamento linear (DTH-A-30) foi conectado a um Sistema de Aquisição de Dados ADS2002 (Controlador A/D:AC2122; Condicionador: AI2161) da *Lynx Tecnologia* e foi fixado em um suporte articulado universal. Também foram utilizados os programas *AqDados 7.2* e *AqDAnalysis* (*Lynx Tecnologia*). Utilizou-se um micrômetro digital de resolução de 0,001 mm para calibrá-lo. Foram tomados 50 pontos de medida entre 0 e 14,7 mm, variando-se, aproximadamente, o passo de 0,3 mm, o valor exato mostrado pelo micrômetro foi anotado e relacionado com o valor de tensão obtido pelo transdutor para a função de calibração por regressão linear do módulo de aquisição.

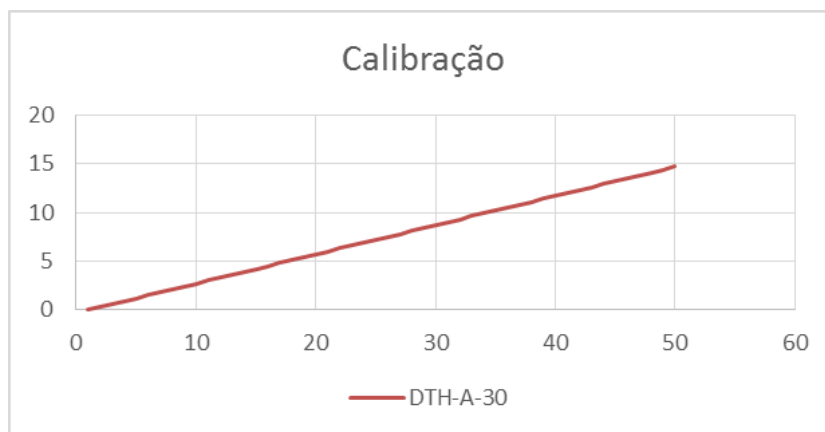


Figura 4. Gráfico da calibração do sensor DTH-A-30

Considerou-se que o relógio comparador analógico (de resolução de 0,01 mm) Fig. 5 (a) e o dispositivo aplicador de carga Fig. 5 (b), foram mantidos em condições de uso, conservação e manutenção adequadas, portanto se manteve a calibração original do fabricante. Procedeu-se apenas a uma verificação desses dispositivos. O relógio comparador analógico foi disposto de forma semelhante ao DTH-A-30 no momento da calibração, observou-se a variação da leitura do micrômetro digital e foi feita a leitura do relógio comparador e foi verificado que o equipamento estava de acordo com a resolução prevista. Quanto ao dispositivo aplicador de carga, foi fixado um suporte em sua extremidade e foram colocados pesos padrões de 5 newtons até se atingir um valor de 40 newtons, os valores no relógio do dispositivo aplicador de carga também apresentaram os resultados esperados.



(a)



(b)



(c)

Figura 5. (a) Relógio Comparador; (b) Aplicador de Carga; (c) Aferição do Aplicador de Carga

Para se verificar os resultados de módulo de elasticidade a serem obtidos a partir das treliças montadas, primeiramente, fizeram-se necessárias informações quanto ao módulo de elasticidade das barras que são utilizadas como elemento constituintes básicos das estruturas. Portanto, foram obtidos os dados disponibilizados pelo fabricante dos tubos de PVC utilizados nas barras que são de Módulo de Elasticidade acima de 2,5 GPa (Georg Fischer, 2016),

entretanto, não foi possível obter dados mais precisos quanto ao lote utilizado para essa bancada em específico (*GF DEKADUR PVC-U 16x1.8 PN16 DIN 8061/62 Z – 40.23 – 1 ü 11/02/02 09 EX 30*). Por outro lado, as dimensões da seção transversal dos tubos foram facilmente acessadas pois estão de acordo com a norma DIN 8061/62 para todos os lotes fabricados.

Visando obter uma referência mais precisa para o Módulo de Elasticidade das barras, ensaios de tração foram executados (Fig. 7 (a) e 7 (b)) em três barras de comprimentos diferentes e repetidos seis vezes, três ensaios com cada instrumento de medição. Para isso, o dispositivo de aplicação de carga da bancada foi utilizado. O dispositivo consiste em um eixo rosqueado conectado a um anel medidor de força que possui um relógio comparador analógico acoplado internamente ao anel. Quando o carregamento é aplicado através da rotação do eixo rosqueado, o anel sofre uma deformação e o valor da carga aplicada pode ser lido no relógio comparador, que é graduado com resolução de 10 newtons. A barra foi fixada na posição vertical com uma extremidade no apoio fixador e a outra extremidade conectada ao dispositivo aplicador de carga. As cargas foram aplicadas de 100 a 500 newtons, variando-se o carregamento com incrementos de 50 newtons. Ao atingir a carga máxima, variou-se o carregamento com decrementos de 50 newtons até atingir a carga inicial para verificação qualitativa do erro de histerese. Com o valor de Módulo de Elasticidade para as barras obtidos, modelaram-se as montagens de treliças sugeridas pelo fabricante no programa FTOOL para uma visualização prévia do comportamento das estruturas. O FTOOL é um programa de caráter livre destinado ao ensino do comportamento estrutural de vigas, pórticos planos e treliças planas, tem como principal objetivo motivar os alunos a compreenderem o comportamento estrutural a fim de aprenderem de forma mais eficiente as teorias dos métodos de análise através da criação e manipulação de modelos e análise rápida da estrutura. Embora o programa se limite à análise linear-elástica, é razoável utilizá-lo como ferramenta para modelar as treliças a serem analisadas uma vez que os carregamentos aplicados resultaram em deflexões dentro da faixa de aplicação do FTOOL.

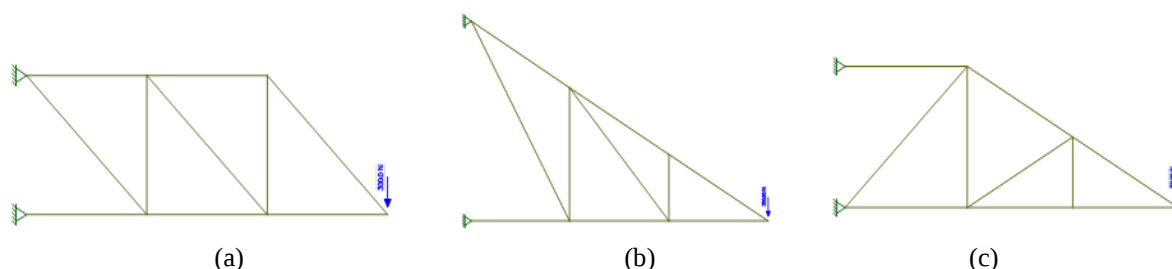


Figura 6. Formas de treliças utilizadas: (a) Treliça 1; (b) Treliça 2; (c) Treliça 3

Finalmente, foram realizados ensaios para cada uma das montagens de treliças sugeridas pelo fabricante. O relógio comparador analógico e o transdutor de deslocamento *DTH-A-30* foram montados nas treliças e as medições foram lidas simultaneamente.

Na Fig. 6 podem ser visualizadas as estruturas de treliça que foram montadas na bancada, nas quais foram acoplados o dispositivo de aplicação de carga e os instrumentos para medição de deslocamento. O dispositivo de aplicação de carga foi acoplado à extremidade das treliças montadas por ser o ponto de maior deflexão da estrutura. As cargas foram aplicadas de 0 a 300 *newtons*, variando-se o carregamento ao passo de 50 *newtons*. O mesmo procedimento para verificação qualitativa do erro de histerese foi adotado.

Realizados os ensaios, foram comparados os módulos de elasticidade de cada treliça com os ensaios de tração, além de comparar os módulos de elasticidade obtidos com o transdutor de deslocamento linear *DTH-A-30* com o relógio comparador analógico.

6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na Fig. 7(a) e 7(b) mostra-se como foi realizado o ensaio de tração utilizando o *DTH-A-30* e o relógio comparador, respectivamente.

As medidas do deslocamento no ensaio de tração (presentes na Fig. 7 (c)), tanto do relógio comparador como do *DTH-A-30* apresentam valores bem próximos, de maneira a quase se sobreporem, como pode ser notado pelo gráfico.

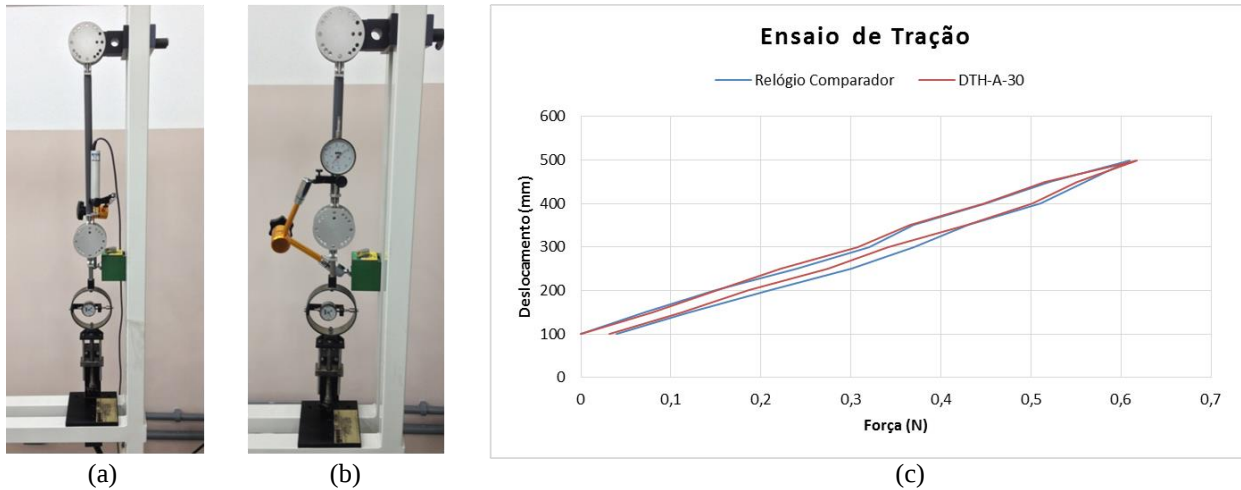


Figura 7. Ensaio de Tração: (a) Sensor DTH-A-30; (b) Relógio comparador; (c) Gráfico de comparação dos resultados.

Nas Fig. 7, 8, 9 e 10 são apresentados os ensaios experimentais de tração e das treliças, os gráficos de deslocamento $\times$ força e os gráficos módulo de elasticidade $\times$ força.

A Fig. 8(a) mostra o ensaio experimental realizado para a treliça 1 utilizando o *DTH-A-30*, as Fig. 8 (b) e 8 (c) apresentam gráficos do deslocamento e do módulo de elasticidade, respectivamente, em função da força aplicada.

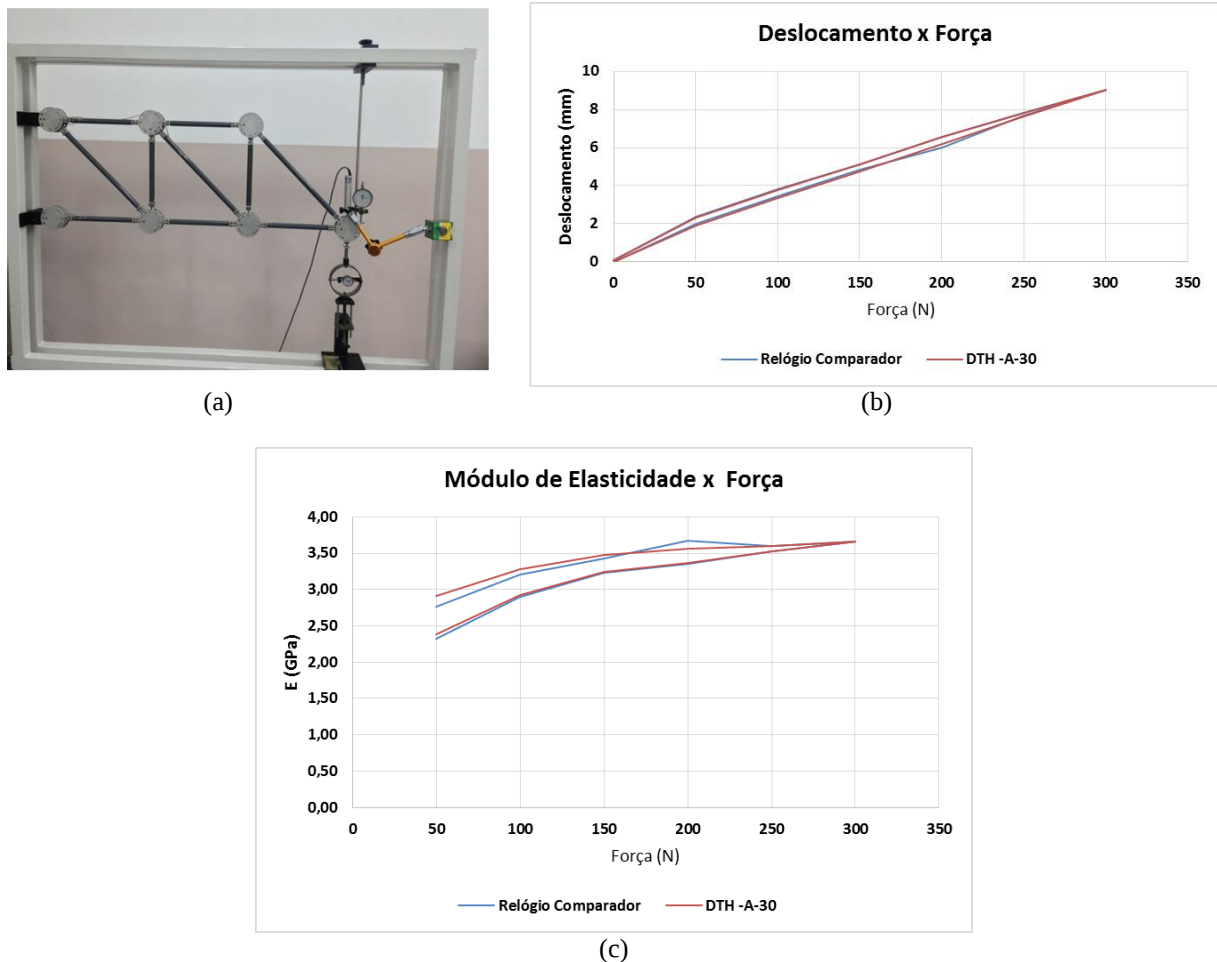
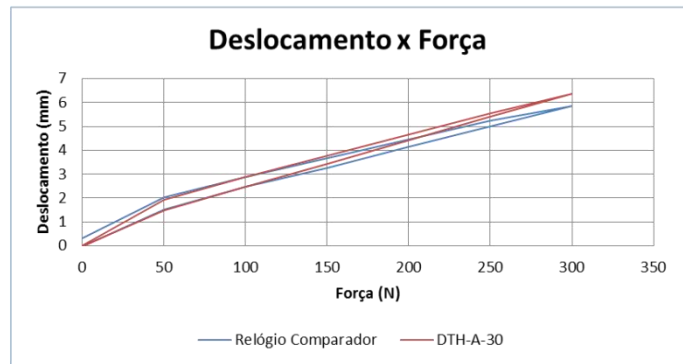


Figura 8. (a) Treliça 1 montada em bancada; (b) Gráfico: Força $\times$ Deslocamento; (c) Gráfico: Módulo de Elasticidade $\times$ Força

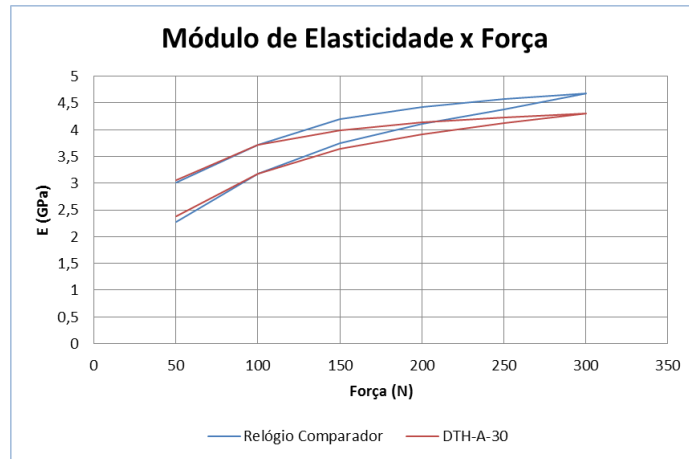
O ensaio experimental realizado com a treliça 2 é mostrado na Fig. 9 (a) e seus gráficos de deslocamento e módulo de elasticidade em função da força aplicada, respectivamente, são mostrados nas Fig. 9 (b) e 9 (c).



(a)



(b)



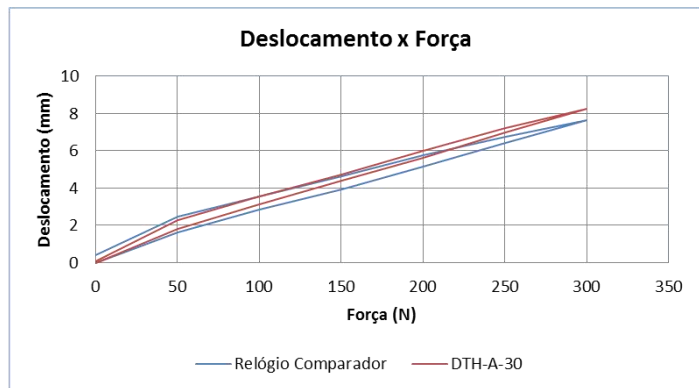
(c)

Figura 9. (a) Treliza 2 montada em bancada; (b) Gráfico: Força x Deslocamento; (c) Gráfico: Módulo de Elasticidade x Força

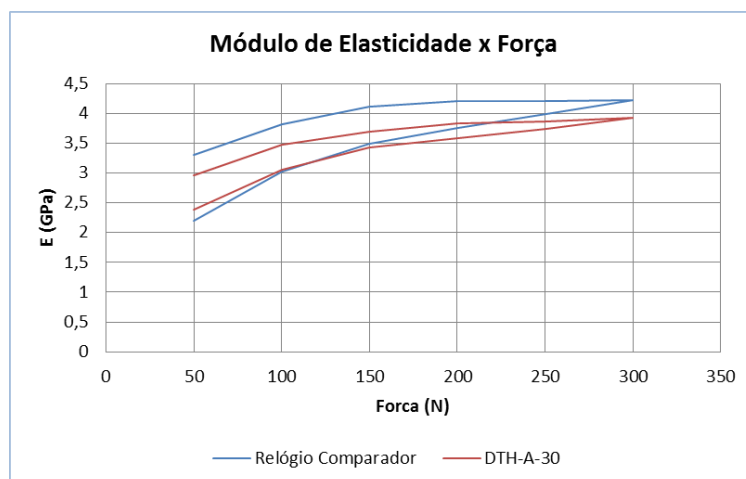
O ensaio com a treliza 3 foi realizado conforme é mostrado na Fig. 10 (a), seu gráfico de deslocamento pela força está presente na Fig. 10 (b) e o gráfico módulo de elasticidade é exibido na Fig. 10 (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 10. (a) Treliça 3 montada em bancada; (b) Gráfico: Força x Deslocamento; (c) Gráfico: Módulo de Elasticidade x Força

Os gráficos de módulo de elasticidade calculados, a partir do deslocamento medido para cada valor de carga conhecida aplicada, mostram nas Figs. 8 (c), 9 (c) e 10 (c) que há uma maior diferença entre os módulos de elasticidade para as pequenas cargas. Entretanto a medida que há um aumento da carga aplicada, os valores de módulo de elasticidade passaram a possuir uma menor diferença para um mesmo valor de carga. Além disso, os valores do módulo de elasticidade tenderam a um valor limitado de forma assintótica superiormente a medida que se aumentou a carga aplicada.

Os deslocamentos obtidos a partir do *DTH-A-30* apresentaram valores maiores que aqueles obtidos pelo relógio comparador analógico. Consequentemente os gráficos de módulo de elasticidade calculados a partir do deslocamento lidos a partir *DTH-A-30* apresentaram valores menores que os do relógio comparador. Entretanto, como as medições foram obtidas simultaneamente, percebe-se uma maior sensibilidade do transdutor de deslocamento *DTH-A-30* em comparação com o relógio analógico. Acredita-se que o relógio comparador analógico tem a sensibilidade reduzida devido aos mecanismos construtivos internos.

O valor do Módulo de Elasticidade obtido pelo ensaio de tração foi utilizado como referência. Calculou-se a média dos valores de Módulo de Elasticidade calculados a partir das leituras dos deslocamentos dos dois instrumentos utilizados. Os erros relativos entre as médias e o valor de referência do ensaio de tração também foram calculados. Os resultados estão listados na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação entre os valores dos Módulos de Elasticidade obtidos

Módulos de Elasticidade (GPa)				
Ensaio de Tração	3,520			
	Relógio Comparador		DTH-A-30	
	E	Erro Relativo (%)	E	Erro Relativo (%)
Treliça 1	3,242	7,910	3,264	7,273
Treliça 2	3,845	9,226	3,699	5,090
Treliça 3	3,672	4,302	3,454	1,866

7. CONCLUSÕES

O sensor *DTH-A-30* utilizado neste experimento se apresentou como uma boa solução para a instrumentação da bancada de treliça didática, pois com ele se pode verificar que o valor médio do módulo de elasticidade, que fora encontrado na realização do experimento, está de acordo com o valor que é especificado pelo fabricante. Mais um fator para validar a instrumentação é semelhança entre as medições do *DTH-A-30* e do relógio comparador analógico. Além disso, a maior sensibilidade do transdutor de deslocamento *DTH-A-30*, demonstra que utilizá-lo é uma melhor alternativa.

Pode-se notar pelos resultados obtidos que o fato do módulo de elasticidade calculado, a partir dos valores de deslocamento medidos pelo *DTH-A-30* e o relógio comparador analógico, estar de acordo com o valor indicado pelo fabricante que as medições dos sensores são confiáveis e a instrumentação da bancada didática é válida para uso pedagógico e científico.

A bancada didática instrumentalizada pode ser utilizada de maneira pedagógica pelos professores, assim os alunos podem realizar experimentos comparando os valores teóricos calculados com os medidos, de forma a concretizar os

conhecimentos vistos em sala de aula. A bancada também auxilia e incentiva aos alunos obterem maiores conhecimentos a respeito de instrumentação e aquisição de dados, os quais poderão ser utilizados em futuros projetos de pesquisa.

Do ponto de vista científico, pode-se sugerir a adição de *strain gauges* às barras para medição de deformação realizando os mesmos modelos de ensaio para análise do módulo de elasticidade do material e compará-lo com os obtidos no presente trabalho.

As conexões das barras utilizadas para montagem e ensaio das treliças são feitas de alumínio o que pode ter interferido no resultado esperado, então se sugere futuramente a construção de treliças de material uniforme, pois assim os valores de módulo de elasticidade a serem calculados seriam mais precisos e coerentes com as hipóteses inerentes ao teorema de Castigliano.

8. AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos a Universidade Federal do Amazonas e ao Departamento de Engenharia Mecânica pelos equipamentos disponibilizados, o espaço cedido para realização dos experimentos e pelo auxílio pedagógico dos docentes.

9. REFERÊNCIAS

- Beer, Ferdinand P.. Mecânica Vetorial para Engenheiros: Estática – 9ª ed. – Porto Alegre: AMGH, 2012.
- CONFEA, Profissionais da Engenharia e Agronomia. Disponível em: <http://www.confea.org.br/media/cartilha_resolucao1048.pdf>. Acessado em: 27.01.2016.
- Demczuk, Oxana Marucya. O Uso de Atividades Experimentais como Instrumento na Melhoria do Ensino De Ciências: Um estudo de caso. 2007. 75 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.
- Dhiman, Pradeep K. et. al. Strain Gauge Based Displacement Sensor. Journal of Physical Sciences, Vol 10. 2006. Páginas 164 – 166.
- Fialho, Arivelto Bustamante. Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises – 7ª ed. – São Paulo: Érica, 2010.
- Georg Fischer. System Specification for PVC-U Metric Piping Systems. Disponível em: <http://www.gfps.com/content/dam/gfps/master%20Content/Documents/EN/Planning%20Fundamentals/System%20Specifications/GF_System_Specification-PVC-U_metric.pdf>. Acessado em: 29.01.2016.
- GUNT Hamburg GmbH. SE 110. 44. Deformation of Trusses. Disponível em: <http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/templates/scripts/picDetail.php?actEntry=4160&lang=1&dir=02211044&src=Foto_Totale.jpg&color=CC3366&software=0>. Acessado em: 29/01/2016.
- Hibbeler, Russell Charles. Resistência dos Materiais – 7ª ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- KYOWA. DTH-A Transducer Displacement. Disponível em: <<http://www.kyowa-ei.com/eng/product/category/sensors/dth-a/index.html>>. Acessado em: 29/01/2016.
- Meriam, J. L.; Kraige, L. G.. Mecânica para Engenharia: Estática – 6ª ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- Molim, Anderson Dal; Zorzan, Flávio Boufleur; Daronch, Jéferson. Desenvolvimento de uma Bancada Didática de Hidráulica In: Fórum Latinoamericano de Engenharia, I, 2013. Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos... Foz do Iguaçu: Fundação Araucária, 2013. Disponível em: https://www.unila.edu.br/sites/default/files/files/24%20-%20FLAE_DESENVOLVIMENTO_DE_UMA_BANCADA_DID%C3%81TICA_DE_HIDR%C3%81ULICA.pdf f. Acessado em: 29.01.2016.
- Philpot, Timothy A.. Mecânica dos Materiais: Um Sistema Integrado de Ensino – 2ª ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- Timoshenko, Stephen P; GERE, James E.. Mecânica dos sólidos: Volume 2 – Rio de Janeiro: LTC, 1984.

10. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

INSTRUMENTATION OF A DIDACTIC BENCH FOR STRUCTURAL ANALYSIS

Arleilson de Castro Cavalcante, arleilson.ac@gmail.com
Júlio César de Araújo Carvalho, juliocesarcavvalho_@hotmail.com
Paulo Roberto Oliveira Martins, pr_martins@outlook.com
Gustavo Cunha da Silva Neto, gustavoneto@ufam.edu.br

^{1,2,3,4} Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. General Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 6200, Coroado I, Campus Universitário – Senador Arthur Virgílio Filho – Setor Norte, 69077-000 Manaus, AM, Brasil.

Abstract. *One of the great challenges faced in teaching disciplines that are part of Mechanical Engineering standard curriculum framework is concerned about the correct application of theoretical concepts in experiments in order to facilitate students' comprehension. It is possible to purchase equipment addressing this purpose from companies specialized in didactic sector. However, sometimes these devices do not meet properly the desired requirements, hindering an efficient experimental experience to be achieved, a fact observed in an exercise set of deformation of trusses, acquired by Federal University of Amazonas, which had been kept unused due to the limitation of the instrumentation system. The bench had just analogic instruments that have exclusively mechanical constructive features, which have their measurement reliability reduced if they are not conserved and receive periodic maintenance. Thus, a retrofitting of this equipment was made to solve this disadvantage, installing a displacement transducer, DTH-A-30 KYOWA, that was available. The data obtained for both measurement instruments were validated comparing the Elasticity Modulus of the component elements of the trusses with the experimental one found by the assembled trusses using the Castigliano Method. The results demonstrate that the instrumented didactic bench can be used for the didactic purposes of integrating knowledge of structural behavior of plane trusses and instrumentation systems related disciplines.*

Keywords: *truss, instrumentation, didactic bench, displacement transducer, retrofitting.*