

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLOGIA
INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA GOIANO
CÂMPUS TRINDADE**

**Construção de Pontes de Macarrão
(Trabalho da Disciplina de Resistência dos Materiais)**

Coordenador: Prof: Geraldo Junior

Equipe: Prof Aleones Junior

Prof Cleber Asmar

Prof Marcus Vinicius

Prof Nelson Luis

Prof(a) Priscila Juá

Prof Vilmar Neto

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente conhecida a Competição de Pontes de Espaguete é uma atividade acadêmica realizada em várias instituições de ensino no Brasil e no exterior. A primeira instituição de ensino que realizou esta competição foi a Okanagan College, na Colúmbia Britânica, em 1983. No Brasil, a competição iniciou na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em 2004 sendo atualmente difundida em praticamente todas instituições de ensino de engenharia.

O intuito desta atividade é o de envolver alunos dos cursos da área tecnológica, buscando estabelecer relações entre os assuntos teóricos estudados na disciplina de Resistência dos Materiais e disciplinas afins, com a prática projetual.

Nesta perspectiva, o IF Goiano Câmpus Trindade está desafiando seus alunos dos cursos técnicos de Automação Industrial e Edificações, a competirem durante a apresentação da feira de Ciências que se realizará na I Semana de Ciência e tecnologia do Câmpus.

A competição no IF Goiano Câmpus Trindade é coordenada pelo professor Geraldo Pereira da Silva Junior do Departamento de Engenharia, com o auxílio de outros professores do mesmo departamento.

2 OBJETIVOS

A Competição de Pontes de Espaguete tem por objetivo a análise estrutural, o projeto, a construção e o ensaio destrutivo de uma ponte treliçada de macarrão tipo espaguete e colas epóxi e quente (tipo silicone, aplicada com pistola), respeitando o regulamento descrito a seguir.

A ponte deve ser capaz de vencer um vão livre de 1 m, com peso não superior a 750g. A construção da ponte deverá ser precedida da análise de algumas opções de tipos de pontes e do projeto detalhado do tipo de ponte escolhida, com estimativa de carga de colapso.

Esta atividade busca motivar os alunos no desenvolvimento de habilidades que lhes permitam:

- aplicar conhecimentos básicos da disciplina Resistência dos Materiais e disciplinas afins, para resolver problemas de estruturas;

- utilizar computadores para resolver problemas de estruturas;
- projetar sistemas estruturais simples;
- comunicar e justificar seus projetos em forma oral e escrita;
- trabalhar em grupo para executar seus projetos;
- executar uma atividade com regramento específico.

3 REGULAMENTO

3.1 DISPOSIÇÕES GERAIS

- a) Cada equipe inscrita na competição poderá participar com apenas uma ponte;
- b) Antes da realização dos testes de carga das pontes, cada grupo deverá apresentar uma estimativa do valor da carga de colapso de sua ponte e uma lista das colas utilizadas na sua construção;
- c) É obrigatória a presença de todos os integrantes da equipe para realização do teste de carga;
- d) As equipes, cujas pontes não atenderem todos os requisitos deste regulamento, poderão efetuar o teste de carga no final do evento, porém, não concorrerão à premiação e não receberão comprovante de participação, para fins de pontuação na avaliação das disciplinas dos cursos IF Goiano Câmpus Trindade;
- e) Quaisquer dúvidas ou situações não previstas neste regulamento serão definidas, oportunamente, pela Comissão Organizadora. As equipes deverão formalizar as dúvidas por escrito.

3.2 NORMAS PARA A CONSTRUÇÃO DA PONTE

- a) A ponte deverá ser indivisível, de tal forma que partes móveis ou encaixáveis não serão admitidas;

b) A ponte deverá ser construída utilizando apenas massa do tipo espaguete número 7 da marca Barilla e colas epoxi do tipo massa (exemplos de marcas: Durepoxi, Polyepox, Poxibonder, etc.) e do tipo resina (exemplos de marcas: Araldite, Poxipol, Colamix, ProEpoxi etc.). Será admitida também a utilização de cola quente em pistola para a união das barras nos nós. Outros tipos de cola poderão ser admitidos desde que sejam previamente submetidos à consideração da comissão organizadora por escrito.



Massa espaguete



Colas epoxi tipo massa



Colas epoxi tipo resina



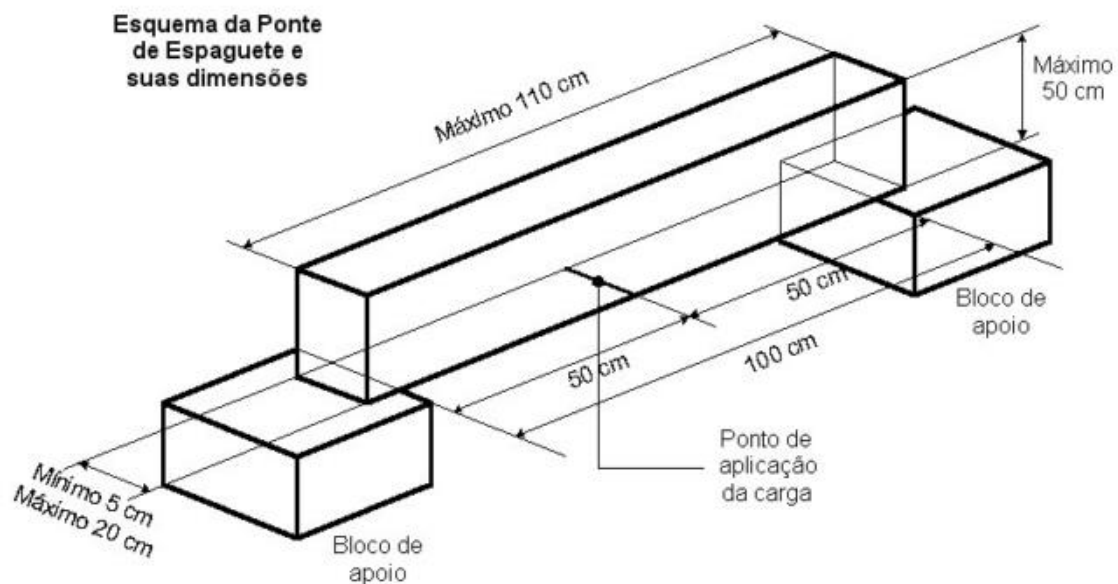
Cola quente em pistola

c) O peso da ponte (considerando a massa espaguete e as colas utilizadas) não poderá ser superior a 750g;

d) No limite de peso prescrito (750g), não serão considerados o peso do mecanismo de apoio fixado nas extremidades da ponte (descrito a seguir, no item g), nem o peso da barra de aço para fixação da carga (descrito a seguir, no item k), que serão estimados em 150g;

e) A ponte só poderá receber revestimento ou pintura com as colas permitidas;

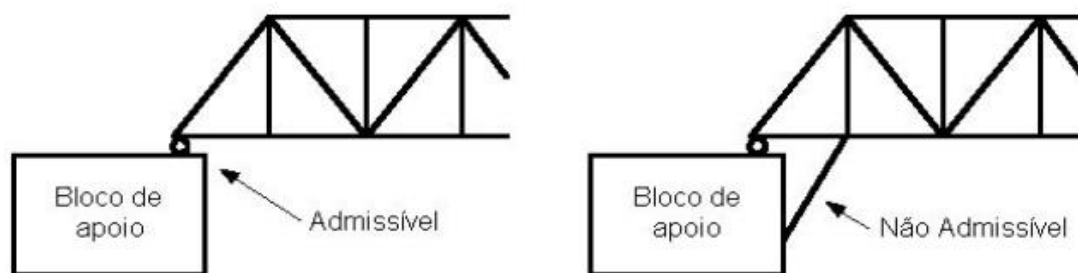
f) A ponte deverá ser capaz de vencer um vão livre de 1m, estando apoiada livremente nas suas extremidades, de tal forma que a fixação das extremidades não será admitida;



g) Na parte inferior de cada extremidade da ponte deverá ser fixado um tubo de PVC para água fria, de 20mm de diâmetro externo e 20cm de comprimento para facilitar o apoio destas extremidades sobre as faces superiores (planas e horizontais) de dois blocos colocados no mesmo nível. O peso dos tubos de PVC não será contabilizado no peso total da ponte, como descrito no item d.



h) Cada extremidade da ponte poderá prolongar-se até 5cm de comprimento além da face vertical de cada bloco de apoio. Não será admitida a utilização das faces verticais dos blocos de apoio como pontos de apoio da ponte;



i) A altura máxima da ponte, medida verticalmente desde seu ponto mais baixo até o seu ponto mais alto, não deverá ultrapassar 50cm;

j) A ponte deverá ter uma largura mínima de 5cm e máxima de 20cm, ao longo de todo seu comprimento;

k) Para que possa ser realizado o teste de carga da ponte, ela deverá ter fixada na região correspondente ao centro do vão livre, no sentido transversal ao seu comprimento e no mesmo nível das extremidades apoiadas, uma barra de aço de construção de 8 mm de diâmetro e de comprimento igual à largura da ponte. A carga aplicada será transmitida à ponte através desta barra. O peso da barra não será contabilizado no peso total da ponte, como descrito no item d.



3.3 NORMAS PARA A APRESENTAÇÃO DAS PONTES

a) Cada equipe deverá entregar sua ponte já construída, acondicionada em uma caixa de papelão suficientemente rígida, de modo a proteger a ponte contra eventuais impactos;

b) Após a entrega de cada ponte, a Comissão Organizadora procederá a pesagem e a medição da ponte, bem como a verificação do cumprimento de todas as prescrições deste regulamento. As pontes serão identificadas com um lacre, permanecendo neste local até o dia dos testes de carga. Pelo menos um membro da equipe deverá acompanhar o processo de pesagem, medição e verificação;

e) no dia dos testes de carga, cada equipe será responsável pela retirada e transporte da ponte até o local do evento, que será oportunamente definido, devendo obrigatoriamente permanecer com o lacre de identificação. As pontes que estiverem com o lacre rompido serão consideradas em desacordo com o regulamento da competição.

3.4 NORMAS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES DE CARGA

a) A ordem da realização dos testes de carga das pontes corresponderá preferencialmente à ordem de entrega das mesmas e será divulgada oportunamente;

b) Cada grupo indicará dois de seus membros para a realização do teste de carga de sua ponte, sendo que apenas um posicionará os pesos no dispositivo de carregamento e o outro poderá auxiliar na escolha dos anéis. Ambos deverão utilizar equipamentos de proteção individual (capacete, óculos e luvas de proteção). Os grupos também indicarão

outros dois membros para acompanhar o registro e validação do carregamento junto à comissão organizadora. Os demais integrantes deverão se posicionar junto à plateia;

c) A carga inicial a ser aplicada será o peso correspondente do mecanismo de suporte dos anéis que carregarão a ponte. Se após 10 segundos de ter aplicado a carga, a ponte não apresentar danos estruturais, será considerado que a ponte passou no teste de carga mínima, e ela estará habilitada para participar do teste da carga de colapso;

d) Se a ponte passou no teste da carga mínima, as cargas posteriores serão aplicadas em incrementos definidos pelos membros do grupo que estão realizando o teste. Será exigido um mínimo de 10 segundos entre cada aplicação de incremento de carga;

e) Será considerado que a ponte atingiu o colapso se ela apresentar severos danos estruturais menos de 10 segundos após a aplicação do incremento de carga. A carga de colapso oficial da ponte será a última carga que a ponte foi capaz de suportar durante um período de 10 segundos, sem que ocorressem severos danos estruturais;

f) Se na aplicação de um incremento de carga ocorrer a destruição do ponto de aplicação da carga, será considerado que a ponte atingiu o colapso, pela impossibilidade de aplicar mais incrementos de carga (ainda que o resto da ponte permaneça sem grandes danos estruturais);

g) Após o colapso de cada ponte, os restos da ponte testada poderão ser examinados pela Comissão Organizadora, para verificar se na sua construção foram utilizados apenas os materiais permitidos. Caso seja constatada a utilização de materiais não permitidos, a ponte estará desclassificada;

h) Em caso de empate de duas ou mais pontes com a mesma carga de colapso, será utilizado como critério de desempate o peso menor e se persistir o empate, a doação da maior quantidade de alimento não perecível por parte da equipe no ato da inscrição. Se ainda persistir o empate, será considerada a ordem de entrega das pontes.

h) Quaisquer problemas, dúvidas ou ocorrências não contempladas neste regulamento deverão ser analisados pela Comissão Organizadora.

4 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Uma maneira de compreender melhor o comportamento de sistemas estruturais pode ser feito através da observação de modelos reduzidos de estruturas, como exemplo pode-se citar sistemas estruturais confeccionados com materiais flexíveis como o silicone, a borracha e o elástico. Aqui utilizaremos macarrão.

Um sistema estrutural bastante utilizado na engenharia são as chamadas treliças, mas o que é uma treliça?

Uma treliça é uma estrutura reticulada que tem todas as ligações entre barras articuladas, a figura 1 mostra uma treliça plana com suas cargas e reações. Na análise de uma treliça as cargas atuantes são transferidas para os seus nós. A consequência disso em conjunto com a hipótese de ligações articuladas, é que uma treliça apresenta apenas esforços axiais (esforços normais de tração e compressão).

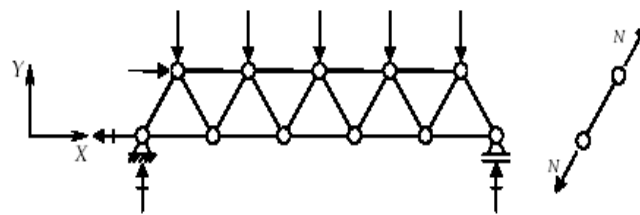


Fig. 1

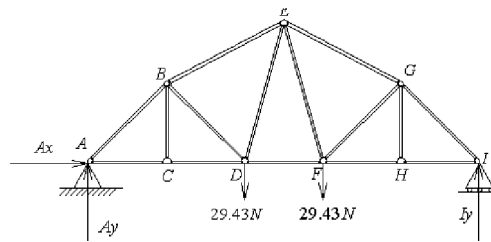
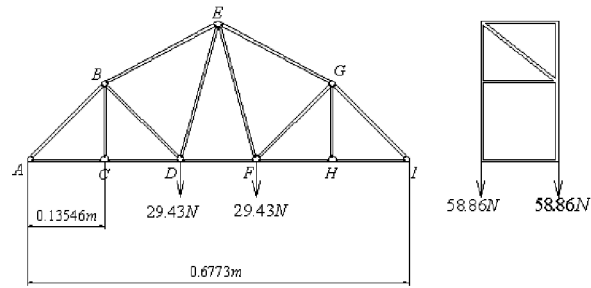
Calculo da Treliça

O cálculo da treliça pode ser feito utilizando dois métodos:

- Método das seções
- Método dos nós

A seguir temos **um exemplo** simples do cálculo de uma treliça utilizando o método das seções:

Consideramos um peso de 12kg aplicado no meio da estrutura, como 12kg equivale a 117.72N então subdividindo os pesos temos a seguinte configuração:

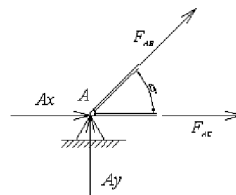


$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ Ax &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ Ay + Iy &= 58.8\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ Iy(0.6773) - (0.27092)29.43 - (0.40638)29.43 &= 0 \\ Iy &= \frac{19.932}{0.6773} = 29.43N \\ Ay &= 29.43N\end{aligned}$$

Método das seções:

É feito um corte na treliça e é analisando as forças que agem internamente:



$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ Ay + F_{AB}\sin(45) &= 0 \\ F_{AB} &= -\frac{29.43}{\sin(45)} \\ F_{AB} &= -41.62N \Rightarrow 41.62N(C)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ F_{AB}\cos(45) + F_{AC} &= 0 \\ -41.62(0.707) + F_{AC} &= 0 \\ F_{AC} &= 29.43N(T)\end{aligned}$$

OBS:

Este método pode ser utilizado em determinadas seções para se definir todas as forças que agem internamente em cada barra. Também se utiliza o método dos nós

Ponte de Macarrão:

A partir do conhecimento das propriedades do macarrão foi possível definir equações que serão as ferramentas para a construção da ponte.

Como dito anteriormente as barras de uma treliça podem estar submetidas a apenas dois tipos de esforços:

- Tração
- Compressão

Quando se faz os cálculos as respostas obtidas já nos dizem se é tração ou compressão dependendo do sentido que adotamos.

Tração:

Para barras submetidas à tração utilizamos a seguinte equação:

$$Numero\ de\ fios = \frac{CARGA(N)}{42.67(N)}$$

Assim definimos quantos fios de macarrão deve conter na barra. Então como visto no exemplo a barra AC sofre uma carga de 29,43 N (tração):

$$Numero\ de\ fios = \frac{29.43}{42.67} = 0,7$$

É claro que é inviável utilizar 0,7 de um fio de macarrão, então para isso utiliza-se um numero mínimo de macarrão para manter a estabilidade da ponte, este numero mínimo fica a critério de cada grupo.

Compressão:

Para barras submetidas à compressão utilizaremos a seguinte equação:

$$Numero\ de\ fios = \sqrt{\frac{CARGA(N)l^2(mm)}{27906r^4(mm)}}$$

Onde:

l = Comprimento da barra

r = Raio do macarrão (0.9mm)

No exemplo temos a barra AB suporta uma carga de 41,62N (compressão) e seu comprimento é de 193,07 mm, logo:

$$Numero\ de\ fios = \sqrt{\frac{(41.62)(193,07)^2}{27906(0,9)^4}} \approx 10\ fios$$

Basicamente os cálculos utilizados na construção das pontes são estes.

5 SUGESTÃO DE MODELOS DE PONTES

Para incentivar a imaginação no projeto da ponte de espaguete, estão disponíveis algumas versões de demonstração de jogos que tratam da construção de pontes e outros tipos de estruturas:

- A empresa CronicLogic disponibiliza em seu site vários demos de jogos cuja temática é a construção de pontes. Entre eles o Bridge Builder, o Bridge Building Game, o Pontifex I, o Pontifex II e o Bridge Construction Set. Estão disponíveis apenas versões para Windows.

- A empresa Armadillo Run disponibiliza em seu site uma versão de demonstração de um divertido jogo onde as leis da física são as peças fundamentais para solucionar o desafio de transportar um tatu (em inglês, "armadillo"), de um ponto para outro do espaço. Para realizar a tarefa proposta devem ser considerados de forma divertida conceitos de tensão,

gravidade, resistência e impulso. Está disponível apenas uma versão para Windows do jogo Armadillo Run.

- A empresa Valusoft disponibiliza a versão de demonstração de um jogo onde o objetivo é destruir e construir estruturas. Está disponível apenas uma versão para Windows do jogo Construction Destruction. Atenção: o arquivo tem 83 MB e o jogo exige um computador com boa placa gráfica.