

# Concurso de Pontes de Esparguete: Engenho e Criatividade

Anna Guerman\*, Pedro Dinis Gaspar\*, Paulo Fael\*, Carlos Fernandes\*,  
António Espírito Santo\*, Bruno Ribeiro\*, Fernando Santos\*

Departamento de Engenharia Electromecânica

Universidade da Beira Interior

Rua Fonte do Lameiro – Edifício 1 das Engenharias, 6201-001 Covilhã

Telf: +351 275 329 925; fax: +351 275 329 972

*Em memória de Eng. Humberto Santos*

**Resumo** — O principal objectivo do concurso de Pontes de Esparguete promovido pelos Departamentos de Engenharia Electromecânica e de Engenharia Civil é incentivar as capacidades criativas dos alunos aplicando os conhecimentos adquiridos no projecto de uma ponte executada com um material tão comum como o esparguete. Este evento visa aumentar o interesse dos alunos pela criatividade/investigação e pela procura de soluções engenhosas para os problemas propostos. Trata-se de um concurso já com nove edições, tendo sido o precursor em Portugal de eventos similares promovidos por outras instituições de Ensino Superior, Secundário e Básico.

Neste artigo é apresentada a evolução do evento desde a sua génese, tanto ao nível das soluções encontradas pelos alunos para consecutivamente quebrarem os recordes de resistência, como pela motivação demonstrada na participação neste tipo de concursos didácticos destinados ao ensino da engenharia.

## Dedicatória

O presente artigo é dedicado à memória do nosso colega Eng. Humberto Santos, o fundador do evento "Pontes de Esparguete" na Universidade da Beira Interior, que com imenso entusiasmo e dedicação fez com que este tipo de concurso pedagógico, que conta já com nove edições, fosse pioneiro em Portugal, para além de se tornar num elemento diferenciador da motivação de alunos face à prática pedagógica criativa que envolve. A ele, o nosso obrigado.

## 1. Introdução

A integração do sistema de ensino superior português numa estrutura internacional criada pelo acordo de Bolonha implica um crescimento da eficácia do ensino. Por um lado, a duração do curso de licenciatura em três anos, comparado com cinco anos numa estrutura pré-Bolonha, resulta numa maior concentração de conteúdos programáticos em várias disciplinas. O maior impacto sente-se nas disciplinas dos primeiros anos, pois deixam de possuir um cariz introdutório e tornam-se muito mais intensivas. Porém, estas mudanças não devem resultar na perda de qualidade do ensino.

Paralelamente, as faculdades de engenharia das universidades na actualidade encaram uma crise geral de vocações. Para além do número de candidatos ao ensino superior ter vindo a decrescer, estes por vezes evitam os cursos de engenharia, pela dificuldade aparente que hoje se encontra associada à matemática e à física. Há então uma maior necessidade de motivar, estimular e incentivar os alunos de vários níveis de ensino para os estudos de Engenharia. Aliado a este propósito, está também a necessidade de apresentar aos alunos exemplos práticos e didácticos dos conceitos fornecidos ao longo de várias unidades curriculares, com o intuito de demonstrar a aplicabilidade do cálculo estrutural dada a dificuldade na compreensão e conciliação dos fenómenos físicos envolvidos com a aplicação matemática desses conceitos [1-7]. Para tal, recorreu-se uma prática pedagógica criativa que reside num concurso didáctico destinado abordar o dimensionamento e construção de estruturas simples, como complemento às aulas presenciais e ao estudo individual.

## 2. Concurso "Pontes de Esparguete"

No sentido de atingir os objectivos acima citados, em 2001 o Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior foi precursor do Concurso de Pontes em Esparguete em Portugal.

Tratando-se de um evento que a nível internacional apresentava já bons resultados ao estímulo dos alunos de engenharia no dimensionamento, construção e teste de estruturas, decidiu-se seguir os passos de algumas instituições de ensino superior estrangeiras na elaboração

de um evento anual desta natureza visando aumentar o interesse dos alunos pela criatividade/investigação e pela procura de soluções engenhosas.

O concurso "Pontes de Esparguete" consiste na idealização e concepção de uma ponte em treliça recorrendo a um material vulgar e de baixo custo como o esparguete e tem como principal objectivo despertar as capacidades criativas e de investigação na procura de soluções engenhosas por parte dos alunos.

O evento é constituído por duas categorias a concurso: "Resistência" e "Estética". O objectivo das pontes concorrentes à categoria "Resistência" é construir uma ponte que suporte a maior carga possível. O objectivo das pontes concorrentes à categoria "Estética" é construir uma ponte que cumpra este regulamento e seja arquitectonicamente agradável. Com o sucesso e resultados obtidos, alcançou grande notoriedade que levou várias instituições portuguesas de Ensino Superior a realizarem eventos da mesma natureza, entre as quais o Instituto Politécnico de Portalegre – IPP (desde 2004), o Instituto Politécnico de Leiria – IPL (desde 2005), a Universidade do Algarve – UALG (desde 2006), o Instituto Politécnico de Viseu – IPV (em 2007), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – UTAD (em 2007), a Faculdade de Engenharia do Porto – FEUP (desde 2008) e o Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa– ISCTE (desde 2008). Também algumas instituições do ensino secundário e básico têm aderido a tipo de evento, tais como a Escola Secundária Amato Lusitano, Escola Secundária de Vouzela, Básica 2,3 de S. Vicente, Vila do Bispo, Secundária Gil Eanes de Lagos; Básica 2,3 de Aljezur, Escola Básica de Santa Maria, entre outras.

O passo inicial consiste no desenho e dimensionamento da ponte que deverá ser uma treliça, como as apresentadas na Figura 1 ou um outro tipo projectado pelo aluno, onde todas as barras estarão à tracção ou à compressão. Os pontos de união das várias barras (nós) serão considerados rotulados (sem flexão). Deve-se ter em conta o facto de o esparguete ter uma boa resistência à tracção mas perde estabilidade com facilidade quando solicitado à compressão, conforme exemplificado na Tabela I que contém os valores médios típicos destas grandezas para o esparguete [9]. Esta instabilidade (dada pela equação de Euler) obriga a que as barras à compressão tenham um comprimento,  $L$ , o menor possível e uma espessura (proporcional a  $I^{1/4}$ ) bastante elevada, consumindo bastante esparguete.

O cálculo do valor da carga em cada barra, pode ser calculado por qualquer método, nomeadamente pelo equilíbrio dos nós [8], fazendo uso de programas simples *freeware* para análise da distribuição dos esforços internos tais como FTool [9], West Point Bridge Designer [11], MDSolids [12] ou Arcade [13], ou então fazendo uso de plataformas CAE (*Computer Aided Engineering*) como seja o COSMOSWorks, software de análise de projecto integrado no SolidWorks, já que os alunos começam no 1º ano de licenciatura em Engenharia a tomar contacto com este software, embora numa vertente de desenho assistido por computador (CAD - *Computer Aided Design*). Este software utiliza o Método dos Elementos Finitos (FEM - *Finite Elements Method*) para a análise (estática, dinâmica, cinética, de fadiga, de vibrações, térmica entre outras), optimização e revisão de projectos.

TABELA I  
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ESPARGUETE [9].

Grandeza	Sigla	Unidade	Valor	
Diâmetro externo médio	$D_e$	mm	2.6	
Diâmetro interno médio	$D_i$	mm	0.8	
Área	$A$	m <sup>2</sup>	4.807×10 <sup>-6</sup>	
Momento de inércia	$I$	m <sup>4</sup>	2.223×10 <sup>-12</sup>	
Peso linear	$P$	N/m	7.108×10 <sup>-2</sup>	
Comprimento	$L$	mm	254	
Módulo de Young à tracção (8 fios de esparguete)		MPa	388	
Raio de giração (1 fio de esparguete) (2 fios de esparguetes)	$i$	mm	0.68	
		mm	1.47	
Força de encurvadura (função do comprimento, $L$ )			$L$ [mm]	
			50	200
1 fio de esparguete	$F$	N	7.6	0.74
10 fios de esparguete	$F$	N	124.10	15.62

Na presente edição do Concurso Humberto Santos "Pontes de Esparguete", 9ª edição, irá decorrer uma nova iniciativa: o Concurso "Torres de Esparguete". O intuito deste concurso reside na construção de uma torre de esparguete, o mais alta possível em que a sua estabilidade seja garantida, por equipas de três elementos num período de duas horas.

### 3. Regulamento Técnico

Com o intuito de garantir a uniformidade das variáveis que regem este tipo de estruturas durante o concurso, foi estabelecido um regulamento que abarca a construção e ensaio das pontes em esparguete.

Sucintamente, a competição especifica os seguintes aspectos para a construção da ponte:

a) A ponte deverá ser executada recorrendo apenas ao esparquete comercial, excluindo-se, portanto, o uso de outro tipo de massa. Não é permitido o uso de massa feita em casa. O esparquete não pode ser modificado para o tornar mais forte. O uso de tinta, cola ou outro tipo de material para aumentar a resistência do esparquete não é permitido.

b) O comprimento mínimo das barras de esparquete é de 50 mm. Só é permitido a aplicação de cola em uniões de barras.

A cola a utilizar será cola térmica, aplicada com pistola, podendo ser usada qualquer marca ou variedade (sugere-se que sejam experimentados vários tipos de cola para determinar qual serve melhor os objectivos) e aplicada até ao máximo de 10 mm a partir das uniões do esparquete.

c) A ponte deverá ter um comprimento que permita o assentamento num vão de 400 mm.

d) O peso da estrutura total não poderá, em caso algum, ultrapassar os 350 gramas.

e) O apoio das pontes deverá ser apenas efectuado no plano horizontal superior das superfícies do vão superior, não sendo permitido qualquer apoio complementar nas superfícies laterais verticais.

f) Deverá existir no centro da estrutura um espaço para colocar uma placa de aço de  $5 \times 55 \times 105$  mm (espessura  $\times$  largura  $\times$  comprimento) onde será colocado um gancho para pendurar as cargas. O suporte será colocado de forma a que o lado de 105 mm fique perpendicular ao vão da ponte.

Para o ensaio de carga, o concurso estipula os seguintes aspectos para as categorias de “Resistência” e “Estética”:

a) As pontes concorrentes à categoria de “Estética” deverão poder suportar uma carga de 1,0 kg durante 5 segundos para poderem ser aceites a concurso.

b) As pontes serão testadas, colocando a estrutura sobre um vão de 400 mm. Serão suspensos pesos no gancho colocado no pedaço de aço montado no centro da ponte, até que se dê o colapso da estrutura. De início serão logo colocados 5 kg de peso como carga inicial. Os pesos seguintes serão colocados progressivamente devendo a estrutura aguentar o peso pelo menos durante 5 segundos até ser colocado um novo. O valor da carga suportada será aquela anterior ao colapso da estrutura. Será verificado pelo júri antes de calcular a carga se a estrutura interna da ponte não foi adulterada.

A nova categoria “Torres de Esparguete”, também tem um regulamento próprio. Resumidamente, faz uso de vários itens do regulamento geral, ao que acrescenta:

a) Cada elemento da torre é constituído por um único esparquete;

b) Distância mínima entre nós da estrutura da torre de esparquete: 50 mm;

c) Extensão máxima de cola em torno dos nós da estrutura da torre de esparquete: 10 mm;

d) Peso máximo da torre de esparquete: 100 gramas;

e) A torre de esparquete tem que ser estável para ser habilitada aos prémios do concurso.

A classificação nas categorias do concurso é definida por:

a) Na categoria “Resistência” a classificação será ordenada pelo valor decrescente da carga suportada antes do colapso.

b) O prémio para a melhor ponte na categoria “Resistência”, elaborada por um aluno inscrito na disciplina de Mecânica Aplicada no presente ano lectivo implicará uma bonificação de 2 valores na sua nota final. Todos os outros terão uma nota correspondente à seguinte fórmula:  $N = 2 \times m_{\text{carga}}/\text{max}$ , onde ‘ $m_{\text{carga}}$ ’ é a carga suportada pela sua ponte e ‘ $\text{max}$ ’ é a carga suportada pela melhor ponte de um aluno de Mecânica Aplicada. Quando inscritos em grupo, a bonificação será dividida por dois. No caso de concorrer com mais de uma ponte a bonificação atribuída será a melhor das obtidas.

c) As pontes concorrentes à categoria de “Estética”, verificada a capacidade para suportar a carga estipulada e admitidas a concurso, serão analisadas pelo júri que lhes atribuirá uma classificação baseada na observância dos seguintes critérios: Estética (50% da pontuação); Funcionalidade (25% da pontuação) e Exequibilidade (25% da pontuação).

#### 4. Organização do Evento

Um dos grandes objectivos deste concurso é envolver um grande número dos alunos e público em geral em participação neste concurso. Tal participação pode ser feita em várias formas: construir a ponte; fazer parte do público ou simplesmente seguir a competição pela Internet. Foi então dada uma especial atenção para criação de um ambiente de espectáculo a volta dos testes das pontes na categoria “Resistência” e da definição dos vencedores na versão “Estética”.

Com apoio dos patrocinadores, o principal dos quais é a própria Universidade da Beira Interior, são oferecidos três prémios monetários em cada versão do concurso. Os prémios nas categorias “Estética” são atribuídos e entregues no meio dos testes do concurso da “Resistência”. Sempre que o orçamento o permite, oferece-se um “Prémio do Público” atribuído através de uma votação directa entre os presentes na sala.

No sentido de fomentar o interesse da plateia e despoletar o seu entusiasmo durante o concurso, todo o desenrolar do ensaio é monitorizado e projectado numa tela, proporcionando assim, a todos os espectadores uma evolução mais pormenorizada dos fenómenos envolvidos no ensaio.

O sistema de ensaio é constituído por uma célula de carga presa entre a estrutura e um balde que vai sendo enchido com cargas crescentes de chumbo pelos participantes a concurso, sendo a ponte colocada entre dois apoios à distância de 400 mm. As pontes atingem o colapso a partir de determinada carga, sendo este o valor adquirido pelo sistema de aquisição de dados.

Nesta edição do evento, 2009, é integrado um novo sistema de aquisição de dados, com uma escala máxima superior e com um condicionamento de sinal que proporciona leituras mais precisas na carga dos ensaios.

Adicionalmente, é também utilizado um novo sistema de carregamento (ver Figura 2), que embora mantenha o mesmo princípio de carregamento com o intuito de manter a audiência entusiasmada durante os ensaios, reduz a influência de esforços laterais e internos e de

esforços pulsantes originários do tipo, forma e velocidade de carregamento do balde.

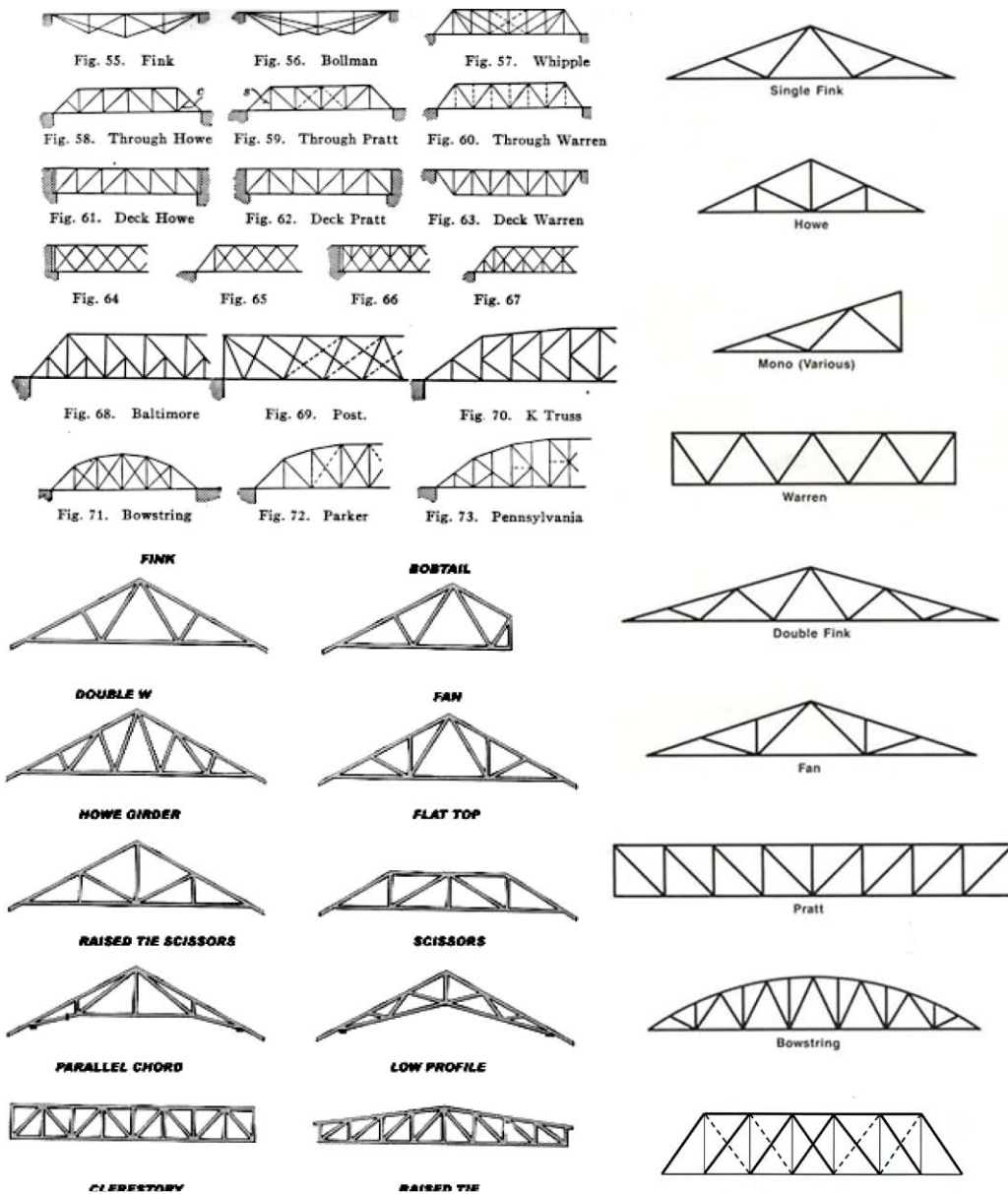


Fig. 1. Tipos de treliças.

## 5. Resultados

Desde 2001 assiste-se a uma tendência crescente de número de alunos participantes no concurso, o que indica a motivação que este desperta nos alunos. É de notar que muitas vezes um aluno começa a sua participação neste evento com uma ponte feita “por cima de joelho”, mas nas edições seguintes apresenta já as soluções bem pensadas, calculadas e testadas, chegando, em alguns casos, a resultados completamente espetaculosos.

Na Figura 3 são apresentadas algumas das pontes vencedoras do concurso enquanto que na Tabela II é apresentada a evolução da carga máxima suportada nas sucessivas edições do evento desde a sua génese.

Conforme verificado na Tabela II, a carga máxima suportada vem continuamente a ser ultrapassada, tendo o valor obtido em 2008 sido o valor máximo nacional conseguido para qualquer evento do género em outras instituições de ensino portuguesas.

A contínua superação do valor máximo de carga suportada deve-se: a) à experiência adquirida pelos alunos e pela própria instituição na sucessivas edições do evento;

b) desenho e dimensionamento mais preciso das pontes; c) aperfeiçoamento das técnicas de construção; d) escolha de fios de esparquete com melhor desempenho mecânico, entre outros.

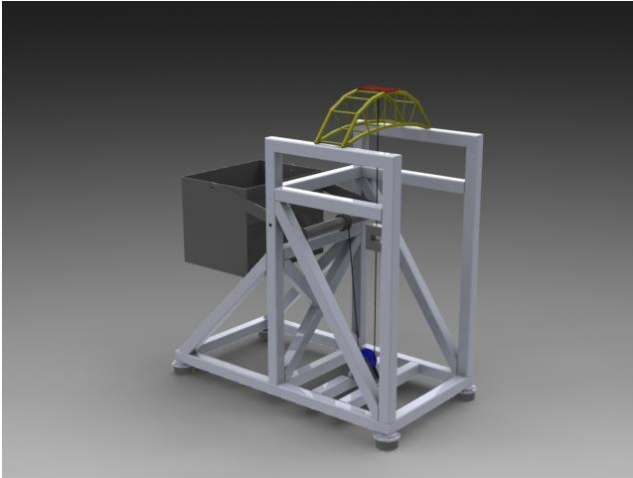


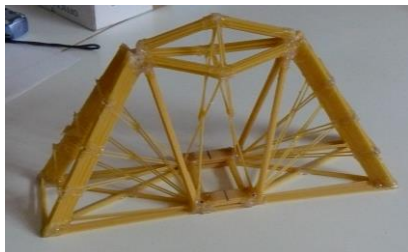
Fig. 2. Sistema de carregamento das pontes - 9ª edição (autoria: Filipe Casimiro).



a) Carga Máxima: 30,27 kg (3ª edição - 2003).



b) Carga Máxima: 58,80 kg (7ª edição - 2007).



c) Carga Máxima: 88,40 kg (8ª edição - 2008).

Fig. 3. Pontes vencedoras do concurso de resistência.

TABELA II  
EVOLUÇÃO DA CARGA MÁXIMA SUPORTADA NAS EDIÇÕES DO EVENTO.

Ano	Carga máxima [kg]
2001	10,16
2002	28,73
2003	30,27
2004	35,22
2005	45,8
2006	45,8
2007	58,8
2008	88,4
2009	????

Nota-se que a curva dos resultados alcançados tem crescido bastante rapidamente. Assumindo uma linha de tendência exponencial da evolução da carga máxima com as edições do evento conforme apresentado na Figura 4, prevê-se que em 2009 o valor máximo seja novamente suplantado, atingindo uma carga máxima que rondará os 110 kg. Claro que este valor é apenas uma mera suposição, não levando em consideração nem os limites naturais da resistência destas estruturas relacionadas, por exemplo, com as questões mecânicas relativas à tensão de cedência do esparquete, nem os efeitos da “mudança da geração”, quando os participantes mais experientes acabam os seus estudos e deixam de participar no concurso, dando lugar aos alunos mais novos.

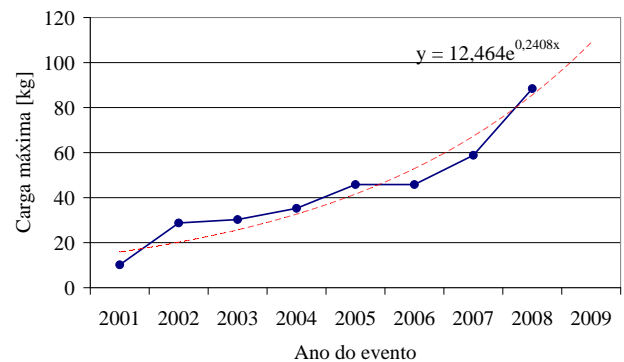


Fig. 4. Previsão da carga máxima para a 9ª edição (2009) do evento.

Entretanto, quer seja batido mais uma vez o recorde quer não, o principal resultado positivo do Concurso “Pontes de Esparguete” atinge-se em cada edição, sendo este o crescente interesse pelas actividades e soluções criativas da Engenharia em todos os que participam neste evento.

## 5. Conclusões

A realização deste tipo de eventos que congregam competição, desportividade, criatividade e engenharia torna-se cada vez mais uma ferramenta de ensino com muito bons resultados ao nível da aprendizagem e aplicação de conceitos, face ao estímulo e entusiasmo que

despoleta, quer aos professores, quer aos alunos de cursos de Engenharia, Design e Arquitectura.

Ao longo das 8 edições do evento tem sido constatada a evolução da resistência das pontes construídas pelos alunos, cuja motivação no evento os leva a maior dedicação e interesse em conceitos de unidades curriculares mais avançadas dos seus cursos de Engenharia.

Esta forma de praticar Engenharia provou ser uma valiosa ferramenta de ensino, permitindo o reforço de diversos conceitos chave leccionados no decorrer das aulas. Sendo a aplicação prática muito importante nos cursos de engenharia mas também com grande necessidade de recursos, esta abordagem provou ser muito motivante e estimulante para os alunos, permitindo também um exercício de controlo de tempo e custos no desenvolvimento de projectos práticos.

### Agradecimentos

Agradecemos os patrocinadores habituais dos nossos Concursos "Pontes de Esparguete": a Universidade da Beira Interior, a Caixa Geral de Depósitos e a Empresa "Eurobit".

O nosso agradecimento é também para todos os participantes em 9 edições do Concurso pela sua dedicação, engenho e os resultados espectaculares.

### Referências

[1] A. Guerman, H. Santos e C. Fernandes, "Ensino da "Mecânica Aplicada" na Universidade da Beira Interior: Experiência de e-Learning," in *Proc. CIBEM6 – 6º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica*, 16-18 de Outubro 2003, Coimbra, Portugal. pp. 417 - 422.

- [2] A. Guerman, H. Santos, P. D. Gaspar, A. Espírito Santo e C. Santos, "Exercícios acompanhados: conjunto inovador de funcionalidades de plataformas de e-learning," in *Proc. Engenharia'2003 - Inovação e Desenvolvimento*, Covilhã, 5-7 de Nov. de 2003.
- [3] A. Guerman e H. Santos, "Web-based support for teaching of Applied Mechanics," in *Proc. SEFI (Société Européenne pour la Formation des Ingénieurs) 2004 Annual Congress*, September 8-10, 2004, Valencia, Spain.
- [4] A. Guerman, H. Santos e C. Santos, "Use of e-learning platform for teaching Applied Mechanics," in *Proc. 3rd ASEE International Colloquium on Engineering Education*, September 7-10, 2004, Beijing, P.R. China.
- [5] A. Guerman, H. Santos, P.D. Gaspar, A. Espírito Santo e C. Santos, "Módulo de gestão e resolução de exercícios: tutoria on-line," in *Proc. Conferência eLES '04 – eLearning no Ensino Superior*, Aveiro, Outubro, 2004.
- [6] H. Santos, A. Guerman e C. Fernandes, "O uso da Internet no ensino da Engenharia," in *Proc. de IIIº Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*, Maputo, 19-21 de Agosto, 2003, pp. 43 – 52.
- [7] H. Santos, R. Costa, A. Guerman, C. Santos, A. Espírito Santo e M.C. Lopes, "Plataforma SAMURAI – Um Ambiente de Apoio ao Ensino Universitário," in *Proc. Conferência eLES '04 – eLearning no Ensino Superior*, Aveiro, Outubro, 2004.
- [8] F.P. Beer e E.R. Johnson. *Mecânica Vectorial para Engenheiros*. Vol.1, 2, 6ª Ed., McGraw-Hill, 1998.
- [9] H.C. Biscaia e L.B. Pinto, "Concursos didácticos no ensino da Engenharia: construção de estruturas e dimensionamento de pontes em esparguete", in *Proc. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia*, Maputo, Moçambique, Setembro, 2008.
- [10] L.F. Martha, Programa Gráfico-Interativo para Ensino de Comportamento de Estruturas, <http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftool>, 2002.
- [11] United States Military Academy, <http://bridgecontest.usma.edu/>, West Point Bridge Designer, Version 10.0.0, 2007.
- [12] Craig Jr. R.R., *Mechanics of Materials*, 2nd Edition, 2000.
- [13] K. Martini, Arcade - Interactive Non-linear Structural Analysis and Animation, Version 4.2, 2007.
- [14] L.A.S. González, Inácio B. Morsch, J.R. Masuero, "Didactic games in engineering teaching - case: spaghetti bridges design and building contest", in *Proc. COBEM 2005, 18th International Congress of Mechanical Engineering*, Ouro Preto, MG, November, 2005.