

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

**REGULAMENTO DO CONCURSO  
Construção de Pontes de Espaguete - 2022  
(Trabalho da Disciplina de Teoria das Estruturas e Resistência de  
Materiais)**

**Coordenador: Prof. Geraldo Junior**

**Equipe: Prof. Nelson Amaral**

**Prof. Jeanisson Cesar**

**Prof. Matheus Henrique Morato de Moraes**

**Prof. Bruna Andrade Ferreira**

## 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 as 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 Teoria das Estruturas e disciplinas afins, com a prática no desenvolvimento de projetos.

Nesta perspectiva, o IF Goiano Campus Trindade está **desafiando** seus alunos do curso técnico integrado de Edificações, a competirem durante a apresentação da feira de Ciências que se realizará na III Semana de Ciência e tecnologia do Campus.

A competição no IF Goiano Campus Trindade ocorre desde o ano de 2015 e é coordenada pelo professor Geraldo Pereira da Silva Junior, com o auxílio de outros professores do IF Goiano Campus Trindade.

## 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 espaguete com colas epóxi e/ou 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 950g.

A construção da ponte deverá ser precedida da análise de algumas opções de tipos de pontes e com memorial de cálculo 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 de Teoria das Estruturas 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 regulamento específico.

### 3 REGULAMENTO

#### 3.1 DISPOSIÇÕES GERAIS

- a) Cada equipe inscrita na competição poderá participar com apenas uma ponte;
- b) Cada equipe terá um líder, definido pelo professor, e será composta por até 4 componentes escolhidos via sorteio pelo professor;
- c) Antes da realização dos testes de carga das pontes, cada grupo deverá apresentar o memorial de cálculo com o valor da carga de colapso de sua ponte e uma lista das colas utilizadas na sua construção;
- d) É obrigatória a presença de todos os integrantes da equipe para realização do teste de carga;
- e) 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;
- f) Para fins de pontuação na avaliação das disciplinas dos cursos IF Goiano Campus Trindade serão contabilizados 40% da nota definida pelo professor ao ato da entrega intacta da ponte, 20% da nota esta relacionada ao cumprimento dos requisitos de projetos estabelecidos, 20% relacionado a ruptura dentro da previsão da capacidade de carga projetada (com tolerância de 10%) e 20% distribuídos de acordo com a classificação na competição;
- g) Quaisquer dúvidas ou situações não previstas neste regulamento serão definidas, 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 de acordo com o que for disponibilizado pela Comissão Organizadora da competição e colas epóxi do tipo massa (exemplos de marcas: Durepoxi, Polyepox, Poxibonder, etc.) e do tipo resina (exemplos de marcas: Araldite, Poxipol, Colamix, ProEpoxi etc.).
- c) Será admitida a utilização de cola quente em pistola para a união das barras nos nós.
- d) 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



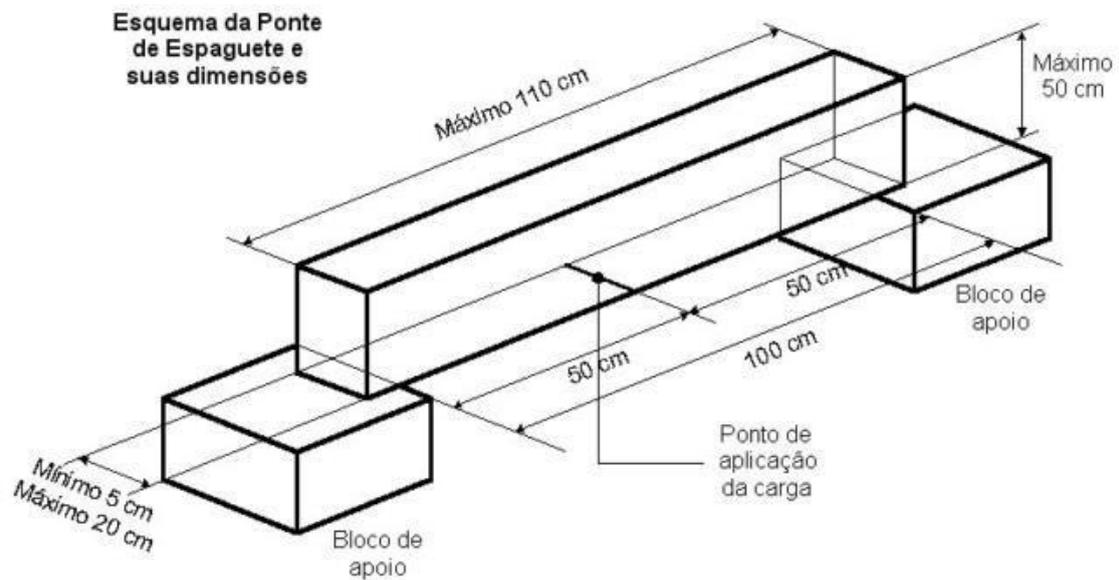
Cola quente em pistola

e) O peso da ponte (considerando a massa espaguete, colas utilizadas, apoios e suporte de carga) **NÃO PODERÁ** ser superior a 950g sendo admitidos 10% de tolerância;

f) No limite de peso prescrito (950g), **SERÃO** considerados o peso do mecanismo de apoio fixado nas extremidades da ponte (descrito a seguir, no item i), e o peso da barra de aço para fixação da carga (descrito a seguir, no item m);

g) A ponte não deverá receber revestimento ou pintura, exceto das colas permitidas na região dos nós;

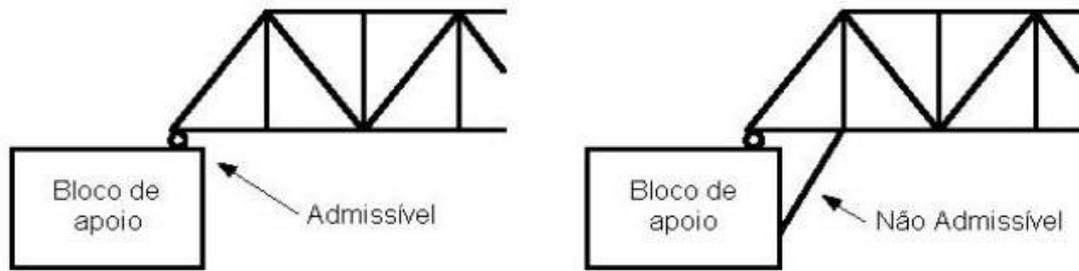
h) A ponte deverá ser capaz de vencer um vão livre de 1m, estando apoiada livremente nas suas extremidades, de tal forma que a fixação das extremidades não será admitida;



i) Na parte inferior de cada extremidade da ponte deverá ser fixado um tubo de PVC para água fria, de 20 mm de diâmetro externo e entre 5 cm e 20 cm de comprimento (**independente da largura da ponte projetada**) 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, **SERÃO** contabilizados no peso total da ponte, como descrito no item f.



j) 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;



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

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

m) Para que possa ser realizado o teste de carga da ponte, deverá ser 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 entre 5 cm e 20 cm. O peso da barra **SERÁ** contabilizado no peso total da ponte, como descrito no item f.



n) A carga aplicada será transmitida à ponte através desta barra, sendo nelas fixados ganchos com os pesos, o peso do gancho fará parte do carregamento;

o) A critério da comissão no dia do teste de carga poderão ser utilizados um ou mais ganchos para carregamento.

### 3.3 NORMAS PARA A APRESENTAÇÃO DAS PONTES

a) Cada equipe deverá entregar sua ponte já construída, e acondicionar em local especificado pela Comissão Organizadora no dia definido para o rompimento;

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.

c) As pontes serão identificadas com um lacre (adesivo) contendo o nome completo dos membros do grupo e o nome fantasia da ponte que deverão ser entregues no dia até o horário de início dos testes de carga;

d) 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 laque de identificação.

### 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 no horário do rompimento;

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.

c) Ambos deverão utilizar equipamentos de proteção individual (capacete, óculos e luvas de proteção);

d) Os grupos também indicarão outros dois membros para acompanhar o registro e validação do carregamento junto à Comissão Organizadora;

e) Os demais integrantes dos grupos deverão se posicionar junto à plateia;

f) A carga inicial a ser aplicada será o peso correspondente do mecanismo de suporte dos anéis (ganchos) que carregarão a ponte. **Se após 10 segundos da aplicação da 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 de carga de colapso;

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

h) 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;

i) 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;

j) 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);

k) 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;

l) 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, será considerado a ponte de maior comprimento e, se ainda persistir o empate, será considerada a ordem de entrega das pontes.

m) A comissão no dia do teste de carga pode optar por uma combinação de pesos utilizando um ou mais ganchos, também pode optar por uma combinação que resulte em descarregamento da ponte entre estágios. Mas devem obrigatoriamente

garantir a igualdade de execução dos testes de carga para as várias pontes do torneio.

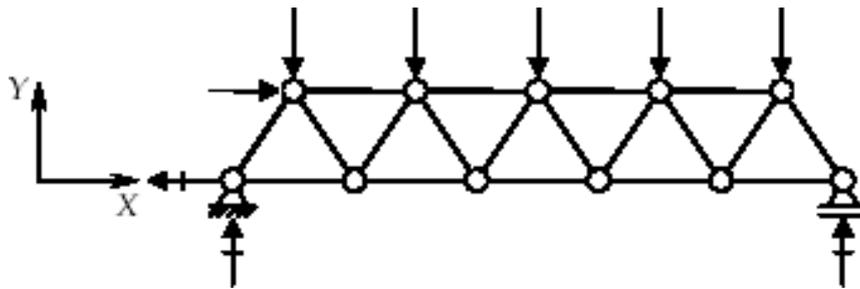
n) Quaisquer problemas, dúvidas ou ocorrências não contempladas neste regulamento deverão ser analisados pela Comissão Organizadora.

#### 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 espaguete.

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).



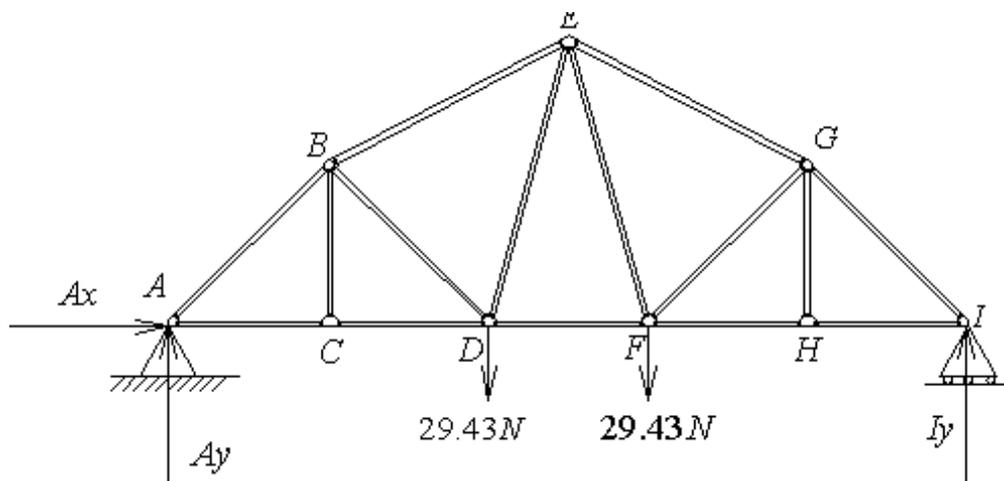
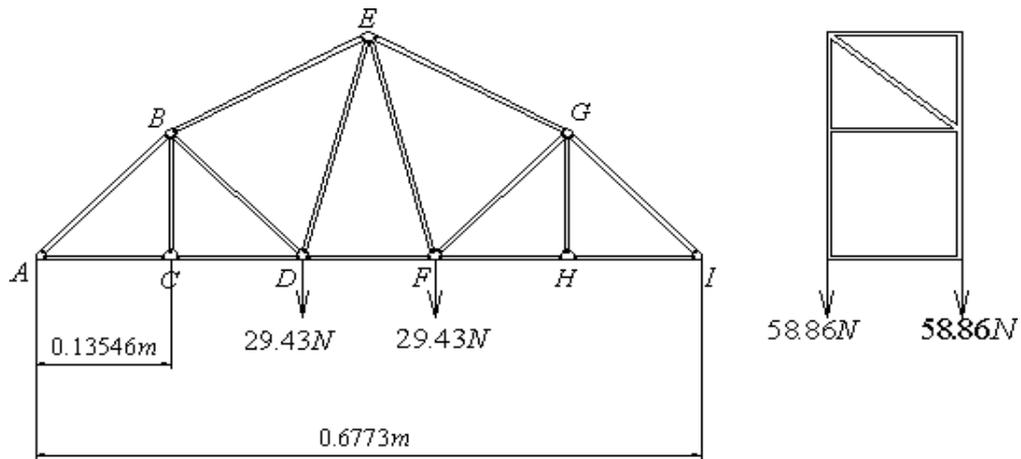
#### Calculo da Treliça

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:

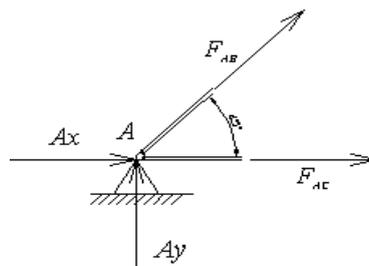
*Consideramos um peso de 12kg aplicado no meio da estrutura, como 12kg equivale a 117.72N então subdividindo os pesos temos a seguinte configuração:*



$\Sigma F_x = 0$ $A_x = 0$	$\Sigma F_y = 0$ $I_y + A_y = 58,56$	$\Sigma M_A = 0$ $I_y(0,6773) - (0,27092)29,43 - (0,40638)29,43 = 0$ $I_y = \frac{19,932}{0,6773} = 29,43N$
		$A_y = 58,56 - I_y$ $A_y = 29,43N$

*Método dos nós:*

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



$\sum F_x = 0$ $A_x + F_{AC} + F_{AB} \cdot \cos(\theta) = 0$ $0 + F_{AC} + F_{AB} \cdot 0,707 = 0$ $F_{AC} = 29,43N$ <p><b>Barra AC tracionada</b></p>	$\sum F_y = 0$ $A_y + F_{AB} \cdot \sin(\theta) = 0$ $29,43 + F_{AB} \cdot 0,707 = 0$ $F_{AB} = \frac{-29,43}{0,707} = -41,62N$ <p><b>Barra AB comprimida</b></p>
---	---

**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 das seções*.

**Ponte de Espaguete:**

A partir do conhecimento das propriedades do espaguete 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.

**IMPORTANTE!** A marca e modelo do espaguete que será utilizado na competição serão divulgadas no momento de sua aquisição. A definição das equações de cargas de tração e compressão também serão realizadas com o espaguete adquirido através de ensaios a serem realizados.

Abaixo segue exemplo do espaguete da marca BARILLA SPAGHETTONI nº 7, lembrando que marca e modelo do espaguete em aquisição podem ser diferentes, alterando inclusive suas características mecânicas:

Tração:

Para barras submetidas à tração utilizamos a seguinte equação:

$$\text{Número final de fios por tração} = \frac{4 \cdot \text{CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}}{\pi \cdot \Phi^2 \cdot \sigma_{\text{cálculo tração}}}$$

Onde;

$$\pi = 3,14$$

$\emptyset =$  *Diametro de um fio do espagete em metros (m)*

$$\sigma_{\text{cálculo tração}} = 0,6 \cdot \frac{f_{tk(\text{espagete})}}{1,8} \text{ (unidade dada em Pascal - Pa)}$$

Assim definimos quantos fios de espagete deve conter na barra.

Então, como visto no exemplo, a **barra AC** sofre uma carga de 29,43 N (tração), considerando um tensão característica do espagete  $f_{tk(\text{macarrão})} = 16,44 \text{ MPa}$  (**valor da tenção característica de tração do espagete -  $f_{tk(\text{espagete})}$** ) e  $\emptyset = 1,8 \text{ mm}$ , temos:

$$\sigma_{\text{cálculo tração}} = 0,6 \cdot \frac{16,44 \cdot 10^6}{1,8} = 5,48 \text{ MPa}$$

$$\text{Número final de fios por tração} = \frac{4 \cdot 29,43}{3,14 \cdot 0,0018^2 \cdot 5,48 \cdot 10^6} = 2,11$$

É claro que é inviável utilizar **2,11** de um fio de espagete, então para isso utiliza-se um número inteiro superior (neste caso 3 fios) de espagete para manter a estabilidade da ponte.

Em casos em que o número de fios fique inferior a 1 (um) **o número mínimo de fios fica a critério de cada grupo.**

#### Compressão:

Para barras submetidas à compressão utilizaremos inicialmente a seguinte equação:

$$\text{Número inicial de fios por compressão} = \sqrt{\frac{64 \cdot \text{CARGA CALCULADA NA BARRA (N)} \cdot l^2}{\pi^3 \cdot E_{\text{espagete}} \cdot \emptyset^4}}$$

Onde:

$$\pi = 3,14$$

$l =$  *comprimento da barra comprimida em metros (m)*

$\emptyset =$  *Diametro de um fio do espagete em metros (m)*

$E_{\text{espagete}} =$  *módulo de elasticidade do espagete em Pascal (Pa)*

O modulo de elasticidade do espagete será fornecido pela Comissão

Organizadora retirado dos ensaios de **Tensão x Deformação**.

Após a determinação do **número inicial de fios** deverá ser observado os gráficos, obtidos por ensaios realizados pela Comissão Organizadora, que determina a **Curvas de Carga de Ruptura por Compressão x Comprimento da Barra, para barras formadas com diferentes números de fios de espaguete**. Em posse dessas curvas deverá ser obtido a tensão característica de compressão do espaguete  $f_{ck(\text{macarrão})}$  que será utilizada para o cálculo do **número final de fios**.

$$\text{Número final de fios por compressão} = \frac{4. \text{CARGA CALCULADA NA BARRA (N)}}{\pi. \Phi^2. \sigma_{\text{cálculo compressão}}}$$

Onde;

$$\pi = 3,14$$

$\Phi$  = Diâmetro de um fio do espaguete em metros (m)

$$\sigma_{\text{cálculo compressão}} = 0,6. \frac{f_{ck(\text{espaguete})}}{1,4} \text{ (unidade dada em Pascal - Pa)}$$

$$f_{ck(\text{espaguete})} = \frac{4. \text{Carga de ruptura por compressão (gráfico)}. 9,807}{\text{Número inicial de fios por compressão}. \pi. \Phi^2}$$

No exemplo temos que a **barra AB** suporta uma carga de 41,62N (compressão) e seu comprimento é de 0,19307 metros. Adotando o módulo de elasticidade do espaguete igual a  $E_{\text{espaguete}} = 3,6 \text{ GPa}$ , e  $\Phi = 1,8 \text{ mm}$ , logo:

$$\text{Número inicial de fios por compressão} = \sqrt{\frac{64.41,62. 0,19307^2}{3,14^3. 3,6. 10^9. 0,0018^4}}$$

$$\text{Número inicial de fios por compressão} = 9,21$$

$$\text{Número inicial de fios por compressão (arredondando)} = 10 \text{ fios}$$

O valor da carga de ruptura por compressão do espaguete será encontrado utilizando o número inicial de fios e as **Curvas de Carga de Ruptura por Compressão x Comprimento da Barra, para barras formadas com diferentes números de fios de espaguete**.

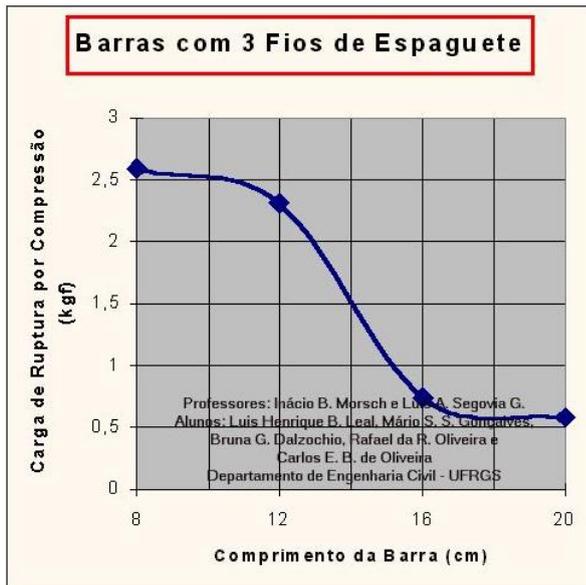


Figura: retirada do site <http://www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/dados.html>

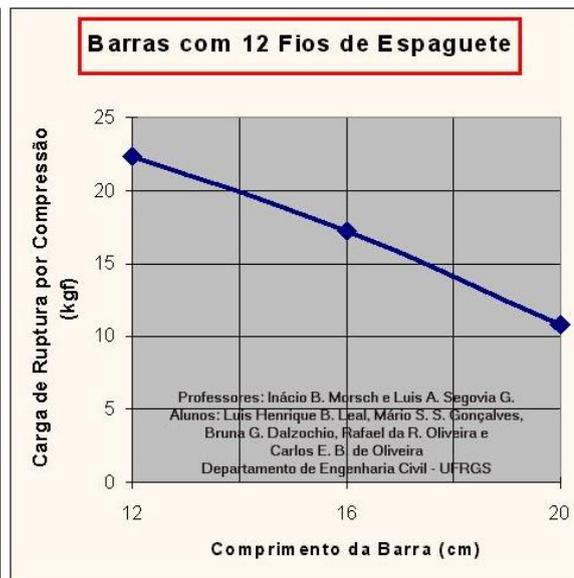
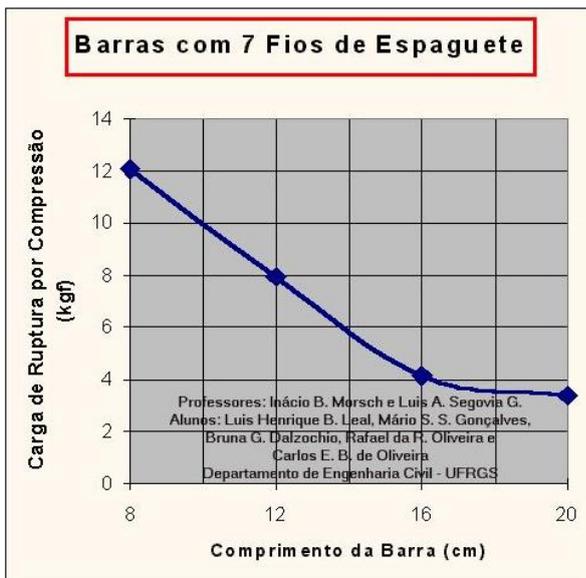
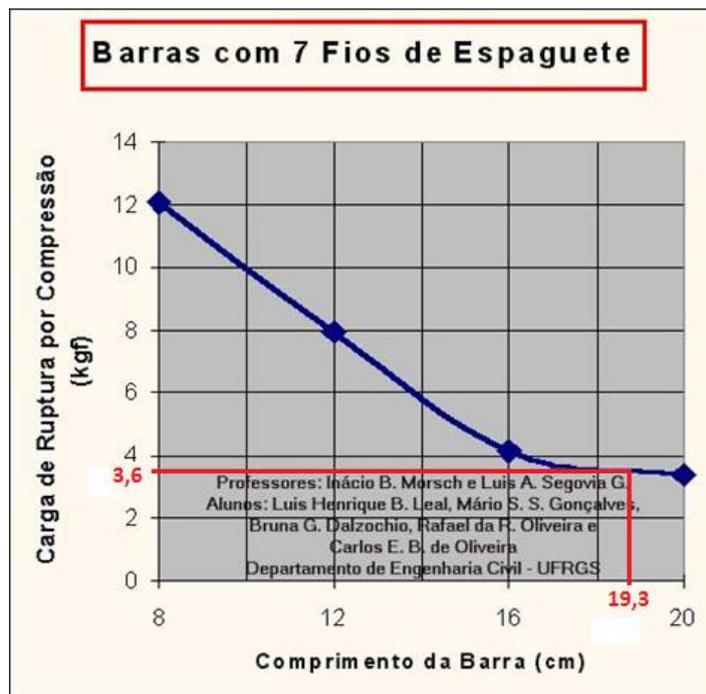


Figura: retirada do site <http://www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/dados.html>

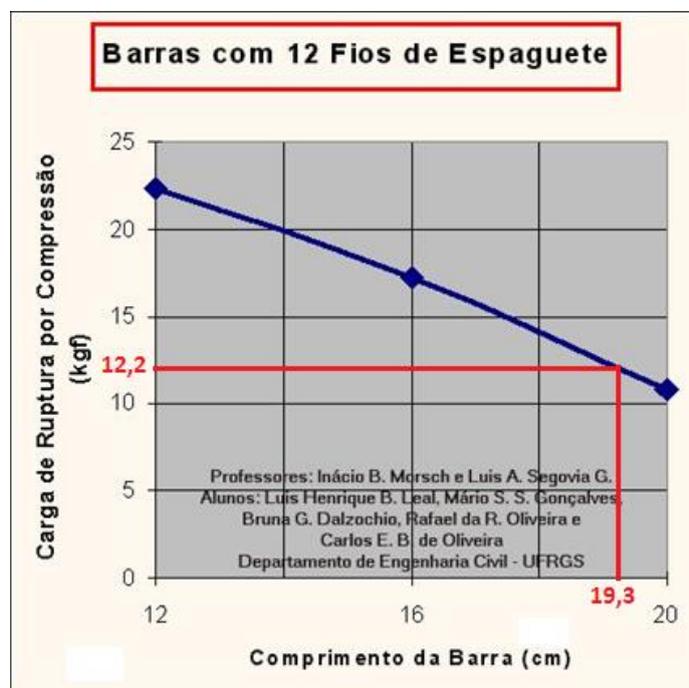
Em casos em que o número inicial de fios não está caracterizado nas curvas, será necessário interpolar os resultados entre duas curvas. Neste exemplo temos um número inicial de 10 fios e o comprimento de 0,19307 m que equivale a 19,307 cm. Assim deveremos interpolar os resultados entre a curva para 7 fios de espaguete e de 12 fios de espaguete.

- Cálculo da carga de ruptura por compressão do espaguete considerando a curva de 7 fios:



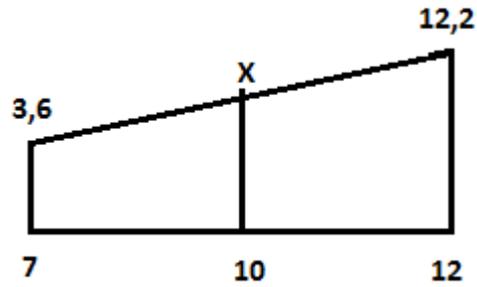
*Carga de ruptura por compressão (gráfico) = 3,6 Kgf*

- Cálculo da carga de ruptura por compressão do espaguete considerando a curva de 12 fios:



*Carga de ruptura por compressão (gráfico) = 3,6 Kgf*

- Interpolação para 10 fios:



$$\frac{12,2 - 3,6}{12 - 7} = \frac{X - 3,6}{10 - 7}$$

$X = \text{Carga de ruptura por compressão (gráfico)} = 8,76 \text{ Kgf}$

- Cálculo da tensão característica de compressão do espaguete:

$$f_{ck(\text{espaguete})} = \frac{4.876.9807}{10.314.00018^2} = 3,38 \text{ MPa}$$

- Cálculo da tensão de compressão do espaguete:

$$\sigma_{\text{cálculo compressão}} = 0,6 \cdot \frac{3,38 \cdot 10^6}{1,4} = 1,45 \text{ MPa}$$

- Cálculo do número final de fios da barra:

$$\text{Número final de fios por compressão} = \frac{4.41,62}{3,14 \cdot 0,0018^2 \cdot 1,45 \cdot 10^6} = 11,28$$

$\text{Número final de fios por compressão} = 12$

## 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.

## 6 BIBLIOGRAFIA

GONZÁLES, Luis Alberto Segovia González. COMPETIÇÃO DE PONTES DE ESPAGUETE. UFRGS. <http://www.ppgec.ufrgs.br/segovia/espaguete/dados.html> Último acesso: 10/10/2017.