



DESENVOLVIMENTO DE UM PÓRTICO INSTRUMENTADO PARA APOIO AO ENSINO DE MECÂNICA DOS SÓLIDOS

Wilson J. Soares da Silva - willjrsoares@hotmail.com
Universidade Federal de Alagoas
Tabuleiro do Martins
57072-970 - Maceió – Alagoas

Prof. Dr. Flávio Barboza de Lima - flavio.blima@hotmail.com
Universidade Federal de Alagoas – Centro de Tecnologia
Laboratório de Estruturas e Materiais
57072-970 - Maceió - Alagoas

Prof. Dr. Wayne Santos de Assis - wayne@lccv.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas – Centro de Tecnologia
Laboratório de Estruturas e Materiais
57072-970 - Maceió - Alagoas

Resumo: Este trabalho descreve o processo de elaboração e construção de um pórtico de acrílico, devidamente instrumentado, concebido com o objetivo de proporcionar a discentes e docentes de cursos de Engenharia um material de apoio à compreensão, fixação e exposição de conceitos referentes à mecânica dos sólidos e suas aplicações. O pórtico é solicitado por forças aplicadas perpendicularmente à barra horizontal, sendo monitorado através de uma rede de sensores elétricos de deformação colados em sua superfície. Um equipamento para a realização da aquisição, condicionamento e conversão analógico/digital dos sinais elétricos é utilizado, enquanto o tratamento dos sinais digitalizados e o controle do hardware de aquisição de dados é feito por meio de um programa construído utilizando LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench), uma plataforma computacional voltada à instrumentação virtual. O tratamento matemático sobre os dados é realizado imediatamente após a aquisição dos mesmos, e tem como produto as relações entre tensões e deformações devido aos esforços atuantes no pórtico, permitindo a visualização da relação entre as forças aplicadas no pórtico e características do material (coeficiente de Poisson e módulos de elasticidade longitudinal e transversal) com as tensões, deformações e direções principais correspondentes, bem como com os valores de tensões máximas e mínimas de cisalhamento.

Palavras-chave: Instrumentação, tratamento e interpretação de dados, LabVIEW.



1. INTRODUÇÃO

De acordo com SILVEIRA (2004), Há uma preocupação crescente no ensino da Engenharia quanto à evolução tecnológica em que vivemos, pois a constante necessidade de formar profissionais fortemente qualificados para o mercado de trabalho muitas vezes se contrapõe à metodologia de ensino das universidades, que podem já não atender às expectativas do mercado, devido à metodologia acadêmica tradicional baseada somente em quadro negro e giz, método este que já não tem mais espaço no mundo moderno, sob o ponto de vista profissional. Sendo assim, novos rumos no ensino da Engenharia vêm sendo tomados, com uma mudança no enfoque e na metodologia de ensino, pois a universidade não é capaz de formar um engenheiro com todas as qualidades exigidas pelo mercado de trabalho e nem mesmo garantir que ele continue se atualizando em sua vida profissional.

Dentro do contexto da mudança na metodologia do ensino, se destaca o surgimento de novas tecnologias com suas diversas aplicações exigindo inovações nos métodos ensino-aprendizagem. Para MORAN et.al.(2000) e ALENCAR (2010), as chamadas tecnologias da informação são um meio facilitador para se desenvolver as atividades em um processo, atingir os objetivos estabelecidos e se chegar a um fim determinado, onde novas possibilidades de informação se bem utilizadas, poderão tornar a educação inovadora e eficiente. Experiências aplicando modernos recursos tecnológicos ao ensino de Engenharia vêm sendo efetuadas no Brasil e no exterior, obtendo-se de modo geral resultados bastante positivos (ASSIS, 2002).

Neste contexto, a utilização de um protótipo baseado em instrumentação virtual, que seja capaz de proporcionar a visualização de efeitos externos e esforços e respostas internas devidas às solicitações externas, pode ser bastante útil como facilitador do entendimento de teorias estudadas em sala de aula. De fato, ALMIDA & SOUZA (1996) mostram que a implantação de aulas laboratoriais sobre extensometria na UNISANTA tem gerado resultados satisfatórios através de experimentos práticos e realização de trabalhos em grupo, visando sempre aprimorar a formação profissional de seus alunos dos cursos de Engenharia Industrial, Mecânica e Civil. A instrumentação virtual consiste na união de uma ferramenta de programação adequada a um equipamento de aquisição flexível que, por sua vez, é acoplado ao computador pessoal e, juntos, são capazes de executar as funções típicas de instrumentos tradicionais.

No protótipo a monitoração será feita através de recursos de extensometria, utilizando-se extensômetros de resistência elétrica (ERE'S) ligados a um sistema de aquisição controlado por uma ferramenta de programação. O software construído, além de proporcionar as deformações nos pontos instrumentados, realizará o tratamento da informação adquirida e fornecerá gráficos e valores, atualizados dinamicamente, que corresponderão ao comportamento da estrutura estudada.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada esteve fundamentada na realização das etapas descritas a seguir, sendo que a maior parte do trabalho foi desenvolvida no Centro de Tecnologia da

Universidade Federal de Alagoas, utilizando a infraestrutura física e de pessoal do Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA) da UFAL.

1 – Revisão bibliográfica, abrangendo a base teórica concernente à extensometria, monitoração estrutural, instrumentação virtual, mecânica dos sólidos e programação utilizando a linguagem LabVIEW.

2 – Construção do módulo didático experimental. Para a construção do módulo, foi necessário projetá-lo previamente, bem como definir o plano de monitoração. O plano de monitoração envolveu a determinação quantitativa e qualitativa dos sensores a serem utilizados, considerando também o posicionamento dos mesmos. Os sensores foram instalados em pontos, quantidades e posições adequadas. O projeto do módulo foi realizado pelos autores deste trabalho, enquanto a construção foi realizada por uma empresa especializada.

3 – Desenvolvimento do programa de aquisição, visualização e tratamento de dados e montagem do sistema de monitoração. Após a montagem de todo o sistema de monitoração do módulo, que envolveu a ligação dos sensores instalados aos equipamentos de aquisição que são controlados pelo programa desenvolvido, foram realizados testes de calibração da estrutura.

3. DESENVOLVIMENTO DO PÓRTICO INSTRUMENTADO

3.1. Caracterização Estrutural do Pórtico

As peças que compõem a estrutura foram avaliadas no tocante às suas dimensões, de modo a se obter uma configuração adequada para estas. Esta avaliação foi feita por meio do estudo teórico dos deslocamentos máximos obtidos nas peças constituintes do pórtico, considerando dimensões pré-estabelecidas e um carregamento determinado, sendo que vários tipos de apoio foram considerados. Nesta análise foi utilizado o software Ftool (Two – Dimensional Frame Analysis Tool) versão educacional 2.12, admitindo-se para o acrílico um módulo de elasticidade longitudinal igual a 3,00 GPa e coeficiente de Poisson igual 0,4. As seções transversais das peças (uma viga e dois pilares) ficaram definidas conforme apresentado na figura 1. Cada pilar tem comprimento igual a 30 cm, enquanto a viga tem comprimento igual a 70 cm. A estrutura concebida, com peças confeccionadas por empresa especializada e montada pelo primeiro autor, é apresentada na figura 2.

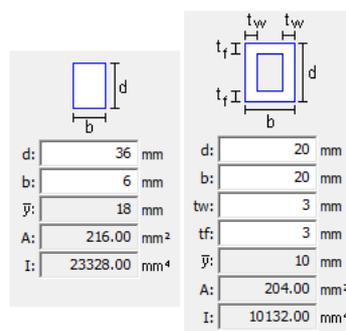


Figura 1: Dimensões das seções transversais: viga (esquerda) e pilares (direita).



Figura 2: Estrutura concebida.

3.2. Extensometria

Para a medição de variações relativas de comprimento (deformações) em peças estruturais, são utilizados sensores que realizam tais medidas de forma eficaz, destacando os sensores elétricos, de corda vibrante e à fibra óptica. A escolha adequada de um ou mais tipos de sensores a utilizar depende de vários fatores como o porte, o tipo de estrutura e até mesmo os pontos a serem monitorados (ASSIS, 2007). No contexto deste trabalho foram utilizados extensômetros de resistência elétrica (strain gages), em virtude do baixo custo e por apresentarem geometria condizente com as peças a instrumentar e compatibilidade com o sistema de aquisição disponível no laboratório. Cada pilar foi instrumentado com seis extensômetros, enquanto a viga foi instrumentada com seis extensômetros e duas rosetas do tipo $0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}$. Extensômetros utilizados no protótipo são ilustrados na figura 3.

Explorando o fato que os metais mudam sua resistência elétrica quando sofrem deformações, os extensômetros de resistência elétrica associam as variações dimensionais em uma grade de referência a variações na resistência elétrica da mesma, e sendo colados à superfície de um elemento, experimentam deformações equivalentes àquelas sofridas pelo meio ao qual se encontram aderidos, relacionando a deformação a um sinal elétrico (analógico) que será condicionado em um sistema de aquisição de dados e convertido em um sinal digital. Em seguida, essa informação será disponibilizada para leitura e tratamento em um computador (ANDOLFATO et. al., 2004).

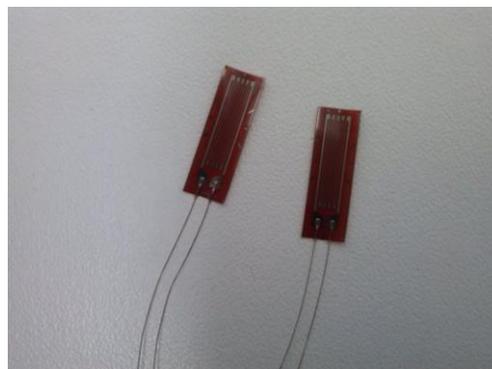


Figura 3: Extensômetros utilizados no pórtico.

3.2.1. Circuito de Medição

Os extensômetros de resistência elétrica proporcionam a medição da deformação por meio da quantificação de pequenas variações de resistência dentro de um circuito elétrico adequado. Usualmente, o circuito utilizado é a ponte de Wheatstone. Na montagem da ponte de Wheatstone com apenas um extensômetro, originando uma ligação em um quarto de ponte (esquematizada na figura 4), o extensômetro representa uma resistência variável e corresponde a um dos braços da ponte, enquanto os outros três braços são compostos por resistores de precisão com resistência de valor constante. Sendo fornecida uma tensão de entrada E , é observada uma tensão de saída e , e através da aplicação de conceitos básicos de eletricidade, obtém-se a deformação por meio da equação 1.

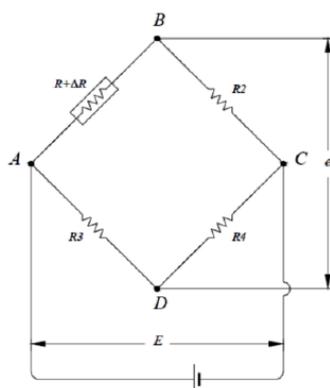


Figura 4: Circuito de Medição. Fonte: ANDOLFATO et. al. 2004.

$$\varepsilon = \frac{4e}{KE} \quad (1)$$

Na equação 1, ε é a deformação medida, enquanto K é uma constante chamada sensibilidade à deformação do material resistivo que constitui o extensômetro e E é a tensão de excitação.

3.3. Curva de Deflexão

De acordo com SOUSA (2012), ao se monitorar uma estrutura, um dos parâmetros mais procurados é o deslocamento vertical, pois este dá uma resposta global da estrutura com informações sobre o desempenho em serviço. Na literatura clássica se obtém uma abordagem de como determinar a equação da curva de deflexão e deflexões em pontos específicos ao longo do eixo de uma viga, sendo que a maioria dos procedimentos para encontrar tais deflexões está baseada em equações diferenciais. (BEER & JOHNSTON JR. 2005; GERE, 2009; HILLEY et. al., 1981; GERE & TIMOSHENKO, 1984), sendo que, no contexto de uma análise experimental, é preciso empregar um método de avaliação para obter as grandezas de interesse, que muitas vezes são obtidas indiretamente (ASSIS, 2007; SOUSA, 2012). Este é o caso da pesquisa em questão, que a partir de informações de deformação em pontos específicos se deseja obter os valores de deslocamentos, com o objetivo principal de se gerar a configuração deformada do pórtico, além de obter, por meio do uso de rosetas, estados de tensões e deformações principais. Usualmente, um sistema de monitoração baseado em extensometria apresenta instalação mais fácil e barata do que um composto por transdutores que medem diretamente os valores de deslocamento. Portanto, para estimar a curva de

deflexão pode-se basear em uma função polinomial que harmoniza a deflexão do feixe (teoria de feixe de Bernoulli), onde curvaturas associadas às deflexões podem ser as condições de contorno de 2ª ordem para a função polinomial (SOUSA, 2012),

A Figura 5 mostra um esquema genérico de um trecho de viga, onde o deslocamento em função do comprimento da peça é representado, destacando as restrições no meio do vão e ligações nos apoios. No entanto, para os casos reais, algumas limitações podem não existir, dependendo da instrumentação disponível para cada período. Na mesma figura, as incógnitas com (*) são valores medidos, as outras variáveis são condições de contorno. (κ) representa curvaturas, (θ) representa rotações e (δ) representa deslocamentos.

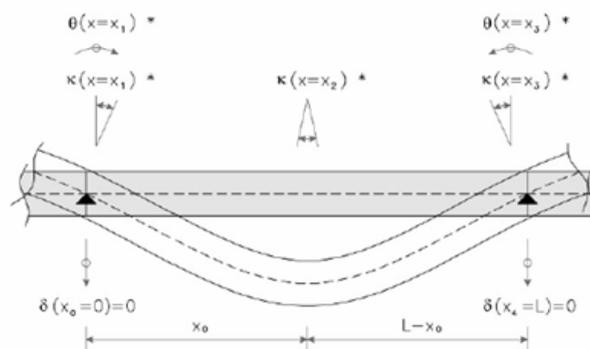


Figura 5: Seções instrumentadas com extensômetros e/ou inclinômetros (SOUSA, 2012).

3.4. Aquisição de Dados

Monitorar uma estrutura significa medir, avaliar e registrar sob forma gráfica, visual ou digital uma ou mais variáveis que descrevem o comportamento estrutural (ASSIS, 2007). De forma geral, o monitoramento é realizado utilizando equipamentos e técnicas não destrutivas que possibilitam avaliar de forma periódica ou contínua o comportamento da estrutura, tendo em vista, principalmente, o acompanhamento das condições de segurança e integridade da estrutura. Nessa tarefa, a aquisição de dados é uma atividade fundamental.

A função básica de um sistema de aquisição de dados é capturar informações referentes às grandezas de interesse, provenientes do objeto de estudo, de modo a gerar dados confiáveis passíveis de manipulação posterior por meio de um computador.

Um sistema de aquisição de dados é composto por um condicionador de sinais, conversor analógico-digital (conversor A/D) e programa de aquisição de dados. As informações depois de aquisitadas devem chegar ao computador por meio de um subsistema de comunicação, que pode ser feita através de cabos seriais RS ou USB. A transferência das informações também pode ser feita sem a necessidade de cabos, por comunicação Ethernet. Os resultados obtidos devem permitir ao experimentador uma análise do comportamento da estrutura monitorada, proporcionando uma observação quanto aos níveis de solicitação em que a mesma está submetida, e a resposta que a estrutura transmite quando carregada externamente (ASSIS, 2007; MEDEIROS E ROSA, 2008). A figura 6 ilustra um sistema de aquisição típico.

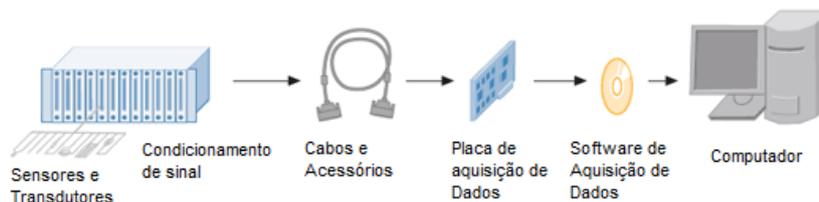


Figura 6: Sistema de aquisição típico (Adaptado de NATIONAL INSTRUMENTS, 2014).

Neste trabalho, os componentes dos sistemas de aquisição proporcionam o devido tratamento dos sinais elétricos provenientes da rede de extensômetros instalada, os quais se encontram associados aos valores absolutos ou variações das deformações. Os sinais provenientes da rede instalada são analógicos, e no sistema de aquisição de dados é feita a conversão A/D. Posteriormente, a informação é tratada matematicamente por meio de um software desenvolvido pelos autores, resultando na visualização da deformada e outros dados que caracterizam o comportamento estrutural do pórtico.

3.5. LabVIEW(Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench)

LabVIEW é uma linguagem de programação baseada em gráficos, ao contrário da maioria das demais linguagens, que têm código baseado em textos. O LabVIEW cria aplicações através de fluxo de dados, utilizando ícones, onde o fluxo de dados determina a execução. Criada pela National Instruments (NI), a linguagem dispõe de uma vasta biblioteca numérica e de funções permitindo a criação de aplicativos para a realização de testes e análise de medições, controle de processos, geração de relatórios e aquisição de dados, sendo uma boa tecnologia de apoio à Engenharia. Um programa desenvolvido em LabVIEW é chamado de VI (Virtual Instrument), e nele há dois componentes principais, a saber: o painel frontal e o diagrama de blocos. O painel frontal corresponde à interface com o usuário, sendo montado com controles e indicadores. Os controles simulam dispositivos de entrada de instrumentos e fornecem dados para o diagrama de blocos do VI, enquanto os indicadores se apresentam sob a forma de gráficos, LED'S e outros dispositivos, e simulam dispositivos de saída de instrumentos e mostram dados obtidos a partir do código presente no diagrama de blocos. Uma vez criados os controles e indicadores no painel frontal, é construído o código para o controle desses objetos, tarefa realizada no diagrama de blocos, nos quais os objetos do painel frontal aparecem como terminais. Os objetos do diagrama de blocos incluem terminais, sub VIs, bibliotecas de funções, constantes, estruturas e ligações para transferência de dados, entre outros objetos (ASSIS, 2006; NATIONAL INSTRUMENTS, 2003). A figura 7 apresenta um aplicativo desenvolvido em LabVIEW, ilustrando o painel frontal, diagrama de blocos e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software.

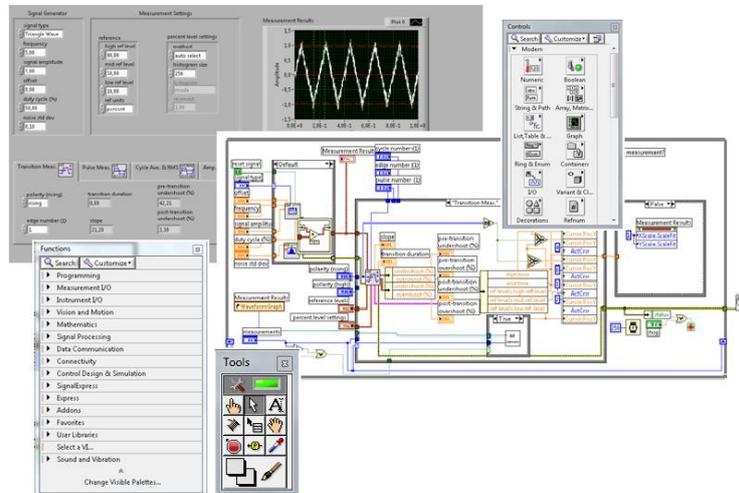


Figura 7: Painel frontal (à esquerda, acima), paleta de funções e edição (abaixo do painel frontal), diagrama de blocos (código em estilo fluxograma) e paleta de controles (acima do diagrama de blocos). (LabVIEW, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, é necessário ressaltar que o projeto está em fase de finalização, de modo que os resultados descritos não são definitivos. Entretanto, o programa de geração da linha elástica, deslocamentos e tensões e deformações principais está concluído. A figura 8 ilustra o pórtico durante um experimento, no qual foi aplicada uma carga de 2,17kgf no ponto central da viga. O resultado apresentado no aplicativo desenvolvido é ilustrado nas figuras seguintes.



Figura 8: Carregamento aplicado.



Figura 9: Estrutura deformada.

A figura 9 mostra a deformada da estrutura com um fator de amplificação de aproximadamente 100 vezes, e na parte inferior o deslocamento estimado experimentalmente por cada peça.

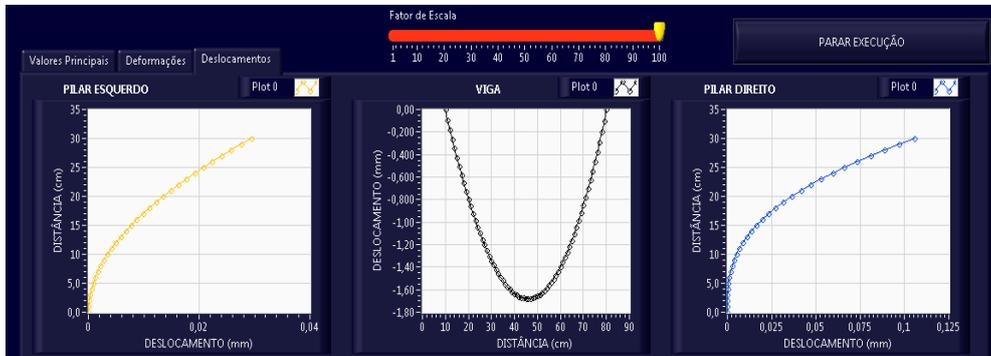


Figura 10: Deslocamentos fornecidos pelo aplicativo desenvolvido.

Através da figura 10, observa-se que o deslocamento no ponto médio da viga foi de aproximadamente 1,64mm, enquanto os pilares esquerdo e direito apresentaram deslocamentos laterais máximos de 0,022mm e 0,1025 mm, respectivamente. Os valores fornecidos pelo programa desenvolvido foram comparados com os fornecidos pelo aplicativo Ftool - (Two – Dimensional Frame Analysis Tool) versão educacional 2.12. Os resultados provenientes do Ftool são apresentados na figura 11, na qual as medidas de deslocamento vertical para a viga e horizontal máxima para os pilares estão destacadas na caixa em verde. Nota-se que o deslocamento vertical previsto pelo Ftool para a viga foi de 1,17mm, um valor qualitativamente razoável quando comparado com o deslocamento apresentado pelo programa, embora esteja associado a um erro relativo de aproximadamente 28,66%. Para os pilares, houve boa correspondência qualitativa entre a resposta fornecida pelo software desenvolvido e pelo Ftool.

No contexto do deslocamento vertical da viga, em experimentos posteriores conduzidos com o auxílio de um relógio comparador com curso de 10 mm e resolução de 0,01 mm, foram constatadas diferenças de até 8,4 % entre os valores medidos com o relógio comparador e os estimados pelo software desenvolvido, sendo que os valores estimados eram sempre inferiores aos medidos e a maior diferença absoluta foi igual a 0,05 mm.

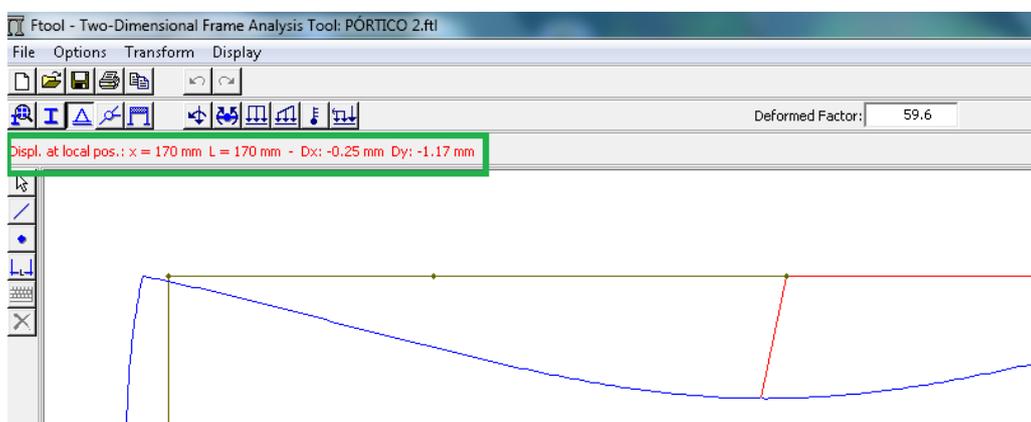


Figura 11: Representação das condições do ensaio no Ftool.

Esses resultados, embora bastante positivos, certamente irão melhorar após a introdução dos valores reais das características físicas do acrílico no software, o que deverá ocorrer mediante ensaio utilizando corpos de prova já preparados.

A figura 12 ilustra os valores principais calculados a partir das duas rosetas instaladas na face lateral da viga.

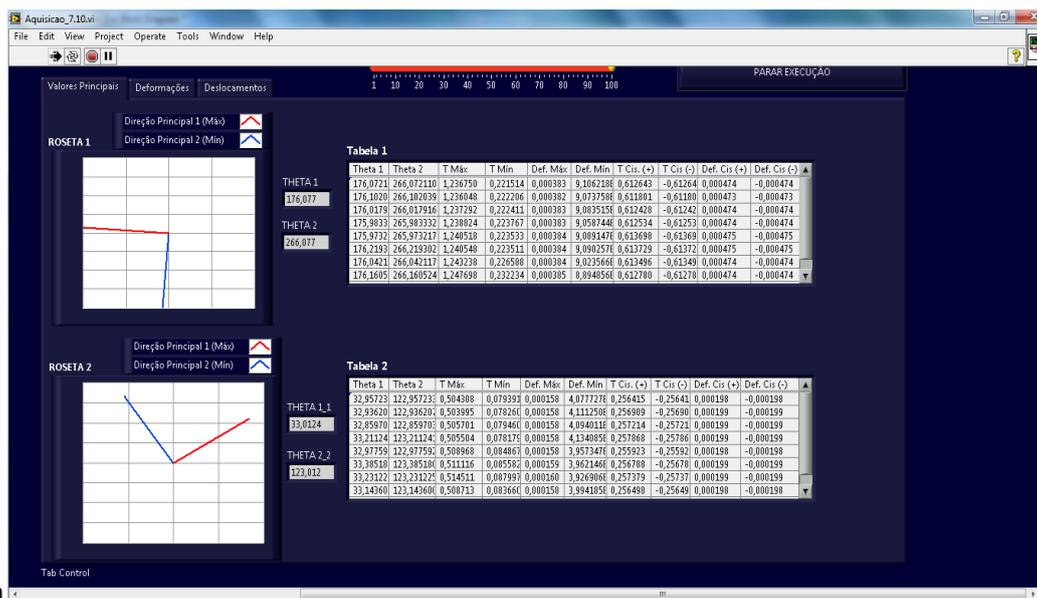


Figura 12: À esquerda: direções principais, atualizadas dinamicamente em função do carregamento aplicado. À direita: tabelas com valores de tensões e deformações principais, além de tensões extremas de cisalhamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado obtido no estudo até o momento indica que a ferramenta desenvolvida pode contribuir para aprimorar a compreensão e o sentimento físico do experimentador, seja aluno ou professor, em relação à engenharia de estruturas e seus conceitos comumente abordados em sala de aula, mostrando ao interessado que os resultados fornecidos pela abordagem teórica da Mecânica das Estruturas e a realidade em questão se ajustam quando a teoria é tratada e aplicada corretamente, resultando em uma representação consistente da realidade.

Foi possível mostrar, de forma simples e objetiva, que a utilização de técnicas de monitoração de estruturas pode ser uma boa ferramenta de apoio ao aprendizado para estudantes de engenharia, e abre um “leque” para um crescente ramo na área de estruturas civis, despertando no mesmo o interesse de aprofundar-se na questão da monitoração de estruturas.

Quanto à revisão de literatura feita pelo primeiro autor, esta se mostrou bastante relevante e frutífera para o mesmo, ajudando-o a compreender e aplicar de forma prática as teorias envolvidas nos assuntos abordados e sua valia para sua formação acadêmica,



percebendo que existem técnicas, equipamentos e dispositivos capazes de avaliar grandezas físicas que relacionam com rigor as variadas respostas que caracterizam o comportamento estrutural com modelos teóricos aplicados à engenharia, auxiliando o estudante a entender os fundamentos da mecânica das estruturas.

Agradecimentos

Agradecemos ao técnico de laboratório José Henrick Viana Ramalho pelo apoio durante o desenvolvimento do projeto e ao Laboratório de Estruturas e Materiais pelo espaço físico e equipamentos disponibilizados. Também agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPAL – pelo suporte financeiro ao projeto, mediante processo número 20110907-011-0025-0082.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C. M. S., Relatos de experiências no ensino da topografia nos cursos de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Agronomia. Anais: XXXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Fortaleza: Hotel Gram Marquisem, 2010.

ALMIDA, L. D. F.; SOUZA, J. J. Extensometria: Adifusão da utilização de extensômetros na análise de deformações para alunos das faculdades de engenharia industrial e civil. Anais: XXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Manaus: Universidade do Amazonas, 1996.

ANDOLFATO, R. P.; BRITO, G. A.; CAMACHO, J. S. Extensometria básica. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - Unesp. Ilha Solteira, São Paulo, 2004. 46p.

ASSIS, W. S., Curso de formação básica LabVIEW - Apostila para curso de formação básica em LabVIEW. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006. 222p.

ASSIS, W. S. ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Utilização de recursos multimídia no ensino de concreto armado e protendido, 2002. Dissertação (Mestrado).

ASSIS, W. S. ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Sistemas computacionais de apoio à monitoração de estruturas de engenharia civil, 2007. p. 1-29, il. Tese (Doutorado).

BEER, F. P.; JOHNSTON JR, E. R. Resistência dos Materiais, 3ª edição. Editora Makron Books, São Paulo, 2005.

GERE, J. M. Mecânica dos Materiais. Editora: CENGANGE Learning. São Paulo, 2009.

GERE, J. M.; TIMOSHENKO, S. P. Mecânica dos Sólidos Volume II. Editora: LTC - Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 1984.



MEDEIROS, C. B.; ROSA, E., Apostila de extensometria para disciplina de graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2008. 2a parte. 37p.

MORAN, J. M; MASSETTO, M. T; BEHRENS, M. A. Novas tecnologias e mediação pedagógica. PAPIRUS.Campinas, 2000.173p.

NATIONAL INSTRUMENTS, User Manual.April 2003 Edition, Austin, 2003.123p.

SILVEIRA. P. M. Reflexões sobre o ensino da engenharia no contexto da evolução tecnológica. Anais: XXXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Brasília: UNB, 2004.

SOUSA, H. F. M. FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO.Data-based engineering techniques for the management of concrete bridges, 2012.il. Tese(Doutorado).

RILLEY, W. F. O.; WEESE, J. A. et.al., Mecânica dos Materiais. 3a ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois S.A.1981. p. 256-290.

DEVELOPMENT OF A INSTRUMENTED FRAME TO SUPPORT THE TEACHING OF SOLID MECHANICS

Abstract: *This work describes the process of developing and building of a instrumented frame, made in acrylic, to provide for teachers and of learners engineering courses a support to understanding, fixation and explanation of concepts related to solid mechanics and their applications. Forces are applied in the frame in perpendicular direction to the horizontal bar, being monitored through a network of strain gages. A data acquisition (DAQ) system is used for the acquisition, conditioning and analog/digital conversion of the electrical signals. The processing of digitized signals and controlling of the DAQ hardware is made by a program built using LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench), a computational platform focused on virtual instrumentation. The mathematical treatment of the data is performed immediately after the acquisition, providing relations between stress and strain due to external actions in the frame, allowing the visualization of the relationship between the forces in the frame an material characteristics with the stress, strains and principal directions, as well as the values of maximum and minimum shear stress.*

Keywords: *Instrumentation, Data processing and interpretation, LabVIEW.*