

Trabalho da unidade curricular de Mecânica Aplicada I (1º ano)  
Inclui CONCURSO DE PONTES DE MADEIRA

Curso de Licenciatura em Engenharia Mecânica



Escola Superior de Tecnologia e de Gestão  
Instituto Politécnico de Bragança  
Campus de Santa Apolónia, ap. 1134  
5301-857 Bragança  
Portugal

## Índice

1. - Introdução .....	1
2. - Fases principais do trabalho .....	1
Referências: .....	3
Anexo 1 – Regulamento do prémio jular .....	4
Anexo 2 - Alguns exemplos de trabalhos realizados no ano de 2004. ....	6
Anexo 3 - Alguns exemplos de trabalhos realizados no ano de 2005. ....	8
Anexo 3 - Alguns exemplos de trabalhos realizados no ano de 2006. ....	10



## 1. - Introdução

O problema que se apresenta deve ser objecto de um estudo experimental, numérico e analítico, recorrendo à capacidade criativa para solucionar um problema de engenharia estrutural. Pretende-se construir uma ponte treliçada, num modelo de escala reduzido, capaz de suportar a maior carga concentrada a meio vão, com o menor peso próprio da estrutura. O objectivo deste trabalho é saber qual das soluções apresentadas possui maior relação capacidade de carga / peso e que ao mesmo tempo apresente uma boa solução arquitectónica.

O trabalho deverá ser estudado analiticamente, em função do carregamento a meio vão (fase 1), complementado com um estudo numérico, recorrendo ao método dos elementos finitos, programa ANSYS (fase 2) e finalmente, a construção do modelo à escala reduzida (fase 3), conforme regulamento do anexo 1.

O trabalho deverá ser entregue sob a forma de um relatório, com uma apresentação em poster, onde deverão constar as principais fases de projecto, incluindo fotografias do próprio modelo. É exigida a apresentação pública do trabalho em simultâneo com o ensaio de carga do modelo, em data a definir.

Os alunos poderão recorrer a qualquer uma das soluções treliçadas apresentadas na figura 1 ou eventualmente recorrer a outras formas de construção simples.

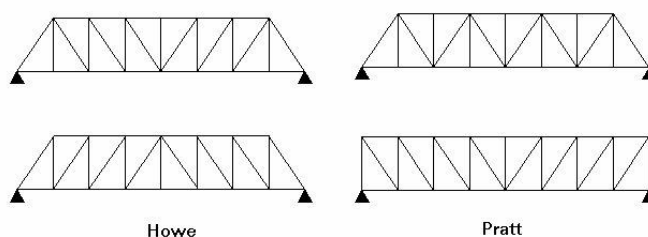


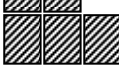


Figura 1: Estruturas tipicamente reticuladas.

## 2. - Fases principais do trabalho

Fase 1 (estudo analítico)- Tendo como base o documento regulamentar Europeu, Eurcódigo 5 (projecto de estruturas de madeira), deverá ser verificada a segurança em relação à resistência da secção (tracção e compressão) e a segurança do elemento em relação ao estado limite último de encurvadura por varejamento, conforme tabela nº1.

Tabela 1 – Propriedades da madeira de pinheiro bravo [1,2]. L representa o valor do comprimento entre nós.

Propriedades		Classe E		
Esforço à Tracção [N]		10.8 x Secção [mm <sup>2</sup> ]		
Esforço à Compressão [N]	[N]	[N]	[N]	
L [mm]	Caso 1	Caso 2	Caso 3	
10	1260.00	2520.0	3780.0	
100	1260.00	2520.0	3780.0	
145	1103.46	2520.0	3780.0	
200	946.91	2348.7	3523.0	
300	516.34	1764.0	2646.0	
400	305.42	1144.9	1717.3	
500	196.42	771.51	1157.3	
Módulo de Elasticidade [N/mm <sup>2</sup> ]		12000		
Valor médio paralelo ao fio $E_{0,05,médio}$				
Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]		580		
Valor médio $\rho_{médio}$				
Caso 1 (secção 10x7)				
Caso 2 (secção composta 10x14)				
Caso 3 (secção composta 10x21)				

Na figura 2, encontram-se representados os valores de projecto para verificação da segurança em relação aos elementos comprimidos. Este gráfico é alternativo aos valores da tabela anterior.

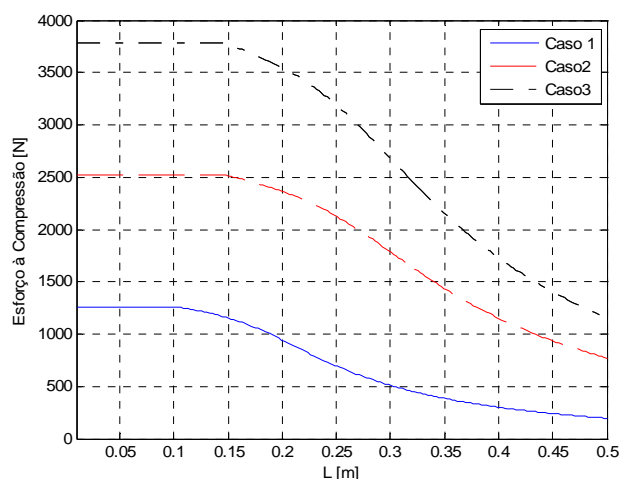


Figura 2: Curvas de projecto para os elementos comprimidos.

O aluno deverá calcular o valor do esforço normal em cada uma das barras, em função de uma carga genérica (Q) aplicada a meio vão. O valor máximo da carga é determinado em função do elemento mais crítico (tracção e compressão). Depois de determinar o valor da carga

resistente máxima, deverá determinar o valor da força em cada uma das barras.

Fase 2 (estudo numérico)- Tendo como base o valor da carga máxima determinado na fase 1, o aluno deverá analisar a estrutura numericamente e comparar os esforços obtidos com os determinados analiticamente.

Fase 3 (estudo experimental)- Com os materiais fornecidos, o aluno deverá proceder à construção do modelo à escala reduzida.

### **Referências:**

[1] – Norma Portuguesa NP 4305, 1995.

[2] – CEN, ENV 1995-1-1, Eurocode 5- Design of timber structures – Part 1-1: general rules and rules for buildings, Brussels, 1993.

## Anexo 1 – Regulamento do prémio Jular

### ARTIGO 1º - ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A ponte deverá ser constituída por elementos de barra em madeira, com secções rectas adequadas ao objectivo 10 [mm] x7 [mm].

### ARTIGO 2º - MATERIAIS A UTILIZAR

A ponte deverá ser constituída por um conjunto uniforme de materiais, no que diz respeito à constituição dos elementos estruturais e aos elementos de ligação. Assim, deverá recorrer a elementos estruturais de barra em madeira (fornecida pela ESTIG-IPB), e a elementos de ligação em material sólido (metal ou adesivo) ou viscoso (cola, fornecida pela ESTIG-IPB), consoante a solução desejada.

### ARTIGO 3º - ELEMENTOS DE LIGAÇÃO

Consoante o elemento de ligação a utilizar, deverá o promotor desta obra identificar os materiais necessários para que seja possível efectuar todo o processo construtivo, atempadamente. Poderá sempre efectuar testes comparativos para os elementos de ligação e afectar o mínimo de espaço com eventuais elementos secundários.

### ARTIGO 4º - CADERNO DE ENCARGOS

4.1- O promotor deverá construir uma estrutura capaz de vencer um vão de 1000 [mm], admitindo um comprimento máximo de 1300 [mm], sem exceder uma massa de 1000 [g], ver figura 1.

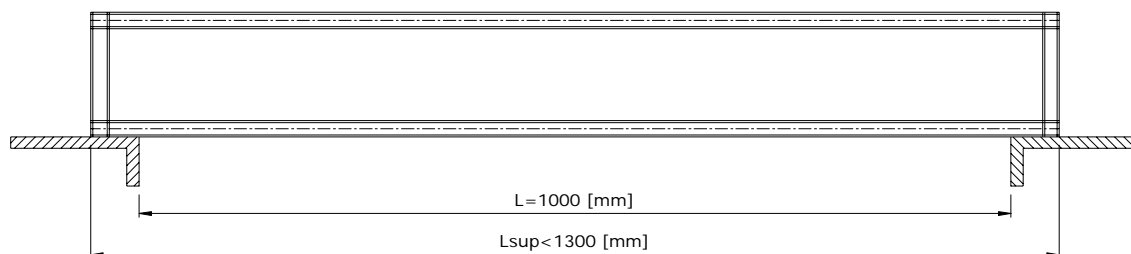


Figura 1 – Dimensões longitudinais para modelo e apoios.

- 4.2- A estrutura deverá possuir uma largura e altura mínima útil de 120 [mm], para que possa ser atravessada por um veículo com estas dimensões.
- 4.3- A meio vão da estrutura deverá existir um local para apoiar um sistema de suporte de carga, constituído por uma amarra em aço, conforme se representa no esboço da figura 2.
- 4.4- O apoio da estrutura deverá ser efectuado de uma forma simples, em duas mesas.
- 4.5- O modelo deverá ser apresentado com um tabuleiro de cartolina preta, com a sinalização horizontal adequada.



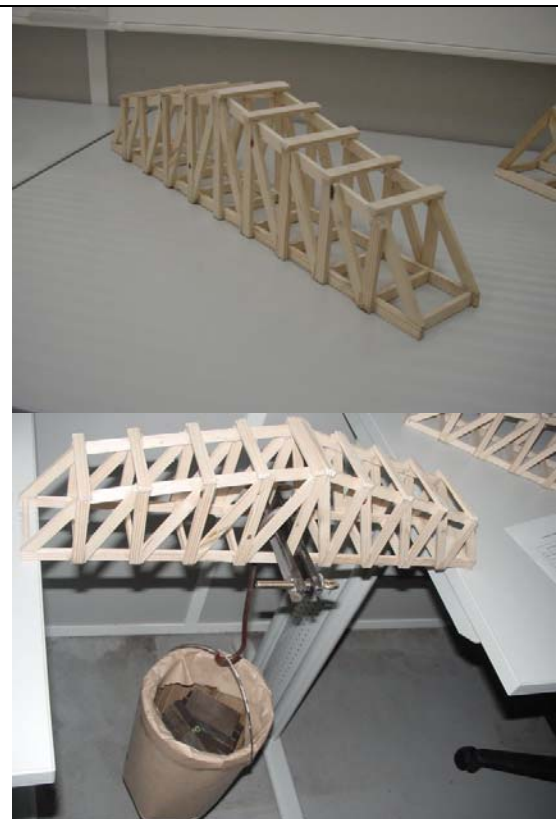
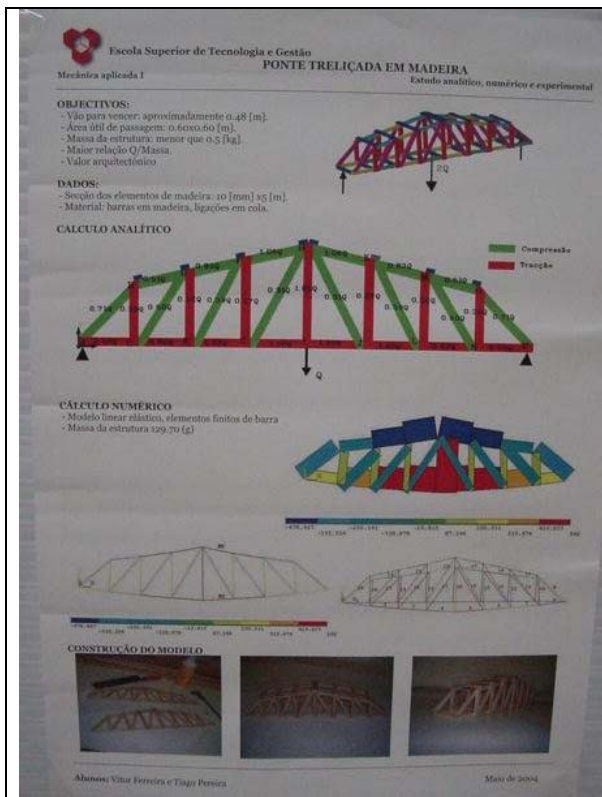
Figura 2 - Sistema de verificação do modelo de estrutura.

### ARTIGO 5º - AVALIAÇÃO FINAL

Todas as fases do trabalho serão objecto de avaliação. A estrutura será avaliada sob o ponto de vista arquitectónico e de engenharia. Relativamente ao segundo objectivo, será avaliado o valor do quociente carga máxima relativamente ao volume (peso) total da obra.



Anexo 2 - Alguns exemplos de trabalhos realizados no ano de 2004.



Poster

Estrutura e ensaio destrutivo



Ensaio destrutivo



Estrutura



## PONTE TRELICADA EM MADEIRA

Trabalho Laboratorial, analítico e numérico  
Mecânica Aplicada I

### DADOS E OBJECTIVOS

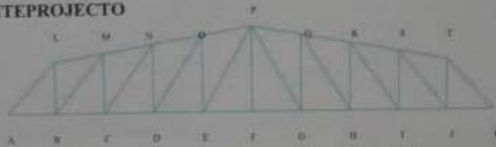
#### Dados:

- Secção rectangular de madeira: 10 [mm] x 5 [mm]
- Madeira de pinheiro larici

#### Objectivos:

- Verificar um eixo de 200 [mm]
- Área mínima (e) de passagem de 60 [mm] x 60 [mm]
- Massa da estrutura inferior a 9,5 [kg]
- Estrutura arquetípica
- Material: Q/Massa

### ANTEPROJECTO



### CÁLCULO ANALÍTICO

$F_{12}^x = F_{21}^x = 0,416Q$	$F_{12}^y = F_{21}^y = 0,268Q$	$F_{13}^x = F_{31}^x = 0,425Q$	$F_{13}^y = F_{31}^y = 0,475Q$	$F_{14}^x = F_{41}^x = 0,079Q$	$F_{14}^y = F_{41}^y = 0,103Q$
$F_{23}^x = F_{32}^x = 0,105Q$	$F_{23}^y = F_{32}^y = 0,010Q$	$F_{24}^x = F_{42}^x = 0,363Q$	$F_{24}^y = F_{42}^y = 0,083Q$	$F_{25}^x = F_{52}^x = 0,009Q$	$F_{25}^y = F_{52}^y = 0,084Q$
$F_{34}^x = F_{43}^x = 0,150Q$	$F_{34}^y = F_{43}^y = 0,133Q$	$F_{35}^x = F_{53}^x = 0,403Q$	$F_{35}^y = F_{53}^y = 0,071Q$	$F_{36}^x = F_{63}^x = 0,090Q$	$F_{36}^y = F_{63}^y = 0,219Q$

### CÁLCULO NUMÉRICO

#### Modelo:

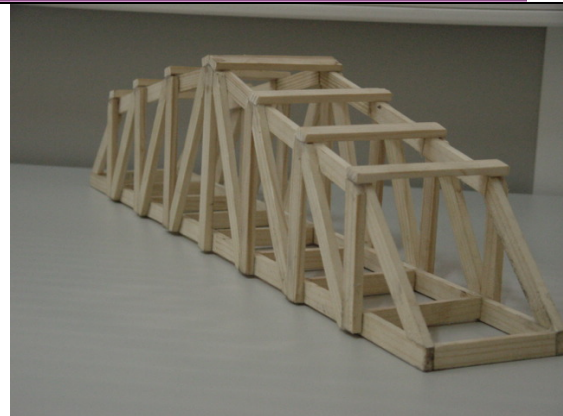
- Elementos finitos de barra
- Material de acordo com Eurocódigo 5



#### Resultados:

- Verifica o estado limite último
- Massa da estrutura = 100 [kg]

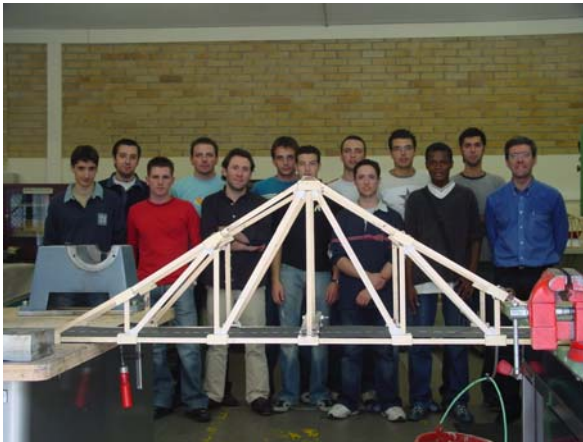
### EXECUÇÃO DO MODELO



Poster

Estrutura e ensaio destrutivo

**Anexo 3 - Alguns exemplos de trabalhos realizados no ano de 2005.**



Estrutura e ensaio destrutivo



Estrutura e ensaio destrutivo



Estrutura e ensaio destrutivo



Estrutura e ensaio destrutivo



Estrutura e ensaio destrutivo



Estrutura e ensaio destrutivo

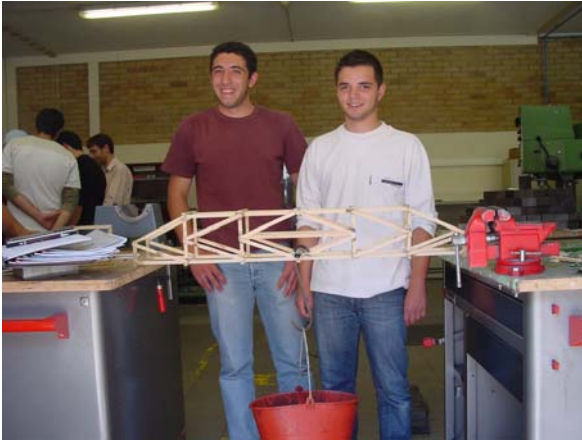




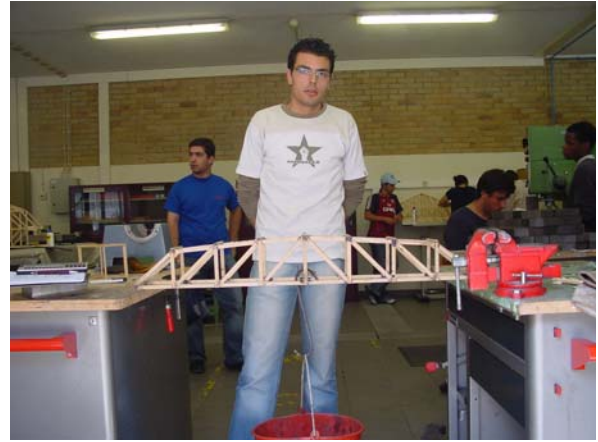
Estrutura e ensaio destrutivo



Estrutura e ensaio destrutivo



Estrutura e ensaio destrutivo



Estrutura e ensaio destrutivo

**Anexo 3 - Alguns exemplos de trabalhos realizados no ano de 2006.**

			
Apresentação dos trabalhos		Entrega do prémio JULAR 05-06	
			
Estrutura e ensaio destrutivo	Estrutura e ensaio destrutivo	Estrutura e ensaio destrutivo	Estrutura e ensaio destrutivo
			
Estrutura e ensaio destrutivo	Estrutura e ensaio destrutivo	Estrutura e ensaio destrutivo	Sessão de "poster"