

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA COM ACIONAMENTO PNEUMÁTICO PARA ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ESTRUTURAS TRELIÇADAS

Glenda de Melo Luz, glendaluz29@gmail.com¹
Carlos Eduardo Angelo Stoco, du.stocco@gmail.com¹
Marianna Gioppo de Souza, marigioppo7@gmail.com²
João Gabriel Dias Camilo, jgdiascamilo13@gmail.com¹
Daniel Moritz Cieslak, moritzdaniel23@gmail.com¹
Laura Sofia de Andrade, laura.sofia.lsa@gmail.com¹
Antonio Carlos Valdiero, antoniocvaldiero@gmail.com¹

¹ UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitario EMC-CTC, Bairro Trindade, Caixa-postal: 476, 88040-900 - Florianópolis, SC – Brasil

² Faculdade Meridional, Rua General. Prestes Guimarães, 304 - Vila Rodrigues, Passo Fundo - RS, 99070-220

Resumo. O presente artigo trata do desenvolvimento de uma bancada didática experimental com acionamento pneumático para ensaios destrutivos de treliças como objeto educacional voltado a estudantes de engenharia para melhor compreensão e validação experimental das teorias abordadas durante o projeto e a construção de estruturas treliçadas. Diante do contexto de regularidade da realização de competições de pontes de macarrão nas universidades do país e sua importância na formação de futuros engenheiros, fez-se uma pesquisa bibliográfica dos diferentes e mais comuns tipos de bancadas utilizadas para o ensaio destrutivo dessas pontes. A partir dessa pesquisa, observou-se a necessidade de melhorias e uma padronização dos ensaios dessas estruturas treliçadas utilizadas para a obtenção de resultados mais precisos que permitam uma melhor compreensão e conexão com estes às teorias. Para a concepção da bancada didática, escolheu-se o tipo de atuador pneumático, em virtude de ser uma tecnologia de manutenção fácil, custo baixo e que não gera poluições ao meio ambiente. Como resultados deste trabalho, além da obtenção de resultados mais precisos e, por consequência, uma validação mais eficaz da teoria, o projeto proporciona uma experiência motivadora à aquisição de conhecimento, de modo a contribuir para uma formação de qualidade de futuros engenheiros.

Palavras chave: Bancada Didática. Objeto Educacional. Estruturas Treliçadas. Atuador Pneumático.

Abstract. This article presents the development of an experimental didactic bench with a pneumatic actuator for destructive testing of trusses as an educational object aimed at engineering students for better understanding and experimental validation of the theories applied during the design and construction of truss structures. Given the context of the regularity of spaghetti bridge competitions at universities in the country and its importance in the education of future engineers, a bibliographic research was made, explaining the different and most common types of benches used for the destructive testing of these bridges. This research showed the demand for improvements and standardization of the tests of these trusses structures used to obtain more accurate results that allow a better understanding and connection with the related theories. For the design of the didactic bench, the type of pneumatic actuator was chosen due to its easy maintenance and low cost technology, that does not generate pollution to the environment as well. As a result of this work, in addition to obtaining more accurate results and, consequently, a more effective validation of the theory, the project provides a motivating experience for the gaining of knowledge, in order to contribute to the quality education of future engineers.

Keywords: didactic workbench, educational object, truss structures, pneumatic actuator.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de uma bancada didática com atuador pneumático para o ensaio destrutivo de estruturas treliçadas. O intuito é contribuir na forma de um objeto educacional para a motivação e a eficácia na aprendizagem de conhecimentos de mecânica clássica na engenharia. Ao longo dos cursos de engenharia é possível perceber a dificuldade dos estudantes em visualizar e compreender alguns fenômenos relacionados aos problemas de resistência dos materiais e do projeto de estruturas (Barbieri, 2009). As dificuldades em estabelecer associações entre conceitos de Matemática e Física e a aplicação da Engenharia tornam comum a desmotivação em estudantes desses cursos, de modo a gerar altas taxas de reprovação (González et al. 2005).

Em virtude dessa falta de interesse dos estudantes causada pelo desafio de relacionar a teoria e a prática, o ensino nos cursos de Engenharia ainda se encontra distante do modelo ideal necessário o qual é exigido cada vez mais do mercado de trabalho (Silva e Cecílio, 2007). De acordo com Colenci (2000) e Carvalho (2001), a preocupação com o ensino da Engenharia tem aumentado no meio acadêmico devido ao cada vez mais marcante descompasso existente entre ensino praticado e as demandas da qualificação profissional do engenheiro no estágio atual de desenvolvimento tecnológico. Essas solicitações constantes que precisam ser incorporados à formação do engenheiro correspondem ao aprendizado ativo e cooperativo como o trabalho em equipe, iniciativa, criatividade e flexibilidade.

Diante desse contexto, inúmeros autores como Pinheiro (2000), Farias et al. (2020) e Cavaguti (2015), destacam a importância da experimentação como estratégia didática, a partir do desenvolvimento de protótipos e dispositivos didáticos desde as disciplinas iniciais no curso de engenharias, por proporcionar ao estudante desde cedo o conhecimento de não só a metodologia de desenvolvimento de projetos de engenharia, mas também a concepção de uma visão global e interdisciplinar dos cursos de engenharia, de modo a fomentar a curiosidade científica e tornar-se uma poderosa ferramenta didática de incentivo e formação dos estudantes críticos, capazes de refletir, questionar e debater sobre a ciência.

Um exemplo disso são as competições de ponte de macarrão que, segundo Foli et al. (2020), por ser um projeto eficaz de início de desenvolvimento de competências e habilidades necessárias ao bom exercício profissional do futuro engenheiro, têm sido extremamente populares, sendo atualmente realizadas em mais de 50 países com alunos do ensino fundamental, médio e superior. Essas competições promovem a união do conteúdo teórico básico dos cursos de Engenharia à uma aplicação prática real, sendo fundamental para uma melhor formação do estudante e preparo ao mercado de trabalho, uma vez que devido à experiência possibilitada por essas ferramentas didáticas, o futuro engenheiro saberá utilizar de forma mais assertiva e lógica os assuntos e conceitos aprendidos durante o curso (de Oliveira e da Silva, 2017).

De acordo com Watanabe et al. (2010) a elaboração e implantação de mecanismos de ensino interdisciplinares que integrem a teoria e a prática são indispensáveis para o desenvolvimento de competências e atitudes essenciais para o bom exercício profissional dos estudantes de Engenharia. Assim, com o objetivo de possibilitar uma melhor compreensão e validação experimental de conceitos e teorias cruciais abordados nos cursos de engenharia, além de propiciar o aperfeiçoamento das competências fundamentais para a formação de um engenheiro desde as fases iniciais, foi proposto o desenvolvimento dessa bancada didática pneumática, a qual é essencial para ensaios destrutivos precisos e padronizados nas competições de pontes de espaguete.

Para a concepção de uma bancada didática inovadora, fez-se uma pesquisa bibliográfica das bancadas existentes nas competições de estruturas realizadas como forma de objeto educacional. Na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) costumava ser realizado um concurso de treliças feitas de madeira anualmente. De acordo com Valdiero et al. (2011), a bancada utilizada para o ensaio destrutivo das treliças nesta competição tinha o sistema hidráulico como acionamento, em que uma bomba hidráulica por meio de uma válvula acionada manualmente movimentava o atuador hidráulico que traciona a treliça até o seu colapso. Havia também sensores ligados ao atuador capturam dados no momento do rompimento da treliça e enviavam estes a uma placa conectada a um microcomputador que fazia a leitura destes e apresentava os dados obtidos. A Figura 1 a seguir mostra a bancada de testes usada na UFSC para estas competições de estruturas treliçadas de madeira.



Figura 1. Bancada hidráulica para ensaios destrutivos de treliças (UFSC, 2003)

Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), assim como em outras universidades do país que se baseiam no regulamento da competição dessa instituição (UFRGS, 2018) o ensaio destrutivo é realizado a partir da colocação gradual de pesos definidos em uma estrutura que transmite a carga aplicada à ponte treliçada. Essa estrutura é composta por uma barra de aço a qual é fixada na região correspondente ao centro do vão livre, que segundo o regulamento da

instituição equivale a 1 metro, no sentido transversal ao seu comprimento e no mesmo nível das extremidades apoiadas com o intuito de realizar o teste de carga máxima suportada pela ponte. A Figura 2 a seguir apresenta as dimensões das pontes de macarrão e o esquema da bancada de acordo com o regulamento.

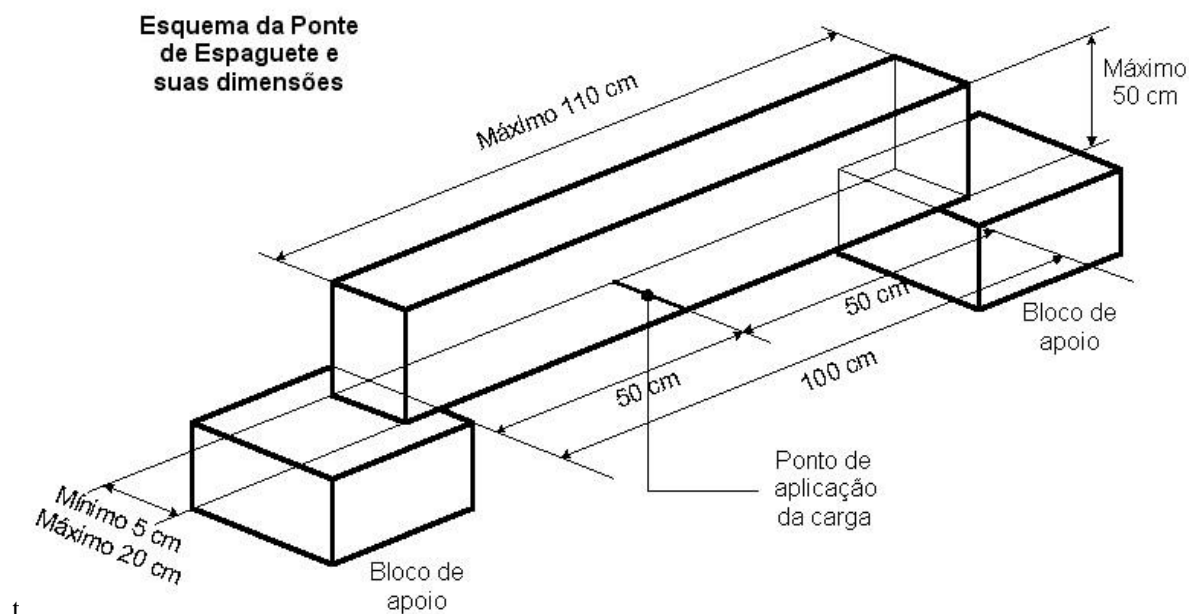


Figura 2. Desenho esquemático das dimensões da ponte e da bancada para ensaios destrutivos (UFRGS, 2018)

A partir dessa pesquisa fica notório que além desse propósito de ferramenta didática para o ensino da engenharia, é de extrema importância o enfoque de sustentabilidade ambiental para a concepção da bancada didática do presente trabalho. Com o intuito de atender aos tópicos de preservação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) proposta pela ONU (2020), foi escolhido o sistema pneumático como atuador da bancada, o qual além de ser uma tecnologia de baixo custo e manutenção fácil (Morgado, 2011), é uma tecnologia limpa que não gera poluições ao meio ambiente. Dessa forma, o presente trabalho além de atuar como objeto educacional para o auxílio no desenvolvimento de competências fundamentais ao estudante, também atenta e incentiva para o estudo e ao desenvolvimento de tecnologias sustentáveis a esses futuros engenheiros.

Diante desse contexto, na seção seguinte é apresentada a metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho, a seção 3 apresenta os resultados obtidos a partir do raciocínio e procedimentos empregados e, por fim, na seção 4 são expostas as conclusões do presente trabalho.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada no desenvolvimento e concepção do presente trabalho é constituída por um levantamento bibliográfico das bancadas para ensaios destrutivos de treliças utilizadas como objetos educacionais na engenharia nas universidades do país, o desenvolvimento de uma proposta inovadora e sustentável de uma bancada didática de ensaio a partir da escolha do sistema pneumático como acionamento, e o seu projeto detalhado, incluindo o desenho esquemático da bancada e seu respectivo circuito pneumático.

Na fase da revisão bibliográfica das bancadas de ensaio existentes percebeu-se a necessidade de uma padronização e automatização dos testes dessas competições realizadas no país, em que grande parte segue as normas de projeto e construção das pontes propostas pela UFRGS, mas não há conformidade em relação às bancadas de testes. No caso desta última instituição, a adição gradual de cargas definidas dificulta a precisão e padronização desses ensaios para comparação entre as competições.

Na etapa da criação do projeto, optou-se por um atuador pneumático na bancada como forma de inovação pois além das vantagens já apresentadas, como ter um baixo custo, manutenção fácil, e principalmente por ser uma tecnologia limpa, que não prejudica o meio ambiente por utilizar o ar comprimido como gerador de trabalho (Viecelli, 2014); esse sistema também permite uma maior precisão e controle sobre a força aplicada nos testes destrutivos. Assim, a proposta converge com a ideia de sustentabilidade proposta pela ODS, de modo a instigar a aquisição de conhecimento acerca dessa tecnologia nos estudantes e também possibilita uma maior eficácia e precisão neste desafio interdisciplinar, de modo a permitir uma validação experimental acerca das teorias com um maior êxito.

De posse da bancada pneumática e das estruturas treliçadas, é possível fazer os ensaios destrutivos, a fim de aferir os valores máximos suportados. Com esses valores definidos, o passo seguinte foi efetuar a análise estrutural das forças internas de cada barra da estrutura, definindo a intensidade de cada elemento de força e o tipo, tração ou compressão.

Além dessas etapas, utilizou-se como metodologia da aplicação da bancada proposta como objeto educacional, o modelo de ensino proposto por Valdiero et al. (2006), cujo diagrama esquemático é mostrado na Figura 3, onde a bancada de ensaio de pórticos pode ser utilizada como desafio interdisciplinar com o intuito de desenvolver competências essenciais para a formação do estudante.

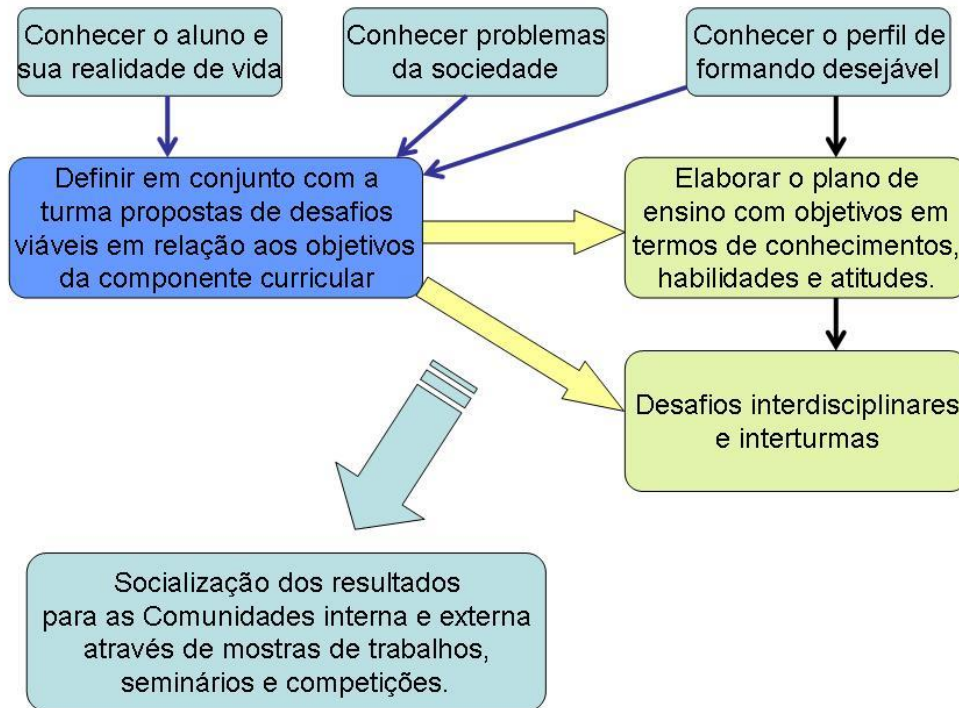


Figura 3. Diagrama esquemático da proposta de metodologia de ensino, em que a competição a bancada de ensaio de estruturas treliçadas é um desafio interdisciplinar (Valdiero et al., 2006)

3. RESULTADOS

Esta seção apresenta o desenvolvimento e concepção da bancada didática pneumática, incluindo o desenho esquemático, o controle e instrumentação e o circuito pneumático desta, os quais foram obtidos a partir da metodologia adotada. Esses resultados foram desenvolvidos obtidos com o intuito de inovar em relação as bancadas didáticas existentes e possibilitar um maior controle e precisão na realização dos testes das estruturas treliçadas, além de fomentar o interesse dos estudantes e atraí-los ao estudo e à pesquisa da tecnologia pneumática utilizada.

3.1. Desenho esquemático da bancada didática pneumática

A bancada pneumática ilustrada na Figura 4 é composta, simplificadamente, por sua estrutura, pelo atuador pneumático e uma estrutura de conexão, a qual interliga a estrutura treliçada ao sistema pneumático com a finalidade de transmitir a força do sistema pneumático e efetuar o teste destrutivo. Ademais, a bancada do presente trabalho foi elaborada conforme o regulamento proposto pela UFRGS, o qual é comumente utilizado como padrão nas competições de pontes de macarrão realizadas nas universidades do país.

A estrutura da bancada foi projetada em consideração à regra de vencer um vão livre de 1 metro, portanto, a menor distância entre as duas extremidades da bancada é de 1 metro. Para os apoios da ponte o regulamento define a fixação de um cano de PVC de 0,2 metros de comprimento e 1/2" de diâmetro em cada extremo da estrutura treliçada. Nesse contexto, a bancada foi desenvolvida de modo a apresentar dois tipos de apoios, o apoio fixo ou rotulado e o apoio deslizante. No apoio deslizante, o qual se dá no extremo direito da bancada, a estrutura treliçada tem a liberdade de se movimentar no eixo horizontal, portanto, apresenta apenas a reação na vertical. Em contrapartida, na extremidade esquerda da estrutura da bancada, o apoio é rotulado, ou seja, pode apresentar reações no eixo vertical e também no horizontal. Isso ocorre devido à inclusão de um bloco adicional nessa extremidade da bancada, de modo a impedir o movimento no eixo horizontal da ponte e, portanto, possibilitar a existência de uma reação no eixo horizontal.

A estrutura de conexão é constituída por um engate fixado na extremidade superior do cilindro pneumático que é acoplado à estrutura treliçada por meio de uma corrente. Dessa forma, de acordo com o controle executado no computador sobre a servo válvula, a qual permite regular a entrada e a saída de ar comprimido nas câmaras do cilindro, a haste deste sobe ou desce em relação à estrutura da bancada, semelhante ao funcionamento de uma seringa. Assim, a partir controle preciso que o atuador permite sobre a variação de pressão no interior do cilindro, há a definição da força que será aplicada no ensaio destrutivo das estruturas treliçadas.

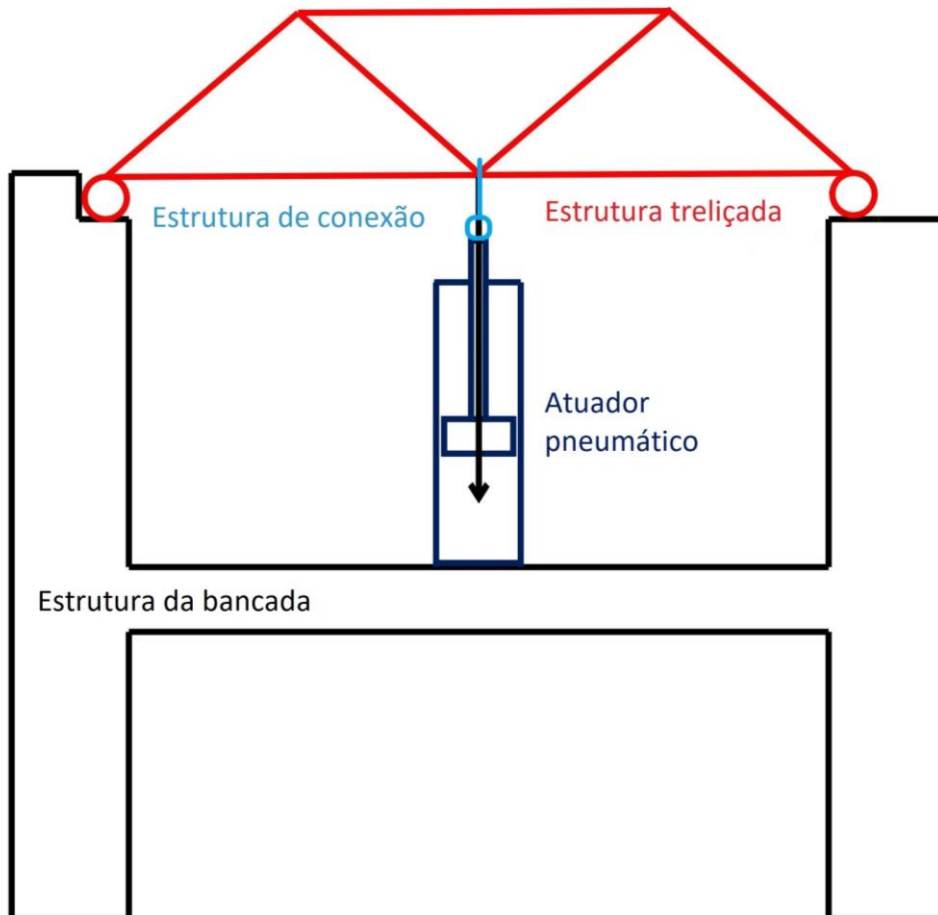


Figura 4. Desenho esquemático da bancada didática pneumática (autoria própria)

3.2. Circuito pneumático da bancada

A bancada pneumática é um sistema dinâmico composto por uma unidade de conservação de um servo posicionador pneumático, uma servo válvula de controle direcional 5 vias e 3 posições, sensor de pressão, um cilindro pneumático de dupla ação com haste simples. O cilindro pneumático fará o recuo e o avanço do processo por meio do ar comprimido, a haste deste cilindro é conectada ao êmbolo, conforme é enviado o sinal pela servo válvula desloca-se em uma trajetória de forma variável em função do tempo.

Em regime permanente, a força de atrito é estimada a partir da força pneumática calculada, essa força de atrito por vezes é estimada em catálogos de fabricantes sem necessariamente passar por um estudo mais aprofundado. O circuito pneumático da bancada de acordo com a norma ISO 1219 é mostrado na Figura 5 a seguir.

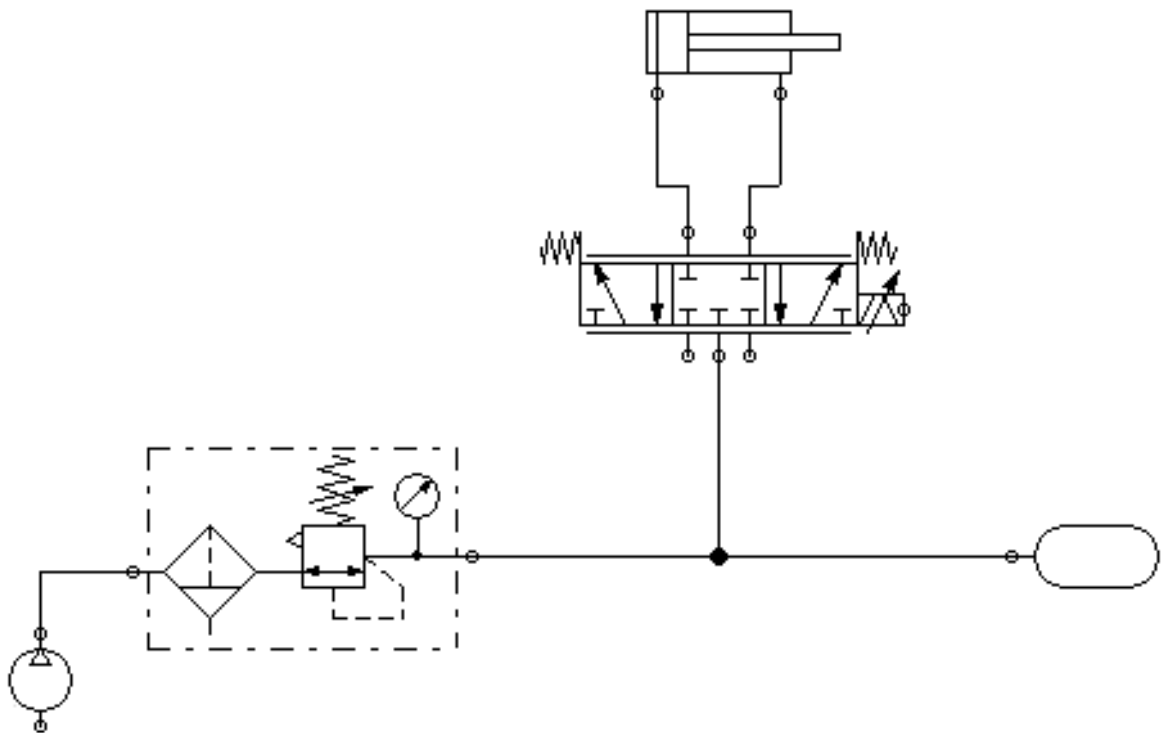


Figura 5. Circuito ISO 1219 da bancada (autoria própria)

3.3. Controle e instrumentação da bancada de testes

Para os testes experimentais de ensaio destrutivo das estruturas treliçadas prevê-se o uso de um sistema servoposicionador pneumático e um sistema de instrumentação eletrônica, similar à placa eletrônica dSPACE mostrada na Fig. 6 e utilizada por Viecelli (2014) em sua bancada de ensaio de pórticos de madeira. Na realização do ensaio das estruturas treliçadas, o sistema de controle de força é implementado em um computador que controla os movimentos do conjunto atuador/mecanismo de tração e a força necessária à tração. O acionamento utilizado na bancada é pneumático pelas características de projeto, da disponibilidade, do baixo custo e da necessidade da força em virtude da resistência característica do material a ser ensaiado. É válido ressaltar que o sistema hidráulico fornece forças de atuação maiores que os sistemas pneumáticos e eletro/eletrônico, porém seu custo é mais elevado. O acionamento do mecanismo também é composto válvulas que podem ser do tipo *on/off* (liga/desliga) na qual um cilindro teria sua haste avançada ou recuada ou através de uma servoválvula onde o controle é mais preciso e fornece uma facilidade maior de operação devido ao fato de o controlador do acionamento poder parar o mecanismo no momento que achar conveniente. O sistema de controle é realizado através de um microcomputador de um software próprio para esta finalidade.

A tarefa proposta na competição é o projeto detalhado e a construção de uma estrutura treliçada na forma de viga, além do ensaio de carga com a avaliação do critério carga/massa. Para a confecção são definidos componentes e materiais padronizados, conforme especificado no regulamento. O conjunto deve ser capaz de suportar uma carga centrada aplicada num vão livre com posição prédefinida. Os acadêmicos se organizam em equipes e a construção do conjunto deverá ser precedida da análise dos esforços internos em cada barra da treliça, do projeto detalhado da concepção escolhida e a estimativa da carga de ruptura.

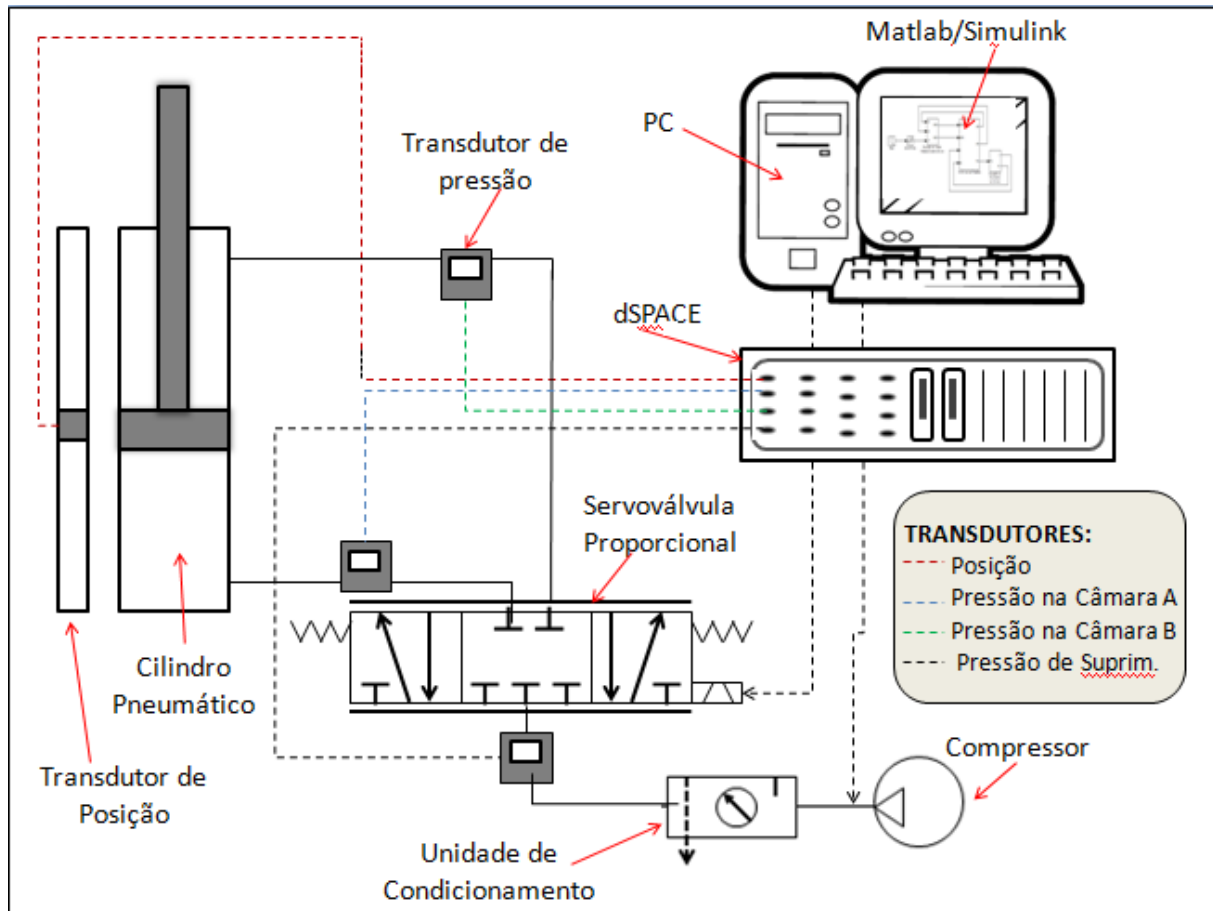


Figura 6. Diagrama esquemático do controle e da aquisição de dados na bancada de testes (adaptado de Viecelli, 2014)

4. CONCLUSÕES

Verificou-se que, com base na revisão bibliográfica das bancadas didáticas existentes nas competições, o modelo de bancada apresentada no presente artigo representa uma inovação nesse meio pela escolha do sistema pneumático como acionamento. Assim, o desenvolvimento desse projeto não só contribui com um melhor aprendizado no ensino da engenharia como forma de objeto educacional, mas também, por meio da sua tecnologia limpa, converge com as propostas de desenvolvimento sustentável cada vez mais recorrentes e necessárias na atualidade. Portanto, além do desenvolvimento dessa bancada didática permitir a criação e o aperfeiçoamento de competências fundamentais e interdisciplinares na formação de futuros engenheiros, a presente ferramenta didática também atrai e incentiva a esses estudantes o desenvolvimento e pesquisa de tecnologias cada vez mais sustentáveis.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Departamento de Engenharia Mecânica (EMC), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)-Brasil, no projeto “Identificação da não linearidade de atrito para fins de inovação e projeto de máquinas inteligentes” (SIGPEX, no. 202002173). Os autores são agradecidos, também, aos estudantes e integrantes do grupo de pesquisa do projeto citado e ao coordenador de projetos e professor orientador Antonio Carlos Valdiero, o qual também participou ativamente na construção do presente artigo.

6. REFERÊNCIAS

- Barbieri, J.R.P., 2009. *Desenvolvimento e construção de uma bancada didática para ensaios de pórticos*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brazil.
- Carvalho, A.C.B.D.D., Porto, A.J.V e Belhot, R.V., 2001. “Aprendizagem significativa no ensino de engenharia”. *Production*, v. 11, n. 1, p. 81-90, FapUNIFESP (SciELO), Brazil.
- Cavaguti, Á.S., 2015. *Análise comparativa de tensões e deformações específicas em uma estrutura treliçada, utilizando abordagem experimental e pelo método de elementos finitos*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, Brazil.

- Colenci, A. T., 2000. “O ensino da engenharia como uma atividade de serviços: a exigência de atuação em novos patamares de qualidade acadêmica”. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brazil.
- de Oliveira, W.C. e da Silva, J.C., 2017. “ Confecção de pontes de macarrão como apoio aos processos de ensino e de aprendizagem em engenharia.”. *Revista Univap*, v. 22, n. 40, p. 391, Duque de Caxias, Brazil.
- Farias, R.B.D., de Jesus, V.L. e de Oliveira, A.L., 2020. “Uma maquete da estrutura em treliças simples triangulares para o ensino de estática”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 42, (SciELO), Rio de Janeiro, Brazil.
- Foli, C.R.M., Madani, D.A.M., Konigame, E.M., Madani, F. S., Madani, F. S. e Reis Junior, J.L., 2020. “A competição de pontes de macarrão para alunos ingressantes no curso de engenharia”. *O Ensino Aprendizagem Face Às Alternativas Epistemológicas*, p. 129-138, Atena Editora, Brazil.
- González, L.A.S., Morsch, I.B., e Masuero, J.R., 2005. “Didactic games in engineering teaching-case: spaghetti bridges design and building contest.”. In *18th International Congress of Mechanical Engineering- COBEM2005*.Ouro Preto, Brazil.
- Morgado, F.D.A., 2011. *Modelagem e controle de músculo pneumático*. Dissertação de mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brazil.
- Organização das Nações Unidas (ONU), 2020. “Objetivos de desenvolvimento sustentável”. Nações Unidas Brasil < <https://brasil.un.org/>>.
- Pinheiro, P.C.D.C., 2000. “Desenvolvimento de protótipos: instrumento de motivação e ligação das disciplinas do curso de engenharia”. In *Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE2000*. Belo Horizonte, Brazil.
- Silva, L. P., e Cecílio, S., 2007. “A mudança no modelo de ensino e de formação na engenharia”. *Educação em revista*, n. 45, p. 61-80, FapUNIFESP (SciELO), Belo Horizonte, Brazil.
- UFRGS, 2018. “Competição de Pontes de Espaguete”. Departamento de Engenharia Civil. < <https://www.ufrgs.br/espaguete/regulamento.html>>
- UFSC, 2003. “Estudantes participam de concurso de estruturas treliçadas”. Departamentos de Engenharia Civil, Engenharia Mecânica e Arquitetura e Urbanismo. < <https://noticias.ufsc.br/2003/07/estudantes-participam-de-concurso-de-estruturas-trelicadas/>>.
- Valdiero, A.C., Bortolaia, L.A. e Rasia, L.A., 2011. “Desenvolvimento de uma bancada didática para ensaio de pórticos como objeto educacional na engenharia”. In *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE2011*. Panambi, Brazil.
- Valdiero, A.C., Gilapa, G.M., Bortolaia, L.A. e Franke, A.P.R., 2006. “Ensino de engenharia mecânica orientado aos desafios da sociedade”. In *Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE2006*.
- Viecelli, S.E.B., 2014. “Modelagem matemática do atuador pneumático de uma bancada para ensaio de estruturas”. Dissertação de Mestrado, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, Brazil.
- Watanabe, F.Y., Ogashawara, O., Montagnoli, A.N. e Rubert, J.B., 2010. “Desenvolvimento de Atividades de Projeto nas Disciplinas de Iniciação à Engenharia”. In *Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE2010*.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.