

## MODELOS INTUITIVOS PARA ENSINO DE ESTABILIDADE DAS ESTRUTURAS

**Zacarias Martin Chamberlain Pravia** – zacarias@upf.tche.br

Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura - FEAR

Campus Bairro São José – CP 611

99001-970 – Passo Fundo, RS

**Rodrigo Bordignon** – rodbordignon@zipmail.com

***Resumo.** O ensino dos conteúdos das disciplinas da área de estruturas, seja nos cursos de Engenharia Civil ou Arquitetura, apresenta-se como um grande desafio para o educador devido ao nível de abstração envolvido nos conceitos dessa área. Uma solução, já validada, é o uso de modelos intuitivos, que apresentam o comportamento de elementos e sistemas estruturais, considerada uma ferramenta pedagógica efetiva e com resultados benéficos para a aprendizagem e fixação dos conceitos teóricos. O objeto deste trabalho é apresentar vários modelos intuitivos, que permitam visualizar fenômenos de estabilidade das estruturas, mais especificamente os relacionados com flambagem local ou global de estruturas esbeltas, assim como o funcionamento de dispositivos para atenuar tal efeito. São apresentadas fotos que permitem a reprodução dos modelos, assim como as diretrizes para seu uso como ferramenta pedagógica. Na construção destes modelos intuitivos foram usados materiais de baixo custo, permitindo que qualquer escola de engenharia ou arquitetura com disciplinas na área de estruturas possa reproduzi-los e aproveitar as vantagens que trazem para o desempenho da aprendizagem.*

***Palavras-chave:** Modelos intuitivos, estruturas, ensino*

### **.1 INTRODUÇÃO.**

A utilização adequada de modelos qualitativos facilita a compreensão das aulas expositivas de acordo com Schwark(1996), principalmente nas disciplinas que compõem a área de estruturas. Mostrar a representação física dos conceitos teóricos proporciona maior velocidade de aprendizagem por parte dos alunos.

Ante a dificuldade dos alunos na compreensão e assimilação de conceitos físicos básicos, o uso de modelos qualitativos apresenta grandes vantagens. Várias publicações apresentam

modelos a serem construídos para serem usados como auxiliares na aprendizagem de estruturas dentro delas vale ressaltar o trabalho de Santos (1983), que apresenta 50 modelos intuitivos de estruturas.

No intuito de melhorar a aprendizagem nas disciplinas da área de estruturas para os cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, foi criado o LESE – Laboratório de Ensaio em Sistemas Estruturais – com duas grandes linhas de trabalho: ensaios experimentais com medições de grandeza e, pesquisa e construção de modelos qualitativos para ensino de estruturas. Dentro desta última linha foram construídos vários dos modelos propostos por Santos (1983), e foram criados alguns outros modelos para mostrar o comportamento à flambagem de estruturas.

O objeto deste trabalho é apresentar três novos modelos que representam o comportamento de estruturas sujeitas a flambagem, e apresentar uma alternativa para um modelo proposto originalmente por Santos (1983) para ser construído de maneira mais simples e econômica.

Dentro das metas propostas na construção de modelos qualitativos, uma é da maior importância: facilidade de construção e materiais de baixo custo. Os modelos a serem apresentados atingiram ambas metas de maneira satisfatória.

## **2. MODELOS PROPOSTOS**

Os modelos propostos aqui são dedicados a apresentação dos problemas de flambagem nas estruturas, especificamente:

- (a) flambagem de pórticos simples e os sistemas de travejamento para reduzir o seu efeito.
- (b) flambagem de vigas submetidas a flexão biaxial (terças), o uso de correntes e travejamentos para melhorar o seu desempenho (flambagem lateral de vigas).
- (c) flambagem por flexo-torção em vigas.

Todos os modelos foram construídos com materiais de baixo custo: madeira, compensado, PVC em lâminas ou em perfis, pregos, arame, pregos. Uma das metas a ser atingida era construir os modelos ao mais baixo custo possível. Os modelos foram construídos no Laboratório de Estruturas (LESE) da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo.

A seguir são expostos cada um dos modelos e o seu funcionamento de maneira resumida. Detalhes, tipo de material e dimensões desses modelos podem ser requeridos via e-mail para os autores.

### **2.1 Flambagem de Colunas**

Este modelo apresenta as diversas configurações deformadas, modos de flambagem, de colunas simples com diferentes condições de apoio. Este modelo foi apresentado por Santos (1983), e aqui apenas apresenta-se simples para ser construído, e só oferece resultados qualitativos.

Na figura 1.1 apresenta-se o modelo, que foi construído em compensado, madeira para os apoios, e as colunas em PVC. Foi assegurado que o comprimento de cada uma das colunas fosse equivalente. Na Fig. 1.2, para aproximadamente o mesmo deslocamento em todas as colunas com diferentes condições de apoio, são mostrados os modos de flambagem.

Na Figura 1, no sentido da esquerda para a direita, apresenta-se respectivamente colunas com as seguintes condições de apoio: (A) engaste – engaste, (B) apoio sem restrição a rotação –

engaste, (C) apoio sem restrição a rotação – apoio sem restrição a rotação (barra bi-rotulada), (D) apoio livre – engaste.

Observa-se na Fig. 1.2 os modos de flambagem, que permitem apresentar os resultados da resolução da equação de Euler para uma barra articulada nos seus extremos de maneira qualitativa. E pode se aproveitar para apresentar o conceito do parâmetro K para obtenção de comprimento efetivo de flambagem.

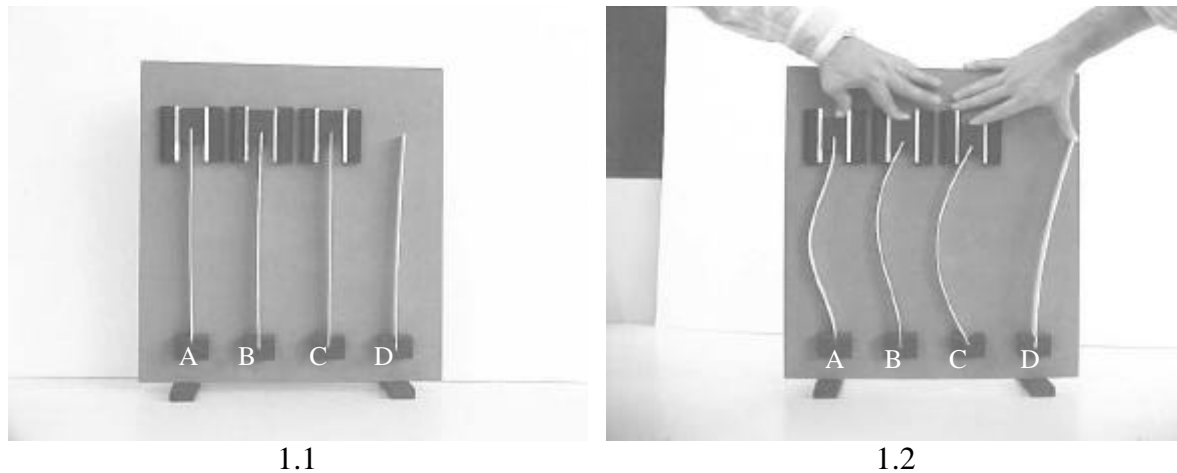


Figura 1 – Modelo de flambagem de colunas com diferentes condições de apoio

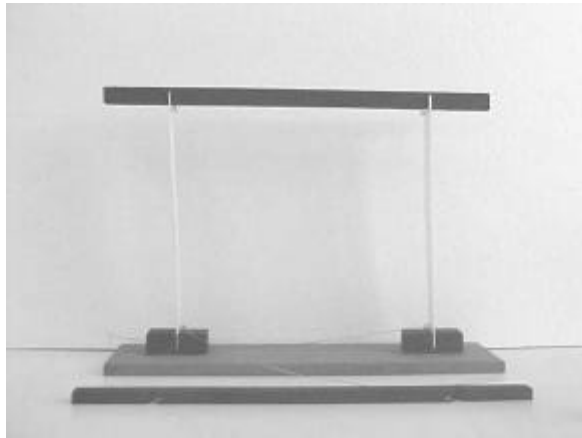
Os modos representados na Fig. 1.2 são qualitativamente aqueles que são obtidos do desenvolvimento teórico da resolução proposta por Euler.

## 2.2 Flambagem de pórticos e o uso de travejamentos em X

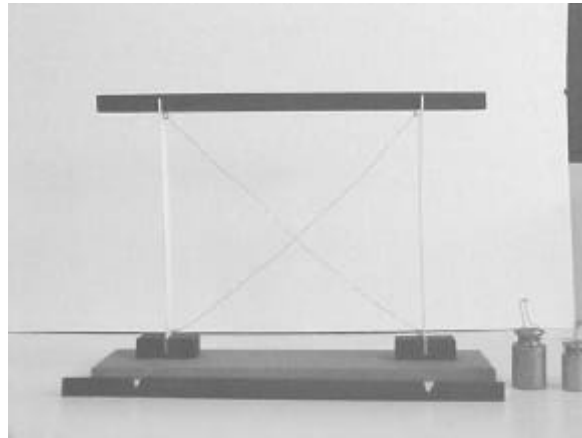
Este modelo consiste num pórtico com três elementos, uma viga bastante rígida de madeira com encaixes adequados para representar uma união rígida e outra uma união flexível. As colunas do modelo são de PVC e estão engastadas adequadamente em peças de madeira, o travejamento consiste na colocação de dois arames na forma de X, para simular o travejamento. O modelo com a viga com uniões rígidas está representado na Fig. 2.1, e o mesmo com o travejamento, na Fig. 2.2.

Para completar o modelo usam-se pesos, um de 500 gramas e um de 1000 gramas. O funcionamento do modelo pode-se observar nas Fig. 2.3 e 2.4.

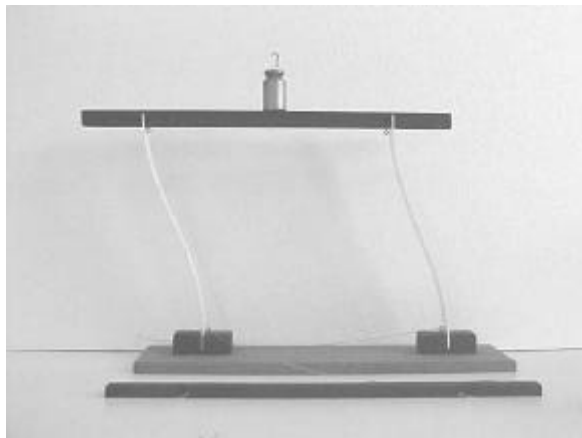
Na figura 2.3 apresenta-se o modelo com uma carga de 500 gramas aplicada no meio do vão da viga, apresentando o seu modo de flambagem. Já na Fig. 2.4, mostra-se o modelo com o travejamento colocado, suportando 1500 gramas, sem apresentar nenhum tipo de flambagem apreciável.



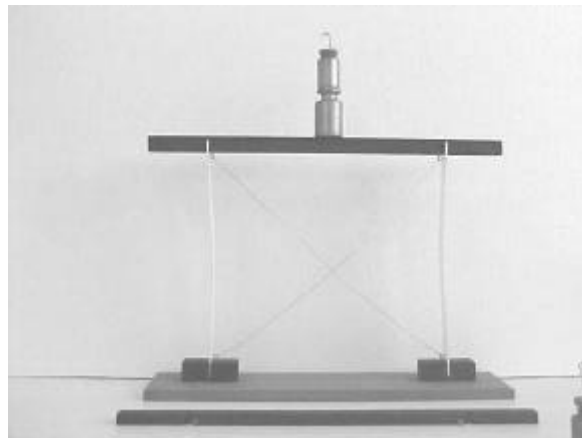
2.1



2.2



2.3



2.4

Figura 2.2 Modelo de flambagem em pórtico e travejamento em X.

Este modelo aplica-se para apresentar flambagem em pórticos, e permite explicar a necessidade de travejamentos em pórticos de estruturas metálicas de maneira intuitiva. As vezes que foi empregado em aulas ofereceu excelentes resultados para a aprendizagem por parte dos alunos.

Lembrar que o experimento intuitivo, pode ser realizado com a viga unida as colunas por conexões rígidas ou flexíveis, apenas troca-se o elemento adequado do modelo.

Este modelo pode ser extrapolado para um pórtico com vários vãos, mostrando travejamentos apenas nos pórticos extremos, e permitindo a explanação do uso de contraventamentos na existência de forças laterais, tais como o vento, principalmente em estruturas metálicas.

### 2.3 Flambagem lateral de terças

Este modelo tem como objetivo apresentar o funcionamento de terças com perfis U, tais perfis são de PVC, obtidos de canaletas usadas para conexões elétricas. Os apoios estão fixados com pequenas cantoneiras de alumínio através de parafusos. As correntes que ajudam do desempenho das terças são representadas por arames dobrados. O modelo em sua totalidade pode ser observado na Fig. 3.1.

Na Figura 3.2 apresenta-se o comportamento das terças com travejamento (veja-se detalhe A) e sem travejamento (detalhe B). Pode-se intuitivamente observar que a terça sem travejamento apresenta flambagem lateral, já na presença do travejamento tal comportamento não existe.

Este modelo é importante para mostrar também a posição adequada de terças de perfis U, assim como serve para explicar o uso de travejamentos para melhorar a resistência deste tipo de perfis em telhados de estruturas metálicas.

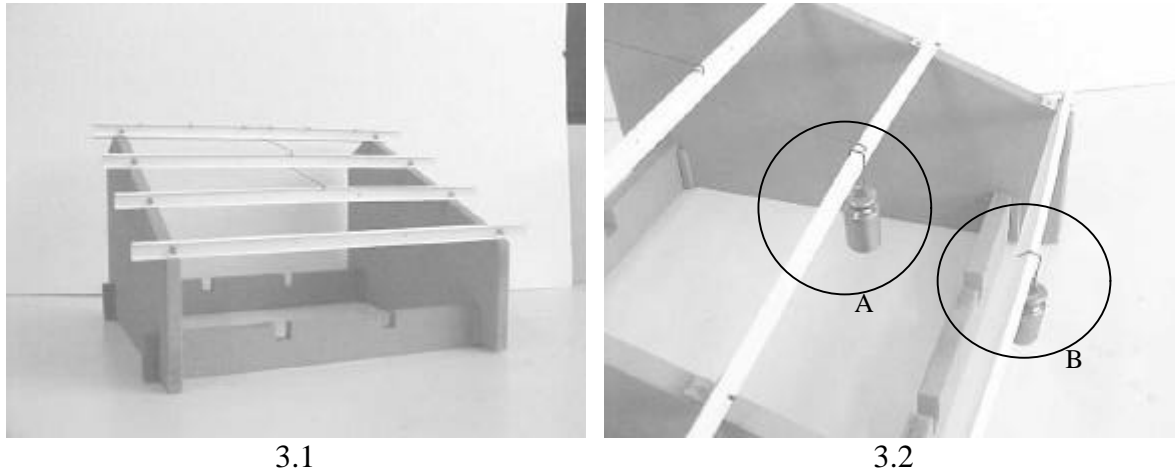


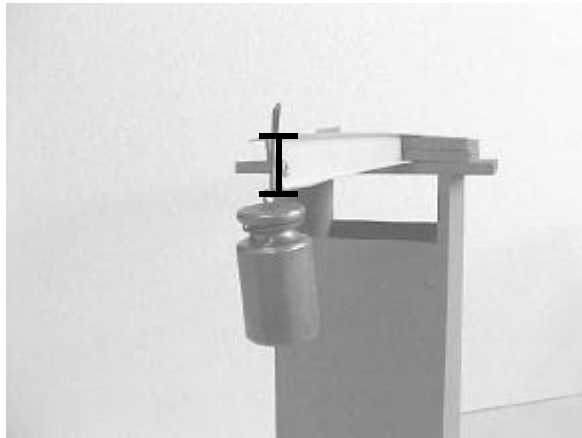
Figura 3 – Flambagem lateral de terças

## 2.4 Flambagem lateral de Vigas I

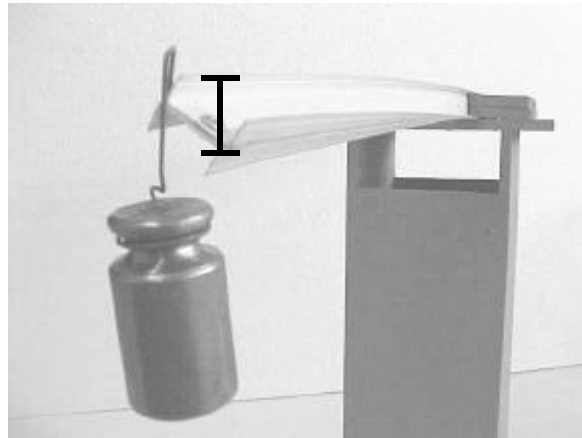
Este modelo é composto de uma viga construída através da união de dois perfis U de canaletas de PVC para conexões elétricas, tal como pode-se observar na Fig. 4. Um dos extremos da viga deve simular um engaste perfeito. A carga é aplicada no meio da seção, na sua mesa superior. A viga deve permitir que o seu comprimento possa ser mudado de maneira a visualizar que o comprimento é uma variável que influi no seu desempenho a flambagem lateral.

Observe-se nas Figuras 4.1 e 4.2 o comportamento da viga I à flambagem lateral. Na Fig. 4.2 a viga está com o duplo de comprimento em relação à viga da Fig. 4.1. Para melhor representar o comportamento, foram desenhados de maneira aproximada a seção da viga na sua posição sem carga.

Pode-se concluir intuitivamente que a viga com maior vão apresenta problemas de flexão e torção ao mesmo tempo. Lembre-se que este comportamento depende de duas variáveis principais: o comprimento da viga e sua menor inércia, ou seja a inércia em relação ao eixo vertical.



4.1



4.2

Figura 4 – Flambagem lateral de vigas

### 3. COMENTÁRIOS FINAIS

Com o objetivo de aprimorar a aprendizagem dos alunos nas disciplinas na área de estruturas, estão sendo construídos modelos qualitativos no LESE da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. Dentre dos modelos construídos apresentam-se três modelos que permitem observar qualitativamente os processos de flambagem e pórticos, terças, assim como o fenômeno de flambagem lateral de vigas I. Assim mesmo apresentou-se um modelo, já existente na literatura, porém com uma proposta de construção mais fácil de execução e mais econômica.

Os modelos aqui apresentados foram de grande valia para expor conceitos nas disciplinas da área de estruturas, em especial as disciplinas de Estruturas de Aço e Madeira e Sistemas Estruturais III, dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, respectivamente, da Universidade de Passo Fundo.

Se desejar reproduzir estes modelos, entre em contato com o primeiro autor, para receber plantas detalhadas dos modelos.

### REFERÊNCIAS

Santos, José Amaro. *Sobre a concepção, o projeto, a execução e a utilização de modelos físicos qualitativos na engenharia de estruturas*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

Schwark, Martin Paul. *Sugestões para um curso intuitivo de Teoria das Estruturas*, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1996.