

# MODELOS DIDÁTICOS DE SISTEMAS ESTRUTURAIS REDUZIDOS ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE PONTES DE MACARRÃO

**Salete Souza de Oliveira Buffoni<sup>1</sup> ; Renata Gonçalves Faisca<sup>2</sup> ;**

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia de Produção  
Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda  
Avenida dos Trabalhadores, 420  
27255-250 – Volta Redonda – Rio de Janeiro  
salete@vm.uff.br

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda  
Avenida dos Trabalhadores, 420  
27255-250 – Volta Redonda – Rio de Janeiro  
refaisca@vm.uff.br

**Resumo:** *A metodologia de ensino dos cursos de graduação vem sofrendo grandes transformações nos últimos anos. Cada vez mais, coordenadores e professores têm observado a falta de interesse dos alunos pelos tradicionais métodos expositivos adotados. O presente estudo caracterizou-se em buscar alternativas didáticas no ensino de resistência dos materiais, propiciando o melhor entendimento dos alunos ao se depararem pela primeira vez com alguns assuntos, dentre os quais se citam, tração, compressão, flexão, torção, entre outros. O presente trabalho busca encontrar modelos físicos presentes no dia-a-dia, capazes de transmitir os conceitos de resistência dos materiais, aplicando sobre eles esforços quaisquer, e analisando suas reações. Em cursos de engenharia, além da teoria exposta em sala de aula, os alunos mostram interesse em desenvolver atividades práticas utilizando suas características e habilidades. No caso de disciplinas que envolvam o ensino de Resistência dos Materiais, o professor pode apresentar a teoria e, ao mesmo tempo, apresentar o funcionamento prático de uma estrutura, por exemplo. O presente trabalho apresenta a construção de um modelo didático de uma ponte, utilizando-se macarrão e cola epóxi para montá-la. Analisam-se as propriedades mecânicas do macarrão, definem-se quantos macarrões serão necessários em cada viga evitando assim um super dimensionamento. A partir do estudo das propriedades mecânicas do macarrão se constrói uma ponte e se realiza o teste de carga na mesma, utilizando macarrão do tipo espaguete e colas epóxi e quente tipo silicone, aplicada com pistola.*

**Palavras-chave:** *Modelagem. Sistemas Estruturais. Análise dimensional. Ponte de Macarrão*

## 1. INTRODUÇÃO

Uma maneira de compreender melhor o comportamento de sistemas estruturais pode ser feita de forma qualitativa, através da observação das configurações reduzidas das estruturas, como exemplos se citam as configurações deformadas das estruturas que podem ser visualizadas através de modelos reduzidos de sistemas estruturais confeccionados com materiais flexíveis como o silicone, a borracha e o elástico.

A análise das estruturas feita com o auxílio de modelos que simulam os comportamentos sofridos pelos diversos elementos estruturais facilita a compreensão dos conceitos básicos de tração, compressão, flexão, flambagem e torção. Este trabalho tem por objetivo apresentar alguns aspectos dos projetos de modelos reduzidos que estão sendo desenvolvidos pelo grupo de pesquisa que estuda Modelos de Sistemas Estruturais Reduzidos na EEIMVR/UFF.

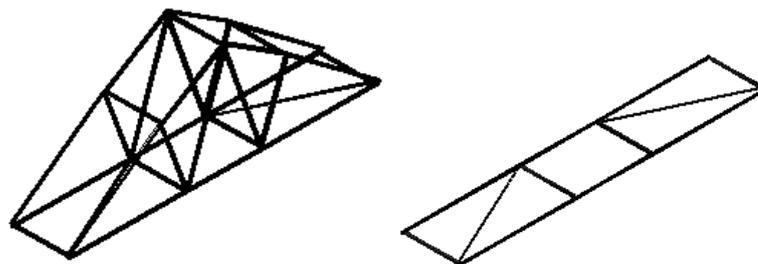
De acordo com Gornstein & Mascia (2006), Modelos de Sistemas Estruturais Reduzidos com Aplicação no Ensino de Resistência dos Materiais visa uma melhoria significativa no entendimento da mecânica dos materiais através da integração simples e direta do conhecimento teórico com aprendizado prático, que desperta o interesse do aluno para o mundo da pesquisa e do conhecimento aplicado.

Com base em experiências similares relatadas em outras instituições, o presente trabalho busca desenvolver as habilidades que permitam aos alunos aplicarem conhecimentos básicos de mecânica dos materiais para resolver problemas de engenharia, projetar sistemas estruturais simples, comunicar e justificar o projeto de forma oral e escrita e trabalhar em grupo para executar os projetos. (Didactic Games in Engineering Teaching - Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest, 2005).

O presente trabalho analisa as propriedades mecânicas do macarrão. Definem-se quantos macarrões serão necessários em cada viga evitando assim um super dimensionamento. A partir do estudo das propriedades mecânicas do macarrão se constrói uma ponte e se realiza o teste de carga na mesma, utilizando macarrão do tipo espaguete e colas epóxi quente tipo silicone, aplicada com pistola.

#### 1.1 Motivação para Realização do Trabalho

Surgiu a partir do desenvolvimento de um pequeno projeto de modelos reduzidos de pontes de macarrão que foi desenvolvido pelo grupo de Modelos de Sistemas Estruturais Reduzidos na EEIMVR/UFF, o objetivo principal do trabalho era mostrar que apesar do macarrão ser um material sensível, mas dimensionado em uma estrutura adequada suportaria grandes carregamentos, a ponte desenvolvida apresenta-se na Figura 1.a. Se construiu também uma estrutura com as mesmas dimensões do vão da ponte sem a estrutura treliçada como apresenta a Figura 1.b, utilizando macarrão do tipo espaguete e colas epóxi e quente tipo silicone, que não suportou grandes carregamentos e que se rompeu com um carregamento baixo.



a) Modelo da ponte de macarrão.      b) Ponte mais simples sem a estrutura treliçada.

Figura 1. Pontes desenvolvidas no Projeto.

Atualmente o projeto está em fases de ampliação para criação de modelos reduzidos mais detalhados e embasados na teoria da mecânica dos materiais.

Com o auxílio de pesquisas e experimentos realizados observou-se que a estrutura poderia ser otimizada, com a redução de fios de macarrão em algumas partes da estrutura que não sofriam grandes carregamentos.

## 2. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DO MACARRÃO

O macarrão tem um diâmetro médio  $D_m = 1.8 \times 10^{-3} m$ , área da seção transversal  $A = 2.545 \times 10^{-6} m^2$ , momento de inércia da seção  $I = 5.153 \times 10^{-13} m^4$ , peso linear  $3.937 \times 10^{-2} N/m$ , comprimento médio de cada fio  $l_m = 0.254 m$ . A Figura 2 apresenta um fio de macarrão.

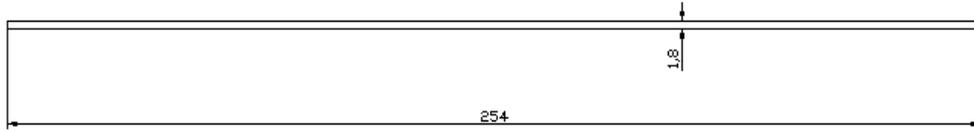


Figura 2. Macarrão

## 2.1 Ensaio de Tração e Compressão

O trabalho Didactic Games in Engineering Teaching - Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest, 2005 apresenta vários ensaios de tração e compressão e a partir desses ensaios surgiu a proposta para o dimensionamento dos elementos submetidos à tração e à compressão.

Nos ensaios de tração realizados em um fio de macarrão obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 1- Resultados dos ensaios de tração.( Didactic Games in Engineering Teaching - Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest, 2005)

Amostra	1	2	3	4	5	6	Carga Média(N)	Desvio Padrão(N)
Carga(N)	45	45	40	42	40	44	42.7	2.3

Para se obter o numero de fios utiliza-se a seguinte fórmula:

$$Numero\ de\ fios = \frac{CARGA(N)}{42.67(N)} \quad (1)$$

A partir dos resultados de ensaios de compressão realizados utilizando-se macarrão de tamanhos diferente, uma proposta para o cálculo do numero de espaguetes em cada elemento da ponte pode ser obtido através da seguinte expressão:

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

Esta sendo desenvolvido na EEIMVR/UFF com o apoio de especialista do IME ensaios em laboratórios mecânicos para se verificar as propriedades mecânicas do espagete, com a finalidade de adequar a realidade do nosso estudo.

## 3. ANÁLISE ESTRUTURAL

O comportamento de cada elemento que compõe uma ponte deve ser estudado a partir da escolha do modelo de estrutura utilizado. Com ajuda de um programa que simula pontes (west point bridge designer-2004) pode-se criar o modelo desejado e conhecer a que tipo de carregamento cada elemento está submetido.

### 3.1 Projeto Estrutural

A criação da estrutura foi baseada na ponte criada em um trabalho didático na EEIMVR/UFF. A Figura 3 apresenta de forma simples como seria a ponte real:

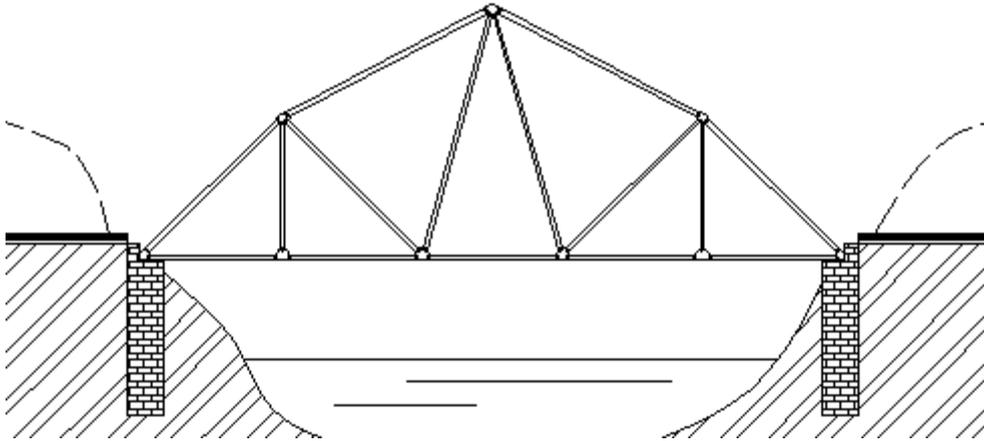


Figura 3. Projeto da ponte real.

### 3.2 Dimensionamento dos Elementos

Para definir um modelo reduzido, deve-se levar em conta a influência das dimensões sobre as propriedades físicas do modelo. Portanto, para representar um modelo estrutural existe um conjunto de parâmetros que o descrevem completamente. Por exemplo, para representar um pêndulo simples tem-se o comprimento  $L$ , a massa  $M$ , o período  $T$ , a frequência  $F$ , a aceleração da gravidade  $g$  que atua sobre o corpo suspenso, etc. Entretanto, nem todos os parâmetros são independentes entre si. O período, por exemplo, é função de  $L$  e  $g$ , porém a frequência é o inverso do período.

Para se determinar as constantes características independentes e sua relação com outros parâmetros utiliza-se a Análise Dimensional. Esta análise fundamenta-se no fato que às grandezas físicas estão associadas a determinadas dimensões de acordo com a escolha de uma base de grandezas fundamentais, como por exemplo, comprimento, massa e tempo para mecânica das estruturas.

Qualquer outra variável pode ser expressa em função das fundamentais. A escolha da base de grandezas fundamentais é função dos métodos de medida. A dimensão de uma variável fica determinada mediante a sua equação dimensional, que expressa a sua dependência em relação às grandezas fundamentais. Por exemplo, a equação dimensional de uma área  $A$  é, simplesmente,  $[A] = [L^2]$ , que expressa que a área é o quadrado de comprimento. Para a densidade tem-se a equação dimensional,  $[\rho] = [ML^{-3}]$ , ou seja, um comprimento pelo inverso do tempo.

Para o dimensionamento é necessário conhecer qual a dimensão real de cada elemento da ponte e qual será a dimensão reduzida. A Tabela 2 apresenta o tamanho real de cada viga e o seu valor no modelo reduzido, a Figura 5 apresenta de forma simplificada cada elemento da ponte.

A transformação do real para o reduzido nesse trabalho foi feita a partir do conhecimento da maior viga real relacionada com o maior fio de macarrão, conhecendo esses dois valores as outras vigas são calculadas a partir de uma regra de três simples a qual se obtém os valores da Tabela 2.

A carga aplicada na ponte será de 12 kgf, esse valor é o dobro da carga que a ponte de macarrão do trabalho desenvolvido na EEIMVR/UFF suportou. A Carga será aplicada no vão central da ponte

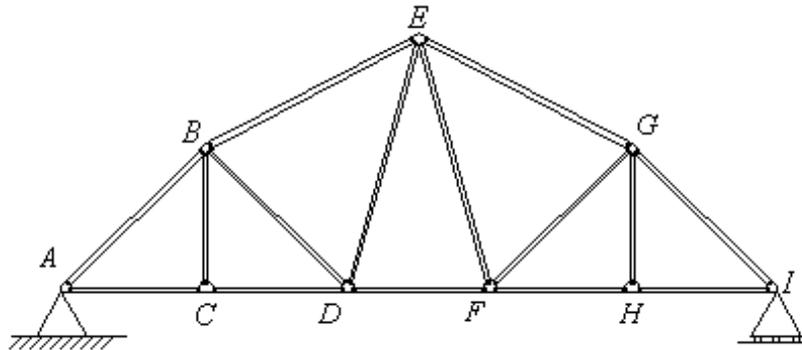


Figura 5. Treliça da ponte.

Tabela 2- Dimensão dos elementos.

Barra	Dimensão Real(m)	Dimensão reduzida(cm)
AB	5.7	19.307
AC	4.0	13.546
BC	4.0	13.546
CD	4.0	13.546
BE	6.8	23.029
BD	5.7	19.307
DE	7.5	25.400
DF	4.0	13.546
EF	7.5	25.400
EG	6.8	23.029
FG	5.7	19.307
FH	4.0	13.546
GH	4.0	13.546
GI	5.7	19.307
HI	4.0	13.546

#### 4. RESULTADOS

Com base nos dados obtidos através de pesquisa e cálculo chega-se ao seguinte resultado que se encontra na Tabela 3, observa-se que as barras que sofrem compressão necessitam de um número maior de fios e as barras que sofrem tração necessitam de um número menor de fios, com isso obteve-se a otimização da ponte de macarrão pois a primeira foi toda feita com vigas contendo 10 fios e agora vemos que não são necessário tantos.

Tabela 3 – Resultados

Barra	Comprimento (cm)	Carga(N)	Esforço (C/T)	Nº de Fios
AB	19.307	41.62	C	10
AC	13.546	29.43	T	2
BC	13.546	0	-	1
CD	13.546	29.43	T	2
BE	23.029	43.49	C	12
BD	19.307	12.68	T	2
DE	25.400	21.23	T	2
DF	13.546	32.70	T	2
EF	25.400	21,23	T	2
EG	23.029	43.49	C	12
FG	19.307	12.68	T	2
FH	13.546	29.43	T	2
GH	13.546	0	-	1
GI	19.307	41.62	C	10
HI	13.546	29.43	T	2

A Figura 6 mostra a comparação da ponte antiga com a nova ponte projetadas no AutoCAD, a diferença da espessura de algumas vigas é visível.

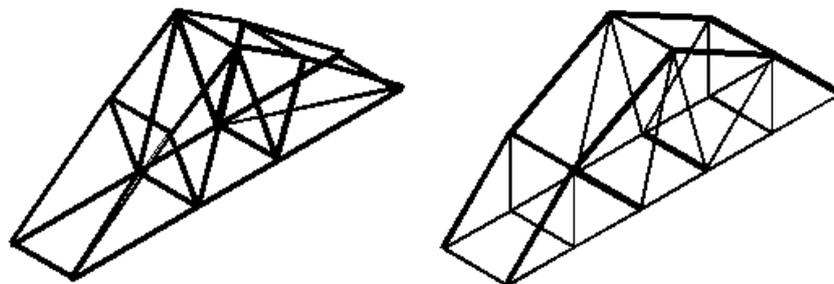


Figura 6. Ponte antiga comparada com a otimizada

## 5. CONCLUSÕES

O uso de modelos reduzidos na modelagem de sistemas estruturais, para o auxílio na compreensão do comportamento estrutural de seus elementos, mostra-se bastante eficiente, determinando de modo qualitativo a tendência do comportamento de vigas, colunas, cabos, arcos, treliças, lajes, cascas e membranas. Este procedimento possibilita a análise qualitativa do comportamento desses elementos estruturais básicos submetidos a carregamento, encontrados na prática. Esta pesquisa buscou encontrar modelos físicos presentes no dia-a-dia, capazes de transmitir os conceitos de resistência dos materiais, aplicando sobre eles esforços quaisquer, e analisando suas reações. Aliando a teoria com a prática, é possível obter um melhor resultado quanto ao entendimento da disciplina. Foi realizado um banco de dados de possíveis materiais a serem utilizados na confecção de modelos reduzidos. Dessa forma, pode-se partir para exemplos práticos, enriquecendo a aula e motivando o estudante de engenharia.

## 6. REFERÊNCIAS

BEER, F.P.; JOHNSTON, E.R. (1995). *Resistência dos Materiais*. 3º Ed., Makron Books.

CARNEIRO, L. (1996). *Análise dimensional e teoria da semelhança e dos modelos físicos*. Editora da UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

Didactic Games in Engineering Teaching - Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest, 2005

GERE, J. M. (2003). *Mecânica dos Materiais*. Editora Thomson Learning.

GORNSTEIN, R.; MASCIA, N. T. (2006). *Análise de modelos de estruturas com aplicação no ensino de resistência dos materiais*. XIV congresso interno de iniciação científica da UNICAMP. Faculdade de Engenharia civil, arquitetura e urbanismo - FEC, UNICAMP. São Paulo.

HIBBELER, R.C. (2000). *Resistência dos Materiais*. 3º Ed., Editora Livros Técnicos e Científicos.

VELOSO, L. A. C. M. (2006). Projeto do Laboratório didático de Engenharia Civil da UFPa, Belém, Pa.