



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB**  
**PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**MARIA EDUARDA PEDROSO BARBOSA**  
**MICKAELLA RODRIGUES DE ARAÚJO**

**O LÚDICO NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ELEMENTOS SUJEITOS À  
FLAMBAGEM COM DIFERENTES SEÇÕES TRANSVERSAIS**

**BRASÍLIA**

**2019**



**MARIA EDUARDA PEDROSO BARBOSA**  
**MICKAELLA RODRIGUES DE ARAÚJO**

**O LÚDICO NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ELEMENTOS SUJEITOS À  
FLAMBAGEM COM DIFERENTES SEÇÕES TRANSVERSAIS**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica  
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e  
Pesquisa.

Orientação: Prof. MSc. Raquel Ferreira Kischlat

**BRASÍLIA**

**2019**

## AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa gratidão:

À Deus, por ter-nos dado condições de desenvolvermos este trabalho de pesquisa.

Aos nossos familiares, por nos acompanharem, vibrarem conosco e nos apoiarem.

À equipe de iniciação científica, que nos deu todo apoio, orientação e incentivos necessários.

Aos colegas de pesquisa, que iniciaram a caminhada com a gente, mas que não puderam ir conosco até o final.

Ao Labocien, sua equipe e funcionários, na pessoa da Prof. Cristina, pela disponibilidade do espaço e equipamentos.

A equipe do Conselho de Ética e Pesquisa, por nos orientar nos procedimentos para a enquete.

Aos alunos e curiosos que participaram da enquete e contribuíram com suas sugestões.

Aos amigos, que de uma forma ou de outra, acompanharam o desenvolvimento do trabalho.

“Para isso existem as escolas: não para ensinar as respostas, mas para ensinar as perguntas. As respostas nos permitem andar sobre a terra firme. Mas somente as perguntas nos permitem entrar pelo mar desconhecido.”

Rubem Alves

## RESUMO

Foi observada, durante as aulas do curso de Engenharia Civil, uma dificuldade, por parte dos alunos, no que se refere à compreensão e visualização do fenômeno de flambagem. A partir disso, surgiu a ideia de desenvolver um protótipo denominado “prensa” na qual estudantes do ensino médio e universitários, assim como demais curiosos, pudessem testar diferentes corpos de prova de modo a desenvolverem uma compreensão qualitativa sobre o fenômeno em questão. Dessa forma, foram desenvolvidos e testados diversos modelos em potencial, até atingir os atuais protótipos (prensas), que apresentam condições de apoio distintas (fixo-móvel e fixo-livre) e os “corpos de prova” se alternam entre diferentes seções transversais (seção circular cheia, perfil I, cantoneira e seção quadrada). Em adição a esses fatores, há a possibilidade de reduzir o comprimento de flambagem, o que altera também o comportamento do corpo de prova. Os modelos foram submetidos à experimentação de diversos públicos. Por meio disto, foi realizada uma enquete na qual a eficiência do produto fez-se patente, pois foi alcançada uma evolução significativa na visão dos participantes a respeito do tema. Portanto, o objetivo do projeto foi alcançado e espera-se que este seja apenas um projeto inicial e que com as sugestões postas em prática possa alcançar melhores eficácia e abrangência.

**Palavras-Chave: Flambagem. Prensas. Corpos de prova.**

## ABSTRACT

During the classes of the undergraduate course of Civil Engineering, it was observed students' difficulty in understanding and visualizing the buckling phenomenon. From this fact, the idea was given of developing a prototype called "press" in which undergraduate students, high school students, as well as the fellow curious people, could test different proven bodies so that they would develop a qualitative comprehension about the phenomenon in question. This way, different models in potential were tested, until achieving the current prototypes (presses), that present different support conditions and the tested bodies can be alternated among different cross sections. In addition to these factors, there is also the possibility of reducing the buckling length, which changes the behavior of the proof bodies. The models were submitted to the experimentation of diverse public. Through this, it was made a survey in which the efficiency of the product was clear, since it reached a considerable advancement on the vision the participant had in what concerns the matter. Therefore, the goal of the product has been reached and it is expected that this will be only an initial project, so that when the suggestions are implemented it will reach greater efficiency and scope.

**Key-words: Buckling. Presses. Tested Bodies.**

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	8
1.1. Tema e contexto .....	8
1.2. Justificativa .....	9
1.3. Objetivo .....	9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	11
2.1. Flambagem .....	11
2.2. Conceito de Estabilidade Elástica.....	12
2.3. Aplicação do conceito de estabilidade na compressão axial .....	12
2.4. Modelos existentes .....	14
2.4.1. Kit Estrutural Mola.....	14
2.4.2. Museu de Ciências de Saint Louis (SLCM) .....	15
3. METODOLOGIA .....	16
3.1. Processo de desenvolvimento.....	16
3.2. Dificuldades encontradas e soluções apresentadas.....	21
4. RESULTADOS DA ENQUETE.....	23
5. CONCLUSÃO.....	27
6. REFERÊNCIAS .....	29
APÊNDICE 1 – DIVULGAÇÃO E ACESSO À ENQUETE .....	30
APÊNDICE 2 – EXTRATOS PARCIAIS DA ENQUETE .....	31

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Tema e contexto

As estruturas metálicas de edifícios permitem o uso de diferentes tipos de seções transversais. Escolher um ou outro tipo de perfil, ou seção transversal, inclui compreender o seu comportamento frente a todo e qualquer tipo de solicitação, ou seja, carregamentos e forças que incidem sobre ele. Logicamente esta escolha deve passar por critérios arquitetônicos que envolvem, na maioria das vezes, o belo, o contexto em que se insere o projeto e sua subjetividade. De igual modo, também deve passar por critérios estruturais que, de uma maneira bem sucinta, podem ser identificados como resistência e economia. Estes possuem normas que regem a verificação dos perfis escolhidos, o que implica definir o perfil mais adequado. Entre os critérios que definem esta adequação, está a capacidade resistir à flambagem. Sendo assim, é importante que se compreenda os parâmetros que caracterizam esta resistência, além de determinar a melhor posição do perfil e quais os passos a serem tomados caso este não seja capaz de suportar às condições de carregamento existentes. Estudar estes conceitos requer a capacidade de visualizar como a flambagem acontece em diferentes perfis e quais alterações seriam mais adequadas caso o comprimento destravado a ser utilizado não esteja em condição favorável. Mas existe mais um aspecto que deve ser levado em conta no processo de aquisição e incorporação do conhecimento, que é a forma como cada indivíduo vê, percebe, compreende, processa e aplica o conhecimento. Neste momento é necessário voltar os olhos para os aspectos educacionais e os processos de aprendizagem que devem ser usados para permitir que tudo isto aconteça. Do ponto de vista de Rubem Alves, o lúdico precisa fazer parte desta construção, de forma que qualquer bloqueio para aquisição desta habilidade para entender os conceitos e sua aplicação, possa ser substituída por um prazer proveniente da curiosidade, do desafio e da descoberta. E aí entram a brincadeira, o objeto interativo, presencial, que faz com que se construa estes elementos e na sequência se observe o comportamento do mesmo frente a mudanças de parâmetros, como seção e comprimento. E assim este trabalho envolveu três etapas: a compreensão dos conceitos teóricos de flambagem; a construção de um objeto interativo

(denominados “prensas” e “corpos de prova”) e a visualização e compreensão destes conceitos no manuseio das prensas e corpos de prova, alterando os parâmetros envolvidos, gerando a brincadeira, estimulando a aprendizagem por meio do lúdico.

## **1.2. Justificativa**

A prática da docência é um caminho de aprendizagem para os professores. Após lecionar disciplinas relacionadas ao ramo das estruturas, a professora Raquel Kischlat, orientadora deste trabalho de pesquisa, percebeu um ponto crucial na compreensão dos alunos no que se refere à flambagem. O conceito em si é bem assimilado, mas quando sai do plano bidimensional e vai para o tridimensional, a capacidade de visualizar fica comprometida. Há suspeitas que a redução, na grade curricular do curso de engenharia civil, das disciplinas voltadas ao desenho (representação gráfica) tenha proporcionado esta lacuna. Entretanto, mesmo no curso de arquitetura, onde a prática do desenho é estimulada, a dificuldade persiste. A observação, a capacidade de desenhar e representar o que se deseja visualizar fica restrita ao plano bidimensional, desconectando a estrutura do seu volume ou comportamento tridimensional. O projeto de pesquisa foi motivado inicialmente por uma deficiência observada e a possibilidade de ser sanada com um recurso de visualização e interação. A execução do projeto foi direcionada a estudantes do ensino médio porque acreditou-se que seriam atividades simples de serem executadas e que o aluno seria capaz de entender, não só pelo fato de poder “brincar” com o protótipo, mas pelo fato do aluno construir, com suas próprias mãos, o modelo.

## **1.3. Objetivo**

O objetivo do trabalho foi construir uma maquete com materiais alternativos por meio da qual poder-se-ia visualizar o fenômeno de flambagem e que esta fosse de fácil manuseio e transporte no ambiente de estudo. A primeira etapa então foi idealizar este protótipo. Levantar diferentes sugestões e chegar a um denominador comum. Este protótipo teria que permitir a análise de corpos de prova com diferentes seções transversais, diferentes condições de apoio, diferentes tipos de carregamento e diferentes comprimentos destravados no processo de flambagem.

A segunda etapa foi construir os protótipos (conjunto prensa e corpos de prova), o que incluía buscar possíveis fornecedores de materiais, pesquisar materiais que poderiam desempenhar bem o comportamento de flambagem, construir e testar o conjunto proposto atendendo às variações definidas na primeira etapa.

O terceiro passo foi elaborar uma enquete que seria disponibilizada aos usuários do protótipo. Um formulário de fácil acesso, com perguntas e respostas objetivas, que fosse rápido de responder e cujos resultados seriam avaliados para verificar a eficácia dos protótipos.

Na quarta etapa disponibilizar estes protótipos em sala de aula para despertarem a curiosidade nos alunos e para testar as prensas e corpos de prova, tanto no aspecto de funcionalidade na operação dos objetos quanto no aspecto de aquisição de conhecimento; sanando dúvidas existentes na compreensão de alguns parâmetros adotados no cálculo da flambagem.

Em um quinto momento, acessar e responder um formulário on line (enquete) disponibilizado via acesso de QRCode, buscando analisar o processo de aquisição de conhecimento apenas com a maquete, apenas com vídeos gravados e concomitante com as duas ferramentas: vídeos e maquetes.

Finalmente, organizar os resultados, representá-los por meio de gráficos, analisar e concluir com base nos resultados obtidos.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Flambagem

Em todas as construções, as peças componentes da estrutura devem ter geometria adequada e definida para resistirem às ações (forças existentes e peso próprio ou prováveis, como a ação do vento) impostas sobre elas. Se o material não resistir às ações, atingirá um Estado Limite Último por Ruptura. (MASCIA, 2017)

Da mesma forma, um piso de edifício deve ser rígido para evitar uma flecha excessiva, o que em alguns casos pode provocar fissuras no teto, tornando-se inadequado em seu aspecto funcional (Estado Limite de Utilização). (MASCIA, 2017)

Finalmente, uma peça pode ser tão delgada que submetida a uma ação compressiva atingirá o colapso por perda de estabilidade (flambagem), isto é, um Estado Limite Último. Em engenharia, todos os requisitos acima devem ser preenchidos com a máxima habilidade e o menor custo. Neste sentido a seleção dos elementos estruturais de uma construção se baseia nas três seguintes características: (MASCIA, 2017)

- Resistência
- Rigidez
- Estabilidade

A análise de resistência e rigidez estão ligadas ao material, à sua tensão resistente e módulo de elasticidade. Já a estabilidade dos sistemas estruturais envolve diferentes elementos. Em situações de compressão, esta análise está associada à redução da resistência. (FAKURY, 2006)

Começando pela análise de uma barra de diâmetro  $d$ , submetida a uma força axial de compressão. Se esta barra, submetida à força  $F$  tiver um comprimento,  $l$ , nenhuma questão de estabilidade apareceria, e uma força considerável poderia ser suportada por esse membro de comprimento  $l$ . Entretanto, se a mesma barra tivesse comprimento igual a várias vezes o diâmetro quando submetida aquela força  $F$  (ou menor), poder-se-ia tornar lateralmente instável e entrar em colapso (Figura 1). A resistência do material não é suficiente para se prever o comportamento de tal membro. Esta análise também é apresentada por Sussekind (1977).

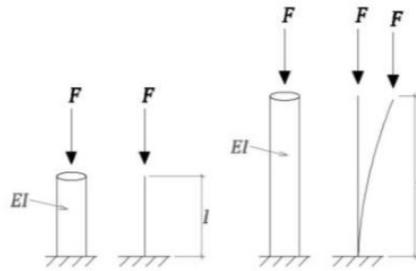


Figura 1 – Flambagem de barras.

## 2.2. Conceito de Estabilidade Elástica

Qualifica-se como estabilidade a propriedade do sistema (estrutura) de manter o seu estado inicial de equilíbrio nas condições de aplicação de ações. Se um sistema não tem esta propriedade, ele é qualificado de instável. Definem-se dois estados de equilíbrio: (MASCIA,2017)

- a) Equilíbrio estável: Se um sistema sofre uma pequena perturbação, depois de eliminarmos as causas desta perturbação, o sistema volta ao seu estado inicial de equilíbrio. Este é considerado estável.
- b) Equilíbrio instável – Se um sistema sofre uma pequena perturbação, depois de eliminarmos as causas desta perturbação, o sistema não volta ao seu estado inicial. Este é considerado instável.

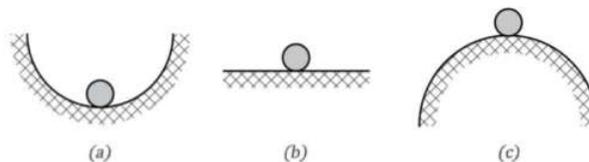


Figura 2 – Equilíbrio estável (a) e instável (c).

Assim, é possível alcançar o seguinte estágio, o sistema passa do estado inicial de equilíbrio (estável) para outro. É caracterizado assim a perda de estabilidade do sistema.

## 2.3. Aplicação do conceito de estabilidade na compressão axial

Para peças de comprimento  $l$ , da mesma ordem de seu diâmetro  $d$  ou lado  $b$ , sujeito à compressão axial, não ocorrerá o fenômeno de flambagem (Figura 3). Para peças com comprimento várias vezes maior que o diâmetro  $d$  ou lado  $b$ , sujeita a compressão axial, a flambagem já ocorreria. Inicialmente a barra está num estado de equilíbrio estável. Para pequenos valores de  $F$ , aumentados gradualmente, a coluna permanece num estado de equilíbrio estável.

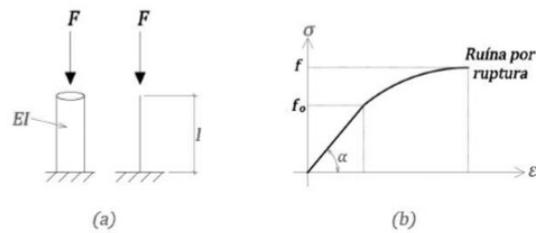


Figura 3 – Gráfico Tensão x deformação

Durante este estágio, se retirarmos a força ou ação  $F$ , a barra ou coluna volta à sua forma inicial de equilíbrio (equivalente à esfera da figura 2a). Aumentando ainda mais a ação  $F$ , haveria uma passagem de um estado de equilíbrio para outro. Por definição: carga crítica  $F_{cr}$  ou carga de Euler ou carga de flambagem é o valor da carga  $F$  que provoca o fenômeno da mudança do estado de equilíbrio estável para o instável.

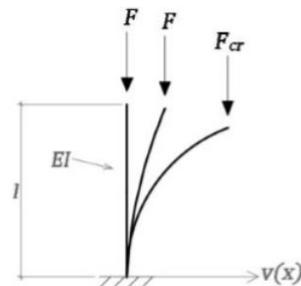


Figura 4 – Flambagem da barra

Colocando-se num gráfico de  $F$  por  $v(x)$ , conforme mostra a Figura 5, tem-se:

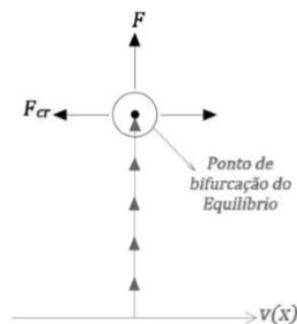


Figura 5 - Mudança de equilíbrio

Chega-se assim à determinação de  $F_{cr}$ . Conforme Fakury (2006), estes valores também são chamados de  $N_e$ , ou carga crítica de Euler. Estuda-los é essencial para a compreensão do comportamento das barras, sendo que Beer (1977) apresenta vários exemplos que podem ser estudados e analisados.

## 2.4. Modelos existentes

### 2.4.1. Kit Estrutural Mola

Em entrevista com Oliveira (2018) é possível visualizar e entender a proposta de um kit de ensino. O Kit Estrutural Mola (Figura 6) é um sonho de estudantes e profissionais de arquitetura e engenharia que começou a se tornar realidade em 2004.



Figura 6 – Kit Estrutural Mola em ação.

“Uma forma fácil e interativa de aprender estruturas.” Assim era o sonho, e assim surgiu o projeto pelas mãos de Oliveira (2018), arquiteto paraense, que idealizou e produziu um modelo interativo que ajuda a estudar o comportamento de estruturas arquitetônicas reais.

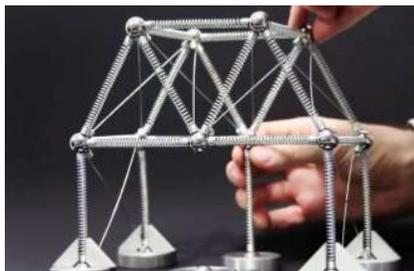


Figura 7 – Potencial didático do Mola

Um dos objetivos e características alcançadas pelo Mola foi seu potencial didático (Figura 7). Ao demonstrar os fenômenos físicos que não são perceptíveis a olho nu em construções reais, ele permite que as pessoas percebam e entendam mais fácil o comportamento das estruturas. Independente do material, o comportamento da estrutura vai ser esse que o Mola representa, seja ela de madeira, aço, papel, concreto, o que for”. (Siqueira, 2018)

### **2.4.2. Museu de Ciências de Saint Louis (SLCM)**

O SLCM foi fundado em 1856 tendo como suas raízes a Academia de Ciências de Saint Louis (Mississippi), sendo ampliado para Museu de Ciências e História Natural em 1959. Em 1971 passou a operar independente da Academia, mantendo-se desta forma até os dias atuais (SLSC, 2018).



Figura 8 – Centro de Ciências de Saint Louis - SLSC

O Museu tem como missão fazer da ciência algo divertido, de uma maneira informal, permitir um processo de aprendizagem por meio da experiência. A equipe envolvida são especialistas, educadores, cientistas e voluntários apaixonados pelo que fazem. (SLSC, 2018)

No SLSC podem ser vistos projetos de várias áreas da ciência e tecnologia. Dentro do tema abordado aqui, alguns são apresentados, como os modelos em espuma (Figuras 9 e 10) e o modelo com materiais rígidos (Figura 11), tendo várias outras opções que podem ser usados por qualquer idade, deste uma criança até uma pessoa idosa. Alguns são específicos para adultos e outros para crianças.



Figura 9 – Edifício contraventado.



Figura 10 – Arco de compressão.



Figura 11 – Ponte com diferentes propostas de estabilidade

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Processo de desenvolvimento

- A pesquisa iniciou-se no final de setembro (2018) com a aluna do Colégio Leonardo da Vinci, Maria Barbosa (voluntária) e em dezembro com o aluno do Colégio Gisno, Alan Braga (bolsista). No início do ano (2019) o bolsista Alan precisou se retirar, sendo substituído, semanas depois, pela Letícia da Silva, igualmente estudante do Colégio Gisno, mas que também não ficou até o final. Na época de substituição dos bolsistas, mais uma voluntária integrou-se ao grupo, desta vez uma acadêmica do curso de engenharia civil, Mickaella Rodrigues de Araújo.
- A primeira etapa do projeto consistiu em pesquisa e criação. O Projeto Mola (figura 1), foi apresentada à Maria, que teve um tempo manuseando molas (barras), esferas (ligações), triângulos (travamentos), fios (tirantes) e criando estruturas diferentes e a partir dela compreendendo como se dá a composição de uma estrutura.

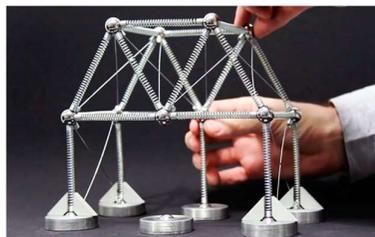


Figura 1 - Projeto Mola

- Na sequência, compreendendo o que é Flambagem, passou-se a buscar materiais que pudessem simular este efeito em pequena escala. Este material foi chamado de

protótipo do corpo de prova. Esta busca se deu em sites (I), lojas e no contexto de cada um (II), observando os materiais do entorno.

(I) A partir de pesquisa em diversos sites que trabalhavam com os materiais com potencial para flambar, foi feita uma lista com os prováveis fornecedores (Tabela 1), como a MRF que fabrica produtos à base de plástico (Figura 2), os quais foram contactados por email.

Fornecedores	Site	Telefone	email
Day Brasil ( PVC )	<a href="http://daybrasil.com.br">http://daybrasil.com.br</a>	(62) 98043761	
Ciplast	<a href="http://www.ciplast.com.br">http://www.ciplast.com.br</a>	(21) 22700346	contato@ciplast.com.br
Chapa Balsa	<a href="http://m.chapabalsa.com.br">http://m.chapabalsa.com.br</a>	(11) 56669605	Contato@phapabalsa.com.br
MRF	<a href="http://www.mrf.com.br">http://www.mrf.com.br</a>	(11) 43323332	geral@mrferreira.com
ArtPlas	<a href="http://artplast-sc.com.br">http://artplast-sc.com.br</a>	(48) 36570707	faleconosco@artplas.ind.br
Cia da Borracha	<a href="http://ciadaborracha.com">http://ciadaborracha.com</a>	(41) 33338044	contato@ciadaborracha.com

Tabela 1 - Lista de potenciais fornecedores



Figura 2 - Empresa com produtos potenciais para o corpo de prova

(II) Foram realizadas algumas visitas à Casa de Arte, Papelarias, Lojas de Multi-utilidades e lojas de material de construção para inspiração e escolha dos materiais a serem avaliados, principalmente o protótipo do corpo de prova. Foram adquiridos vários materiais alternativos conforme tabela 2, como por exemplo perfis de plástico com seções H e circular (Figura 3).



Figura 3 - Barras de plástico com seção H e circulares

Material	Caracterização
PVC	barra perfil H
PVC	barra perfil U
PVC	barra perfil "maluco"
Borracha	refil da Pentel perfil circular
Borracha	refil da Ciapel perfil circular
Plástico rígido	perfil I (paubalsa)
Plástico rígido	perfil quadrado (paubalsa)
Plástico rígido	perfil cantoneira (paubalsa)
Plástico rígido	perfil retangular (prendedor pasta de doc)
Barra fina de aço	antena de carro perfil redondo
Plástico flexível	mangueira de filtro - perfil circular vazado
Plástico flexível	mangueira de jardim - perfil circular vazado

Tabela 2 - Materiais com potencial para fazer o protótipo

- Estes materiais, conforme definição apresentada na proposta do projeto de pesquisa, possuem um módulo de elasticidade longitudinal (E) específico do material, que é adotado nas equações de cálculo da carga crítica de flambagem. Foi feita uma pesquisa destes valores para cada material e elaborada uma planilha para o cálculo da carga crítica (Tabela 3).

Flambagem em materiais diferentes			
Material	Borracha		
Propriedades			
E=	100 kN/cm <sup>2</sup>	(Módulo de Elasticidade Longitudinal)	
Seção Transversal	Circular Cheia		
D=	0,8 cm	(Diâmetro)	
Área =	0,50 cm <sup>2</sup>		
Inércia =	0,04 cm <sup>4</sup>		
Barra			
L=	10 cm	(Comprimento)	
Carga crítica de flambagem (Euler)			
FE=	0,40 kN	(10N=1kgf) (KN=100kgf)	
FE=	0,0040 kgf		
FE=	3,97 gramas		

Tabela 3 - Cálculo da carga crítica de flambagem

- A etapa seguinte consistiu em pensar como seria feito o ensaio de flambagem nos corpos de prova. Foram feitas duas visitas, uma primeira logo no início dos trabalhos, ao grupo de pesquisa da computação e elétrica (proposta inicial de se trabalhar com arduino, a partir de um braço que imprimisse força sobre o corpo de prova) e em seguida ao Labocien, mais precisamente ao Laboratório de Solos da Engenharia (conhecer as prensas disponíveis e os leitores de força e deslocamento).

- A partir dessas visitas chegou-se à conclusão que seria feito uma prensa artesanal, que pudesse ser móvel e que comportasse os corpos de prova pequenos. Deu-se início à busca de materiais que pudessem compor a prensa e, à medida que foi sendo construída, novos materiais foram sendo propostos (Figura 4a e 4b).



Figura 4a - Materiais para a prensa

Figura 4b - Início da montagem da prensa

- Foram feitos alguns croquis para que ficasse fácil a visualização do processo. Entre eles está o da figura 5(a) que mostra a ideia inicial de se trabalhar com arduino e rosca sem fim, o da figura 5(b) que mostra os tipos de seções que foram propostos e o da figura 5(c) que mostra as etapas que foram realizadas na montagem da prensa artesanal.

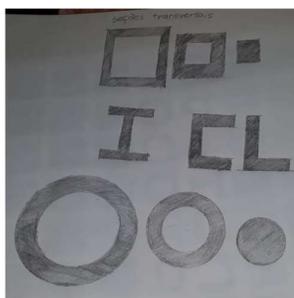
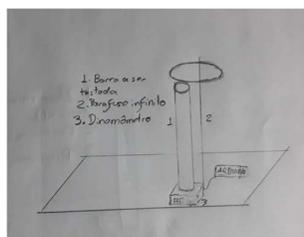


Figura 5: (a) ideia inicial; (b) seções propostas; (c) projeto prensa artesanal

- Os 'corpos de prova' precisavam ser fixados nas bordas de acordo com o tipo de apoio. Estes foram presos em tampinhas de garrafa pet com cola quente, simulando apoios

fixos nas duas extremidades da barra para um primeiro modelo (figura 6a) e um apoio fixo com a outra extremidade livre para um segundo modelo. As cargas foram aplicadas por meio de porcas e arruelas (figura 6b) depositadas em tampinhas de garrafa pet até o ponto de flambagem. Estas “cargas” foram pesadas em balança disponível no Laboratório de Solos da Engenharia. Buscou-se também dar um acabamento mais interessante na prensa, a qual foi pintada com spray preto, realçando outros elementos presentes na prensa (figura 6c).



Figura 6: (a) apoio do corpo de prova; (b) pesos e elementos de fixação; (c) pintura.

- No processo verificou-se a necessidade de criar um apoio móvel, o qual foi idealizado por um contato de ímãs. Foram criados então dois modelos de prensa, onde cada um simulava um tipo de apoio na extremidade. O modelo mais baixo e sem corredeira (Figura 7a) e o modelo mais alto com corredeira (Figura 7b).



Figura 7: (a) prensa sem corredeira, com apoio fixo-livre; (b) prensa com corredeira, com apoio fixo-móvel.

- A etapa seguinte foi criar o formulário para se fazer a enquete (anexo). Fotos e vídeos foram criados para que aqueles que não tivessem acesso direto aos protótipos pudessem de igual forma participar e dar a sua contribuição na enquete. Em ambos os casos o acesso do usuário à enquete foi feito pelo celular de cada participante.
- As primeiras enquetes foram realizadas em sala de aula pelos alunos das turmas da professora Raquel e na sequência, com a divulgação em alguns locais da universidade, por outros alunos. Tanto em sala de aula como fora, o participante tinha acesso à enquete por meio do QRCode (anexo 1) gerado a partir do formulário. Infelizmente, devido aos atrasos para iniciar a pesquisa e a troca/ausência de bolsistas, a enquete não foi disponibilizada no prazo definido no cronograma, estando a maioria dos alunos de férias.
- Cada participante dava seu aval à participação e publicação de seus resultados ao inserir seu email (critério solicitado pelo Comitê de Ética na Pesquisa – CEP), podendo então responder às perguntas. Ao finalizar o preenchimento, recebia todo o formulário no seu email com as perguntas e suas repostas. (anexo 2)
- Finalmente foi feito um levantamento dos resultados, os quais foram obtidos de forma bastante rica pelo próprio sistema com gráficos, tornando a leitura dos resultados e captação das conclusões bem fáceis e rápidas. Isto foi possível graças à disponibilização do espaço cedido para o formulário pela Mestra e o suporte dado pela Juliana, contato da Google na UniCeub.

### **3.2. Dificuldades encontradas e soluções apresentadas**

Algumas dificuldades foram encontradas à medida que o projeto foi avançando:

- 1) **Definição da lista de material:** como a proposta do projeto implicava na criação de um protótipo, a definição prévia do material tornou-se complicada ou apenas sugestiva, por tratar-se de um primeiro trabalho nesta área. Entretanto, a possibilidade de enviar a lista mais tarde e da compra parcial do material, acompanhando o processo, permitiu que a aquisição fosse mais direcionada e sem desperdícios.

- 2) **Familiarizar com termos da engenharia:** o Projeto Mola ajudou a entender o que eram os elementos de barra na estrutura e o que era a flambagem, e ao mesmo tempo a limitação do mesmo em representar diferentes situações de flambagem, uma das razões da proposta deste trabalho.
- 3) **Retorno dos potenciais fornecedores:** não houve retorno de nenhum dos fornecedores contactados. Considerou-se fazer o contato por telefone mais adiante, quando o material estivesse bem definido e a quantidade e dimensões do corpo de prova determinados. Neste ínterim, buscou-se estes materiais em revendedores, em uma pequena escala.
- 4) **Local adequado para montagem da prensa:** em contato com o Labocien, os laboratórios foram disponibilizados. Foi redigido o protocolo para possibilitar o agendamento dos mesmos e os uso das bancadas e ferramentas (balança, célula de carga, etc) disponíveis nos mesmos.
- 5) **Corte do material adquirido:** foram adquiridas chapas de madeira OSB com diversos tamanhos. Algumas puderam ser utilizadas no tamanho disponibilizado, mas outras precisavam ser cortadas. Foi realizado uma visita à maquetaria, mas a mesma não dispõe mais de ferramentas de corte. Buscou-se conhecer os materiais utilizados na maquetaria, os quais necessitam apenas de estilete para serem cortadas, mas os mesmos não se adequavam à proposta. Sendo assim, o material foi levado pra casa, para que o orientador pudesse realizar esta tarefa por conta própria.
- 6) **Conhecimento de planilha, formulários ou documentos google:** os alunos eram usuários de documentos google apenas enquanto um documento de registro e não como uma ferramenta de interação e produção conjunta. Assim como o contato com os formulários era apenas de usuário que responde e não elabora um formulário. Sendo que quando se tratava da planilha, não tinham qualquer experiência. A possibilidade de terem contato com estas três ferramentas de forma diferenciada e aprenderem a usá-la a partir da orientação do professor foi positiva.
- 7) **Definição tardia dos bolsistas, troca e ausência dos mesmos, dificuldade de retorno:** A projeto teve um atraso no início devido a uma definição tardia dos bolsistas. Dos 3 alunos do ensino médio que passaram pelo projeto, um apresentou-se bem qualificado; outro apresentou-se interessado no início quando escutou a descrição do projeto, mas o interesse não durou muito tempo nem apresentou qualquer iniciativa

quando passou a participar do projeto e o terceiro teve o seu envolvimento interrompido por mudanças de planos familiares.

- 8) Pouca experiência com participação com seres humanos:** A pesquisa contou com a participação de seres humanos e por isto foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa. Havia pouca experiência com os procedimentos que devem ser seguidos, portanto o processo foi moroso, mas apesar disso não houve nenhum problema que impedisse o desenvolvimento do mesmo.

#### 4. RESULTADOS DA ENQUETE

A enquete foi realizada majoritariamente nas turmas da engenharia civil do Uniceub. Contou com 17 (dezesete) respostas provenientes de alguns dos alunos que tiveram a oportunidade de manusear os protótipos. As perguntas e as estatísticas das respostas são expostas a seguir:

##### 1) Você já possui algum conhecimento sobre o fenômeno da flambagem?

1 / 17 respostas corretas



Figura 8: Pergunta número 1 da enquete

2) A equação que define a carga crítica de flambagem ou Carga de Euler é o Pcr. Ela depende do número Pi, do módu... dada a seguir, pode-se afirmar que:

5 / 17 respostas corretas

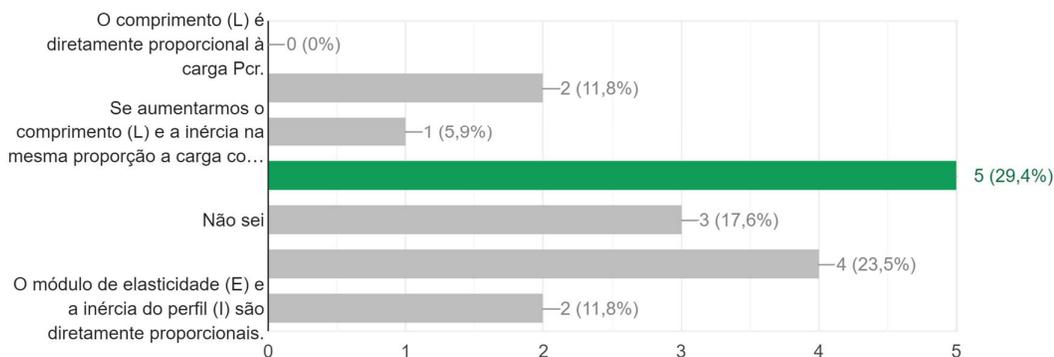


Figura 9: Pergunta número 2 da enquete

O comprimento livre ( $L_{livre}$ ) é definido pelas condições de apoio (K) e o comprimento destravado da barra (L). N...odelos, qual é a afirmativa correta:

6 / 17 respostas corretas

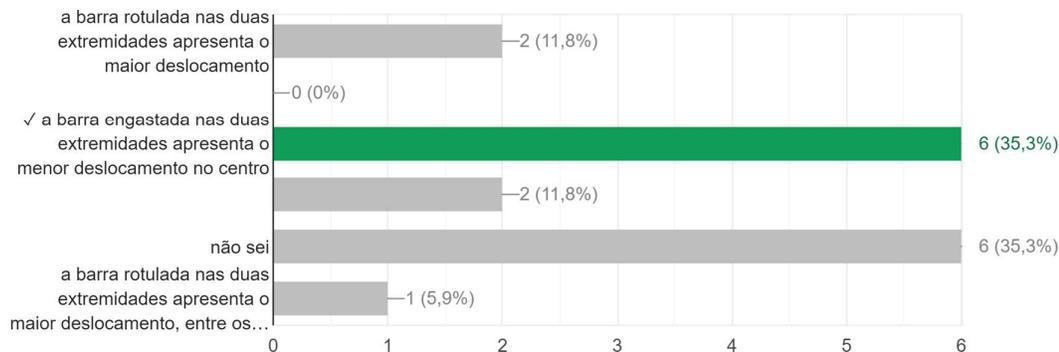


Figura 10: Pergunta número 3 da enquete

4) O deslocamento gerado pela flambagem se parece muito com o deslocamento gerado pela flecha. A diferença é:

3 / 17 respostas corretas

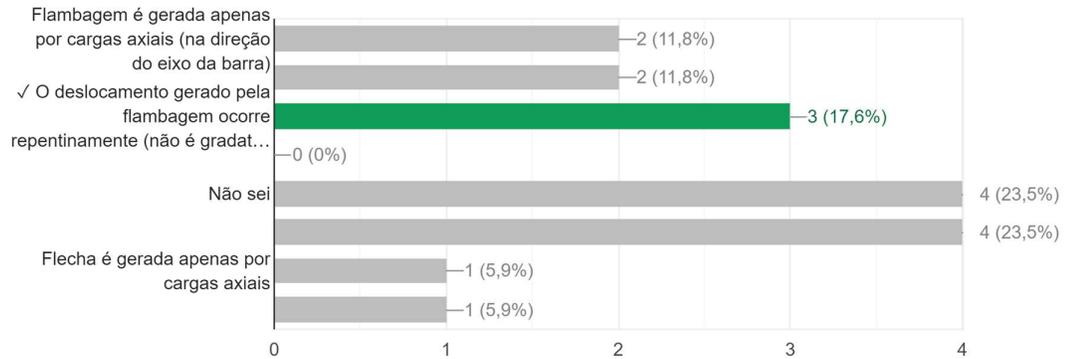


Figura 11: Pergunta número 4 da enquete

Você acha que o valor da carga máxima será sempre o mesmo, independente da seção transversal do objeto?

14 / 17 respostas corretas

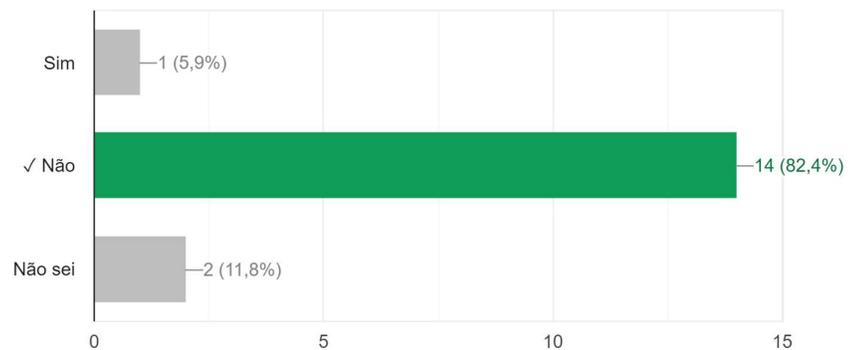


Figura 12: Pergunta número 5 da enquete

Após visualizar o filme e/ou mexer na prensa, responda: qual dos elementos flambou primeiro?

8 / 17 respostas corretas

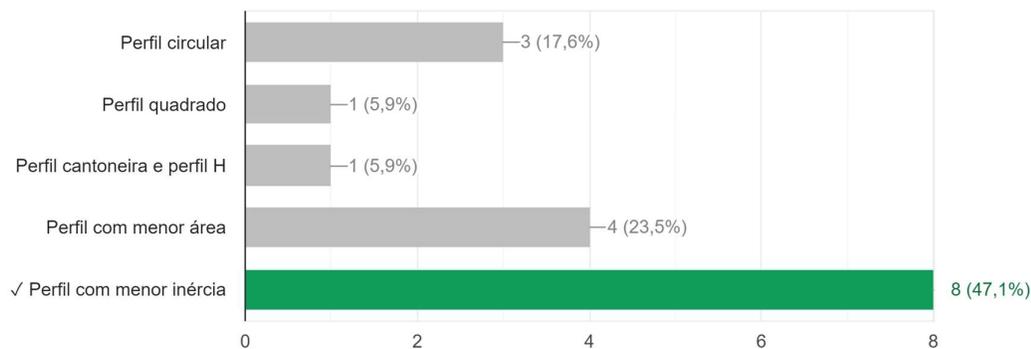


Figura 13: Pergunta número 6 da enquete

Assista o vídeo ou brinque na prensa e responda: qual a relação do comprimento com a carga aplicada na barra?

15 / 17 respostas corretas

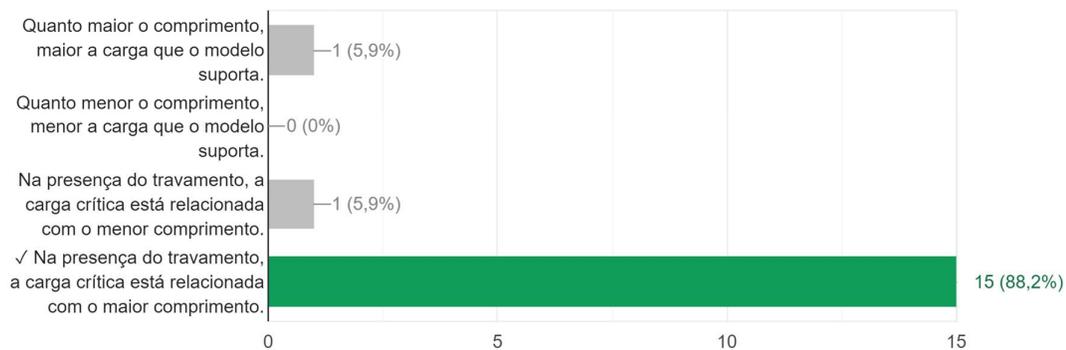


Figura 14: Pergunta número 7 da enquete

Assista o vídeo ou brinque na prensa e responda: quem flamba primeiro?  
porque?

11 / 17 respostas corretas

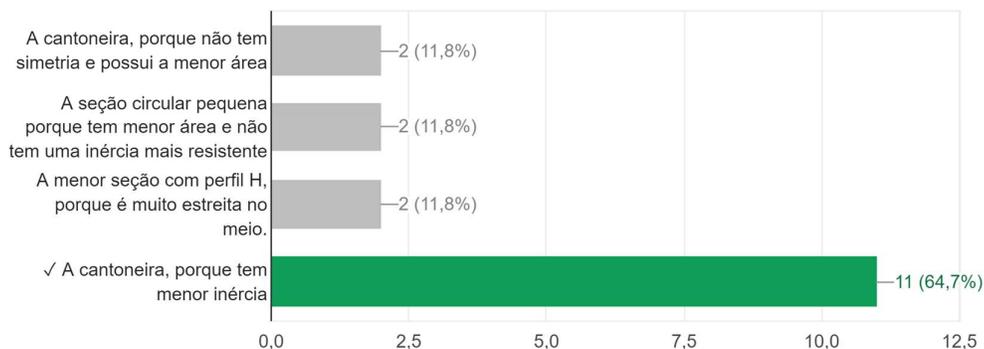


Figura 15: Pergunta número 8 da enquete

9) Assista o vídeo ou brinque na prensa e responda: se testarmos o maior perfil H com o comprimento total livre...o, quem vai flambar primeiro? Porque?

17 respostas

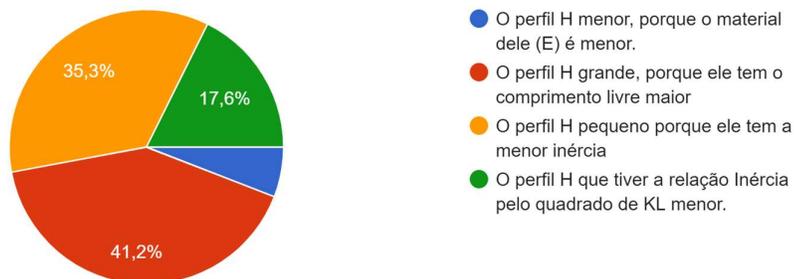


Figura 16: Pergunta número 9 da enquete

## 5. CONCLUSÃO

Ao observar os gráficos, é possível constatar o progresso dos participantes ao longo do uso do protótipo. Na pergunta número 6 (Figura 13) apenas 47,1% dos participantes selecionou a resposta correta, a qual relacionava uma menor inércia a uma menor carga crítica. Entretanto, na pergunta número 8 (Figura 15) 64,7% dos mesmos foi capaz de

efetuar corretamente essa relação. Essa observação demonstra um aumento de aproximadamente 37,4% no número de participantes que compreendem esse aspecto do fenômeno da flambagem.

Outrossim, é importante ressaltar que 29,1% dos que responderam à enquete declararam não apresentar contato algum com o conceito da flambagem, enquanto 41,2% declarou ter pouco conhecimento sobre o assunto, juntos, esses dois subgrupos representam 70,6% do total de participantes. No entanto, na pergunta de número 7 (Figura 14) 88,2% dos envolvidos foi capaz de identificar a influência da presença de travamento sobre a carga crítica e, na pergunta de número 8 (Figura 15) 64,7% pôde identificar o papel da inércia sobre a carga crítica. Tais constatações, afirmam a eficiência do protótipo, pois que, mesmo aqueles que possuíam pouco ou nenhum contato com o tema foram capazes de aprender importantes aspectos do fenômeno da flambagem.

Finalmente, destacam-se as perguntas 2, 3, 4 e 9 (Figuras 9, 10, 11 e 16, respectivamente) as quais permitem obter maior precisão no que se refere aos conhecimentos prévios dos participantes, bem como a habilidade dos mesmos no manuseio das equações envolvidas. As baixas taxas de acerto nessas perguntas, é possível concluir que os que responderam à enquete de fato possuíam pouco contato com o tema.

Ao observar os desafios enfrentados bem como os resultados obtidos na enquete pode ser considerado que o protótipo cumpre seu objetivo, uma vez que amplia consideravelmente a compreensão qualitativa do fenômeno de flambagem. No entanto, alguns aprimoramentos ainda se fazem possíveis, tais como o desenvolvimento de um método que possibilite fazer com que o corpo de prova mantenha-se reto, linear, tanto no início de aplicação da carga quanto na retirada do carregamento, eliminando a influência da excentricidade nos resultados. Em outras palavras, embora o protótipo já seja útil ao ensino da flambagem, ele possui potencial para tornar-se ainda mais efetivo.

Na visão daqueles que desenvolveram o projeto, vencer os desafios, as dificuldades, vivenciar e lidar com erros e acertos, foi um aprendizado também inerente ao projeto de pesquisa, que será levado para a vida.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, PERICLES BARRETO, “Curso básico de estruturas de aço”, IEA Editora, Belo Horizonte, 1946.

BEER, FERDINAND P. E OUTROS, “Resistência dos materiais”, Editora McGraw-Hill, 1990.

CENTRO DE CIÊNCIAS DE SAINT LOUIS – SLSC. Disponível em: <<https://www.slsc.org/>>, acesso em 4/04/2018.

FAKURY, RICARDO HALLAL E OUTROS, “Dimensionamento de elementos estruturais de aço e concreto, Editora Pearson, São Paulo, 2016.

MASCIA, NILSON TADEU, “Flambagem de Barras”. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/flambagemdebarras.pdf>, Universidade Estadual de Campinas, acesso em 4/04/2018.

SERQUEIRA, MARCIO, “Entrevista com o arquiteto Marcio Sequeira criador do mola”. Disponível em: <https://www.hometeka.com.br/f5/entrevista-com-o-arquiteto-marcio-sequeira-o-criador-do-mola/>, acesso em 4/04/2018.

SUSSEKIND, JOSE CARLOS, “Curso de Análise Estrutural – 1. Estruturas Isostáticas, Editora Globo, São Paulo, 1977.”

## APÊNDICE 1 – DIVULGAÇÃO E ACESSO À ENQUETE

### Enquete PIC Junior O Lúdico: Aprenda flambagem brincando!



<http://mestra.me/LudicoPICJr>  
**Engenharia Civil e Arquitetura**

Prof. Raquel Ferreira Kischlat e Equipe de Pesquisa  
Junho/2019

## APÊNDICE 2 – EXTRATOS PARCIAIS DA ENQUETE

← Enquete

QUESTIONS RESPONSES 19 Total points: 7

### O Lúdico: aprenda flambagem brincando!

Esta enquete foi elaborada durante um projeto de PIC Junior na UniCEUB, com a colaboração de alunos do ensino médio e graduação. Apresenta uma breve explicação no início e na sequência 10 perguntas. As 5 primeiras apenas avaliam algum conhecimento prévio e as demais serão respondidas com base em observação de ensaios realizados de maneira experimental ou apresentados em vídeos. Nas 5 primeiras perguntas, caso não saiba, não se preocupe, simplesmente responda "nenhum" ou "não sei", e nas demais, se ainda achar complicado, não desista, vá até o final e compartilhe sua opinião. Obrigada por participar e divirta-se!

**Email address \***

Valid email address

This form is collecting email addresses. [Change settings](#)

**Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE**

Você está prestes a participar (de livre e espontânea vontade) do projeto de pesquisa "O lúdico no estudo do comportamento de elementos sujeitos à flambagem com diferentes seções transversais". Sua colaboração será importante, mas se desistir, isso não lhe causará prejuízo.

1o - Leia a proposta do projeto. Caso decida participar, será solicitado seu nome e você receberá as respostas em seu email. Caso contrário, não digite seu nome.

2o - Proposta:

- Sua participação consiste em marcar uma das opções apresentadas, com base em informações prévias, manuseio da protótipo e/ou assistindo aos vídeos disponibilizados.
- Após finalizarmos para sugestões, onde você é livre para responder ou não.

3o - Este estudo possui riscos mínimos, mas medidas preventivas serão tomadas, como manter sigilo das informações.

4o - Conforme previsto por normas brasileiras, você não receberá nenhum tipo de compensação financeira.

5o - Os resultados serão compartilhados em eventos de caráter científico, mas não serão publicados.

← Enquete

QUESTIONS RESPONSES 19 Total points: 7

### 8) Perfis diferentes com o mesmo comprimento e mesmo material



Assista novamente aos vídeo anteriores ou brinque na prensa e responda: quem flamba primeiro? porque?

A cantoneira, porque não tem simetria e possui a menor área

A seção circular pequena porque tem menor área e não tem uma inércia mais resistente

A menor seção com perfil H, porque é muito estreita no meio.

A cantoneira, porque tem menor inércia