

- ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA

SIMULAÇÃO NUMÉRICA EM SALA DE AULA

João Roberto Barbosa

Cleverson Bringhenti

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, Departamento de Energia, e-mail: barbosa@mec.ita.cta.br

12.228-901 São José dos Campos - SP - Brasil

Resumo

Este trabalho trata da simulação numérica de turbinas a gás em sala de aula. O objetivo é mostrar aos alunos as soluções de problemas mais complexos do que os tradicionalmente abordados. Para isso, foi desenvolvido um programa em linguagem FORTRAN, capaz de simular o desempenho de turbinas a gás em regime permanente, tanto no ponto de projeto como fora dele. Um exemplo típico de cálculos complexos é o de desempenho de turbinas aeronáuticas. Essa simulação é feita para se saber como ela irá operar e também para diminuir custos elevados de ensaios. O aluno pode, então, simular o funcionamento do motor em todos os pontos do envelope de vôo e verificar se a turbina irá operar adequadamente. Problemas desse tipo nunca poderiam ser tratados pelos alunos sem os recursos computacionais adequados. Um exemplo de aplicação feito em aula é apresentado.

Palavras-chave: Turbinas, Turbinas a gás, Desempenho, Simulação numérica

1. INTRODUÇÃO

O cálculo de desempenho de turbinas a gás é complexo. Por esse motivo, o ensino tradicional de engenharia somente aborda soluções de problemas mais simplificados em sala de aula. Cálculos mais complexos são apenas apresentados aos alunos a título de conhecimento. Dessa forma muitas passagens importantes para a completa elucidação da técnica utilizada são omitidas, em decorrência da falta de tempo. Problemas de engenharia apresentam diversas soluções e em decorrência da complexidade dos cálculos a solução otimizada não é, geralmente, abordada.

Em turbinas a gás a grande quantidade de cálculos não só inviabiliza o tratamento aprofundado do assunto como desanima o estudante, mesmo que haja tempo disponível, pois existe uma série de critérios de convergência das variáveis que tornam o cálculo manual exaustivo, se não impossível. É neste contexto que a simulação numérica em sala de aula objeto deste trabalho vem a auxiliar o aluno. Os recursos computacionais aceleram os cálculos, eliminando assim essa barreira existente tanto em aula como em laboratório. Com isso, o Professor trata da teoria que subsidia o projeto e dos parâmetros que influenciam significativamente no desempenho das turbinas a gás, fazendo afirmações a respeito do motor. Todas as afirmações podem ser

imediatamente conferidas pelos alunos, utilizando programas de computador apropriados.

A simulação numérica de desempenho de motores de combustão interna em geral, e de turbinas a gás em particular, operando tanto no ponto de projeto como fora dele, está sendo estudada no Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. Como parte deste estudo foram desenvolvidos programas de computador em linguagens C++ (Monteiro, 1999) e FORTRAN (Barbosa e Bringhenti, 1999). Para o cálculo do desempenho de uma turbina a gás requerem-se a descrição do motor discretizado em blocos funcionais, as características de desempenho de cada componente, o combustível utilizado e suas características térmicas. Com isso, todas as características termodinâmicas à entrada e à saída de cada bloco são disponíveis, além das características globais de desempenho.

Simulações são exigidas para se saber como irá operar uma determinada turbina a gás, ou seja, procura-se conhecer todo o envelope de vôo da aeronave através de simulações e também para diminuir os altos custos de ensaios.

Outras instituições têm-se esforçado para obter melhores resultados de simulação de desempenho (Bringhenti, 1999), utilizando métodos diversos.

O aluno deve ter conhecimento do cálculo de ciclos para poder, então, entender a operação da máquina e simular o funcionamento do motor. Estudo de funcionamento em todos os pontos do envelope de vôo são importantes para verificar se a turbina irá operar adequadamente quando utilizada em vôo. Problemas tão complexos não podem ser tratados em sala de aula através dos métodos de cálculo tradicionais no ensino de engenharia, mas podem ser facilmente abordados com os recursos computacionais desenvolvidos. O aluno não precisa se preocupar com os cálculos em si, mas deve utilizar seu conhecimento para interpretar os resultados obtidos e as suas causas.

2. NECESSIDADE DO ENVOLVIMENTO DO ALUNO EM PROJETOS COMPLEXOS

Torna-se necessário que o aluno se envolva em projetos mais complexos de turbinas a gás, pois somente assim é conseguido um conhecimento mais aprofundado de ciclos reais. Nesta direção, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos, utilizando as formas tradicionais de cálculos através de programas em FORTRAN e, também, planilhas eletrônicas (Ramsden e Barbosa (1994), Barbosa e Sena (1994), Barbosa (1996, 1998)). Os cálculos em sala de aula utilizam a abordagem de calor específico e razão de calores específicos constantes, quando, na verdade estas propriedades variam de acordo com a temperatura estática e seus valores devem ser encontrados através de métodos iterativos. Torna-se possível o cálculo do desempenho de turbinas a gás fora do ponto de projeto, o que é praticamente inviável manualmente quando se quer estudar as conseqüências da alteração de desempenho de cada componente. Uma turbina a gás pode ter mais de um eixo e vários componentes. Como exemplo, os motores turbofans de fluxos misturados ou separados, com sangrias de ar dos compressores. Tais motores são praticamente impossíveis de serem estudados em pormenores em sala de aula, devido à sua complexidade.

O cálculo de desempenho em regime permanente é feito em duas etapas. Na primeira é feito o cálculo no ponto de projeto. É um cálculo seqüencial, bloco a bloco, uma vez que todas as informações estão disponíveis. As características de desempenho de cada componente são antecipadamente conhecidas no ponto de projeto. Na segunda etapa é feito o cálculo fora do ponto de projeto. Não pode ser feito diretamente porque, a priori, não se conhece o ponto de operação de cada componente e, em conseqüência, as características desses componentes. É necessário recorrer-se a um processo iterativo.

O que se busca é a solução de um sistema de equações de conservação de massa, de ener-

gia e da quantidade de movimento aplicado a todas as interfaces dos blocos. Escolhido o ponto de operação fora do ponto de projeto, são feitas estimativas de desempenho de cada componente através de interpolações nos seus mapas e de cálculos baseados em propriedades do escoamento à entrada e à saída de cada bloco. Em geral, não se verificam as equações de conservação. Através de um processo iterativo, são escolhidos, sobre os mapas dos componentes, novos pontos de operação, até que as equações de conservação sejam satisfeitas, dentro de uma precisão previamente estabelecida (Bringhenti (1999), Barbosa e Bringhenti (1999)).

3. MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático das turbinas está documentado em Bringhenti (1999), fugindo do escopo deste trabalho sua completa reprodução nesta oportunidade. O fluido de trabalho é considerado como gás perfeito, com propriedades variáveis em função da temperatura estática T . De um modo geral, conhecido o estado do fluido numa posição 1, o estado numa posição 2 é calculado através da equação de Gibbs. Utilizando as definições de entalpia e calor específico a pressão constante, a equação de gás ideal e a função $\phi = \int c_p (dT/T)$, tem-se

$$ds = c_p (dT/T) - R(dP/P) \quad (1)$$

que, integrada entre a entrada e a saída do componente, considerando processo isentrópico, dá

$$s_{t2} - s_{t1} = 0 = \phi_{t2} - \phi_{t1} - R \ln(P_{t2}/P_{t1}) \text{ e, daí, } P_{t2} = P_{t1} e^{\frac{\phi_{t2} - \phi_{t1}}{R}} \quad (2)$$

Define-se eficiência isentrópica pela relação

$$\eta = (H_{t2} - H_{t1}) / (H_{t2'} - H_{t1}) \quad (3)$$

As equações (2) e (3) permitem calcular a pressão total à saída de cada bloco, utilizando propriedades variáveis do escoamento, ao invés das propriedades constantes, geralmente utilizadas em cálculos em sala de aula.

Uma turbina a gás é formada por componentes bem definidos tanto geométrica como funcionalmente, cujos processos termodinâmicos podem ser facilmente modelados. De um modo geral, uma turbina a gás pode ser decomposta nos blocos indicados na Tabela 1, a saber:

Bloco ambiente. Dada a altitude onde está operando a turbina, as condições atmosféricas de Pressão e Temperatura são determinadas de um modelo analítico (Bringhenti, 1999), representando a atmosfera padrão ISA. As condições de referência indicadas são as condições ao nível do mar. Para levar em conta os diferentes dias do ano adota-se uma correção para a temperatura, chamada de ΔT_{ISA} , que é adicionada à temperatura calculada pelas fórmulas acima.

Bloco compressor. Dadas as condições à entrada do compressor, a taxa de compressão e a eficiência isentrópica, as condições na saída são calculadas pelas Eq. (1) e (2). No cálculo fora do ponto de projeto, conhecem-se a rotação e a taxa de compressão. Utilizando-se o mapa do compressor (Fig. 1), interpolam-se a vazão de massa corrigida e a eficiência. Os demais cálculos são idênticos aos do ponto de projeto. Um erro é gerado, referente à diferença entre as vazões de massa de entrada e a interpolada.

Tabela 1 - Blocos funcionais para decomposição de uma turbina a gás

ordem	Bloco	Função
1	ambiente	condições ambientes.
2	admissão	Tomada de ar do motor
3	compressor	Compressores de Baixa, Média e Alta Pressões, Fan
4	câmara	Câmara de combustão
5	turbina	Turbinas em geral e Turbina Livre
6	duto	duto em geral
7	divisor de massa	sangrias de ar e by-pass
8	misturador	Junção de dois fluxos (sem conserv. quant. movimento)
9	misturador total	Junção de dois fluxos (com conserv. quant. movimento)
10	bocal convergente	Bocal propulsor convergente
11	escapamento	Duto colocado após turbina de potência
12	troc. de calor - fria	Circuito frio de um trocador de calor
13	troc. calor - quente	Circuito quente de um trocador de calor

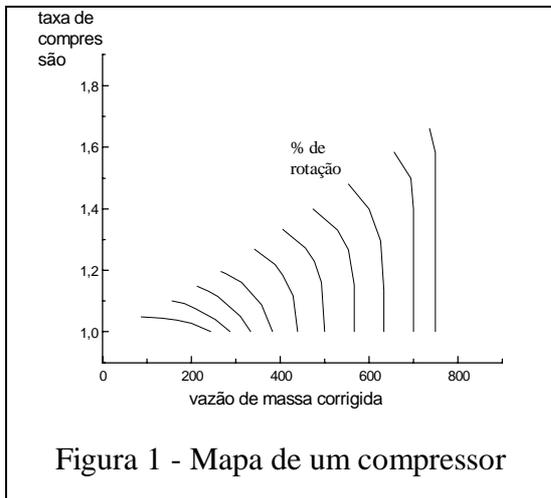


Figura 1 - Mapa de um compressor

Bloco câmara. As condições à entrada da câmara de combustão são: perda proporcional de pressão de estagnação, temperatura de saída (ou a vazão de massa de combustível). Calculam-se eficiência da câmara e pressão total de saída por

$$P_{t2} = P_{t1} - \Delta P_{tcc} = P_{t1} (1 - \Delta P_{tcc} / P_{t1}) \quad (4)$$

No cálculo fora do ponto de projeto, conhecem-se as condições de entrada na câmara. Arbitra-se, como variável, a temperatura de saída. Calcula-se a perda de pressão pela Eq. (5).

$$\Delta P_{tcc} = K P_{t1} R \left(\dot{m} \sqrt{T_{t1}} / P_{t1} \right)^2 \quad (5)$$

onde K é uma constante determinada pela Eq. (5), utilizando os parâmetros do ponto de projeto

e R a constante do fluido de trabalho.

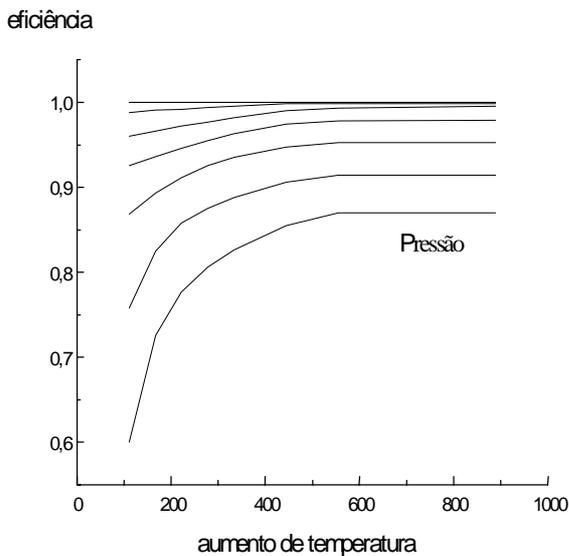


Figura 2 - Mapa de uma Câmara de Combustão

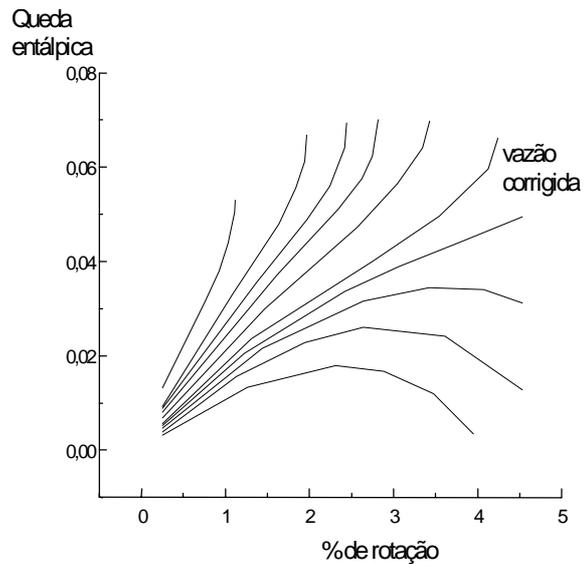


Figura 3 - Mapa de uma turbina

As demais propriedades na saída, obtém-se interpolando, do mapa da câmara (Fig. 2), sua eficiência.

Bloco turbina. Dadas as condições à entrada da turbina, a potência que deve desenvolver e a eficiência isentrópica, as condições na saída são calculadas pelas Eq. (2) e (3). A potência da turbina é a soma das potências dos compressores que aciona, de equipamentos auxiliares e de eixo. Algumas podem ser nulas, dependendo do tipo de turbina utilizada, como num turbojato em que a turbina deve desenvolver apenas a potência para acionamento dos compressores e, eventualmente, de equipamentos auxiliares. No cálculo fora do ponto de projeto, conhecem-se a rotação e a vazão de massa corrigida. Utilizando-se o mapa da turbina (Fig. 3), interpolam-se a queda de entalpia e a eficiência. Os demais cálculos são idênticos aos do ponto de projeto. Dois erros são gerados: o primeiro se refere à diferença entre as vazões de entrada e a necessária para produzir a potência e o segundo à diferença entre as entalpias interpolada e a requerida.

Bloco bocal. Dadas as condições de entrada no bocal e a pressão estática ambiente, calcula-se a área de saída do bocal admitindo-se que haja expansão total, admitindo-se que a velocidade de saída seja a velocidade, calculada como se o bocal fosse ideal, multiplicada pelo coeficiente de velocidade do bocal. O coeficiente de velocidade é interpolado do mapa do bocal (Fig. 4) em função da relação de pressões no bocal (pressão total na entrada e estática ambiente). Fora do ponto de projeto, conhecem-se as condições à entrada do bocal, a sua área de descarga e a pressão ambiente. Calcula-se a velocidade de saída a partir da velocidade ideal e do coeficiente de velocidade do bocal em função da sua relação de pressões. Um erro é gerado referente à relação de pressões calculada e a necessária para fazer passar pelo bocal a vazão de massa especificada à sua entrada.

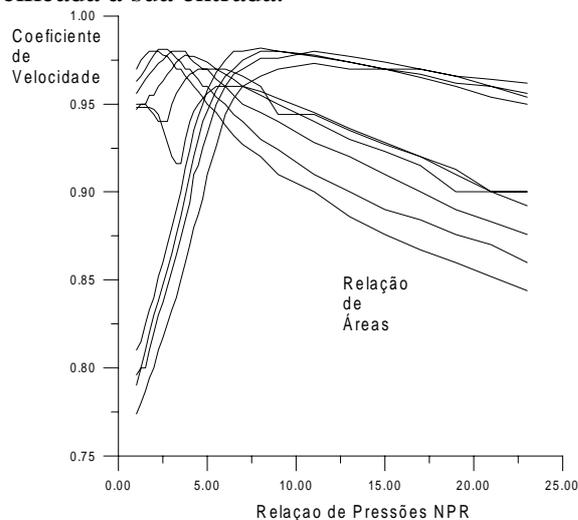


Figura 4 - Mapa de um bocal

Bloco divisor de massas. Fornece as condições de saída do bloco idênticas às de entrada, apenas distribuindo as vazões de massa em porcentagens da vazão de massa de entrada. O coeficiente de by-pass, definido como a relação das vazões de massa desviada do núcleo do motor e a que passa pelo núcleo do motor.

Bloco misturador. Conhecidas as condições de entrada dos dois fluxos a serem misturados, as condições de saída são obtidas utilizando-se as equações de conservação de massa, quantidade de movimento e de energia, além da condição adicional de que as pressões estáticas de ambos os fluxos devem ser iguais. No ponto de projeto é especificado o número de Mach do escoamento que é proveniente da parte quente do motor e

calculadas as áreas de entrada dos fluxos frio, quente e de saída do misturador. Fora do ponto de projeto, conhecem-se as áreas das seções de entrada e de saída do misturador e, a partir delas, são calculados os demais parâmetros.

Bloco trocador de calor - partes fria e quente. O trocador de calor é dividido em dois blocos que se interagem através da quantidade de energia absorvida pelo fluido que circula pela sua parte fria, que deve ser igual à retirada do fluido que circula pela sua parte quente. No ponto de projeto especifica-se a efetividade do trocador de calor. Fora do ponto de projeto a efetividade não é conhecida, devendo ser calculada. Utiliza-se a técnica de Özisik (1990) para o cálculo da efetividade fora do ponto de projeto.

Bloco duto e bloco escapamento. São adiabáticos, com perda de pressão de estagnação pro-

porcionais ao quadrado da vazão (Eq. (5)). Especificando-se a percentagem de perda de pressão é determinado o fator de perda de carga. Fora do ponto de projeto admite-se que esse fator de perda de carga seja constante, o que permite o cálculo das perdas.

Entrada de dados - O programa desenvolvido (Bringhenti, (1999), Barbosa e Bringhenti, (1999)) é bastante amigável, sendo bastante fácil a montagem do arquivo de dados de entrada, conforme será mostrado na aplicação seguinte.

5. APLICAÇÃO

Para demonstrar a facilidade de simulação de funcionamento de uma turbina a gás, foi escolhido um motor bastante complexo - turbofan de dois eixos e de fluxos misturados. O desempenho no ponto de projeto é calculado e, em seguida, em alguns pontos de operação fora do ponto de projeto, com vistas à determinação do consumo de combustível durante a realização de um vôo típico, como o especificado na Tab.2.

Tabela 2 - Perfil (hipotético) do vôo para fins de cálculo de combustível

tempo (min)	Mach	regime	altitude (m)	Fan (% N)					
0	0	Taxi in	0	31,00	21,9	0,8000		12192	99,26
5	0,2271	Take off	0	96,48	24	0,8000	Cruise	12192	96,06
6,1	0,2727		304,8	96,48	77	0,8000		12192	57,01
7	0,2821	Climb	457,	96,70	78,7	0,7100		12192	57,01
9,1	0,3915		609,6	95,62	80,5	0,7215	Descent	10668	55,07
11,2	0,4524		3048	96,31	82,2	0,6721		7620	55,00
13,4	0,6038		7620	99,60	84	0,6038		7620	50,00
15,5	0,6721		7620	99,60	85,7	0,4524		3048	33,58
17,6	0,7000		10668	1,000	87,5	0,2821		609,6	31,77
19,7	0,7000		12192	99,26	89,2	0,2268		0	31,45
					91	0		0	31,45
					95	0	Taxi out	0	31,00

- Para utilização do programa de computador, o aluno deve seguir o procedimento:
- escolha do motor (foi escolhido proposadamente um motor considerado complexo).
 - fazer um esquema do motor, incluindo todos os seus componentes principais.
 - fazer um esquema dos blocos funcionais do motor baseado no esquema de b). Na Fig. 5 a numeração interna é a numeração dos blocos e a externa é a numeração das estações de cálculo (entrada e de saída de cada bloco).
 - numerar os blocos funcionais do esquema obtido em c)
 - numerar as estações de entrada e de saída de cada componente, inclusive a atmosfera.
 - coletar os dados de desempenho de cada componente, no ponto de projeto. Neste instante, o aluno deverá obter informações a respeito de vazões de massa de ar, taxas de compressão e eficiências dos compressores, eficiências da câmara de combustão e das turbinas, perdas de pressão nos dutos e demais componentes, sangrias de ar, condições de vôo (altitude e número de Mach de vôo), combustível a ser utilizado e seu poder

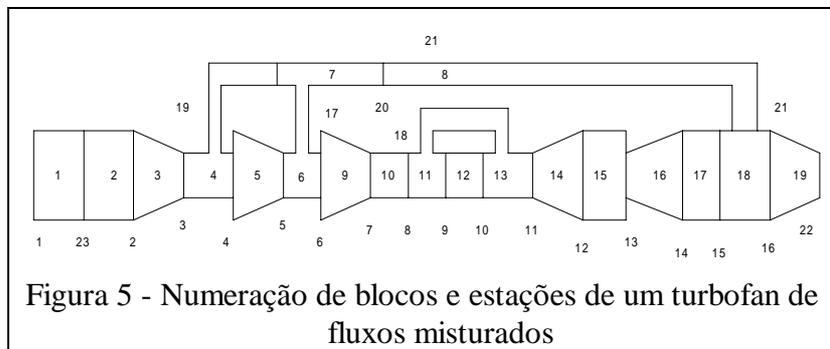


Figura 5 - Numeração de blocos e estações de um turbofan de fluxos misturados

calorífico, temperatura máxima do ciclo. Essas informações poderão ser passadas pelo professor ou escolhidas pelo aluno com base na tecnologia de projeto das turbinas atuais. Esses valores poderão vir a ser modificados em função dos resultados obtidos durante a simulação.

g) montar o arquivo de dados de entrada do programa. Nesta oportunidade, o aluno poderá utilizar o programa de cálculo de desempenho, no módulo "ajuda", para montar o arquivo de entrada a partir de uma listagem dos nomes dos blocos constituintes do motor. A preparação do arquivo de entrada de dados é bastante simples. Inicialmente se fornecem os dados de cada componente no ponto de projeto e, em seguida, as condições em que se deseja conhecer o desempenho do motor fora do ponto de projeto.

Tabela 3 - Dados do arquivo de entrada de dados para o motor turbofan de fluxo misto.

2-SAHFT ENGINE	4 20 21 0.03	dutos 17
fim titulo	compr 9	3 14 15 0.00
ambie 1	3 6 7 0.85 2.407 1	mixto 18
1 1 23 0.7 10668.0 0. 72.36	dutos 10	1 15 21 16 0.5
admis 2	1 7 8 0.00	conve 19
1 23 2 1.0	divma 11	1 16 22
compr 3	3 8 9 18 0.9995 0.0 0.0 0	desem 20
1 2 3 0.85 1.817 1	camar 12	tjato
divma 4	1 9 10 0.99 0.05 1435.	fimmo
1 3 4 19 0.171923 0.0 0.0 1	mixpa 13	odp
compr 5	1 10 18 11	2-SAHFT ENGINE - ODP
2 4 5 0.85 6.15 1	turbi 14	fim titulo
divma 6	1 11 12 0.87 0.99 1 1 0 0 2 2 3	1 0.7 10668.
2 5 6 17 0.9817696 0 0 0	dutos 15	3 1. 0.9926
mixpa 7	2 12 13 0.00	etc. ...
2 19 17 20	turbi 16	99
dutos 8	2 13 14 0.87 0.99 1 1 0 0 1 1	

Os resultados obtidos através do programa de computador, a exemplo dos indicados na Tabela 4. referente ao cálculo no ponto de projeto, permitiram a montagem da Tabela 5 contendo as condições de vôo e o consumo instantâneo de combustível. Admitindo-se que existe uma variação linear do consumo entre os instantes considerados, a integração do consumo instantâneo ao longo do tempo resulta no consumo de combustível de cada motor. O volume de combustível a ser colocado nos tanques da aeronave para o vôo em questão é maior do que o calculado visto que os regulamentos exigem acréscimo ao valor calculado para cobrir, por exemplo, atrasos na partida e na chegada, pouso alternativo em caso de indisponibilidade do aeroporto de chegada, etc., quantidades essas que não serão analisadas neste trabalho. O arquivo de entrada de dados referente ao motor escolhido está indicado na Tabela 3. Os detalhes para montagem do arquivo podem ser vistos em (Bringhenti, 1999).

A Tabela 5 contém o resumo dos resultados obtidos, bem como o consumo de combustível calculado pelo aluno, a partir dos resultados, cuja amostra está indicada na Tabela 4, para uma condição determinada de vôo.

6. COMENTÁRIOS

A facilidade de modelação de um motor complexo como o escolhido para estudo fica patente.

Não se dispõe de dados do fabricante do motor para a missão de vôo ora em estudo. En-

Tabela 5 - Resumo dos resultados para cálculo do combustível

N	Altít	Mach	% N ₁	m _f	Tempo	cons
1	.0	.0000	0.3100	.0916	5	27,5
2	.0	.2271	0.9648	.7871	6,5	70,8
3	304.8	.2727	0.9648	.7690	7	23,1
4	457.2	.2821	0.9670	.7619	8,5	68,6
5	609.6	.3915	0.9562	.7620	9,5	45,7
6	3048.0	.4524	0.9631	.5817	11	52,4
7	7620.0	.6038	0.9960	.3750	13	45,0
8	7620.0	.6721	0.9960	.3999	15	48,0
9	10668.0	.7000	1.0000	.2538	18	45,7
10	12192.0	.7000	0.9926	.1934	22	46,4
11	12192.0	.8000	0.9926	.2153	24	25,8
12	12192.0	.8000	0.9606	.1922	77	611,2
13	12192.0	.8000	0.5701	.0134	78	0,8
14	12192.0	.7100	0.5701	.0206	81	3,7
15	10668.0	.7215	0.5507	.0193	83	2,3
16	7620.0	.6721	0.5500	.0392	85	4,7
17	7620.0	.6038	0.5000	.0299	86	1,8
18	3048.0	.4524	0.3358	.0212	88	2,5
19	609.6	.2821	0.3177	.0741	90	8,9
20	.0	.2268	0.3145	.0857	91	5,1
21	.0	.0000	0.3145	.0929	95	22,3
22	.0	.0000	0.3100	.0916	100	27,5

Consumo total de combustível = 1189,8 kg

7. REFERÊNCIAS

- Barbosa, J.R. e Sena, G.J., Planilhas eletrônicas no ensino de engenharia - estudo de caso: ciclos de turbinas a gás, XXII COBENGE, Porto Alegre, RS, 24 a 27 de outubro de 1994, pp 500-506.
- Barbosa, J.R., Ensino de Engenharia com auxílio de computador, IV INTERTECH96, 22 a 25 de setembro de 1996, Valencia, Venezuela.
- Barbosa, J.R., Teaching heat conduction - New techniques, VII LATCYM98, 5 a 8 de outubro de 1998, Salta, Argentina.
- Barbosa, J. R. e Bringhamti, C., Simulação Numérica do Desempenho de Turbinas a Gás, Paper AAEIF, COBEM99, Águas de Lindóia, 21 a 26 de novembro de 1999, SP.
- Bringhamti, C., Simulação numérica de turbinas a gás em regime permanente, Tese de Mestrado, ITA, 1999.
- Monteiro, J.F.C., Métodos numéricos e computacionais para simulação de motores de combustão interna, Tese de Mestrado, ITA, 1999.
- Özisik, M. N. Transferência de Calor: um texto básico. Guanabara Koogan, 1990.
- Ramsden, K.W. e Barbosa, J.R., A Computational Aid to Engineering Design Teaching, III Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste, Belém, PA, 21 a 24 de junho de 1994, pp 474-477.

tretanto, para uma missão típica semelhante, um motor equivalente apresenta consumo de 1270 kg de combustível, valor que difere apenas de 80 kg aproximadamente do valor previsto, o que indica que a metodologia utilizada pode ser considerada satisfatória, nesta fase de cálculos desenvolvidos em sala de aula, por alunos de curso de graduação.

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM PÊNDULO INVERTIDO COMO EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA DIDÁTICA DE APRENDER FAZENDO

Roberto Firmento de Noronha
Leonardo Tadeu Garcia Lima
Leonardo Assá Galego Soares
Marcelo Tomaz Zambon da Silva

UFF - Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Passo da Pátria, 156 - 24210-240 - Niterói, RJ, Brasil. E-mail: rnoronha@mec.uff.br

Resumo

O pêndulo invertido é um sistema mecânico com dois graus de liberdade, que são o deslocamento horizontal do carrinho e o deslocamento angular da haste. Só se garante a estabilidade da haste na posição vertical através de um sistema de controle em malha fechada agindo sobre o acionador do carro. Um protótipo deste está sendo desenvolvido na UFF como uma atividade de ensino através da metodologia de “mãos na massa”. Para tanto, um dispositivo ótico de sensoriamento foi concebido e testado enquanto que o motor de corrente contínua, a ser empregado para o acionamento do carrinho, teve suas constantes elétricas medidas, junto com suas curvas de resposta. O controle deverá ser PID e implementado digitalmente. Neste trabalho, deseja-se apresentar as atividades realizadas para o projeto e desenvolvimento do protótipo, inclusive quanto a modelagem, projeto do controle e simulação.

Palavras-Chave: Atividade *Hands-On*, Controle de Sistemas Mecânicos, Pêndulo Invertido

1. INTRODUÇÃO

O pêndulo invertido é um equipamento típico para o ensino da teoria de controle aplicada a sistemas mecânicos, seja o chamado controle clássico baseado em funções de transferência, seja o chamado controle moderno baseado em equações de estado, sejam também técnicas de controle não-linear, tais como controle adaptativo, nebuloso, por redes neurais etc. Este equipamento consiste em uma haste conectada a um carrinho através de uma rótula, com um peso colocado na extremidade superior da haste. Trata-se, assim, de um sistema mecânico de dois graus de liberdade, referentes ao deslocamento horizontal do carrinho e à rotação da haste, em um plano vertical que contém o eixo de deslocamento do carrinho.

Trata-se também de um sistema de equilíbrio instável, pois a tendência do pêndulo é de cair, por influência do peso. A finalidade do controle é manter o pêndulo na sua posição de equilíbrio, na vertical, pelo simples deslocamento do carrinho, para frente ou para trás. Para tanto, a posição do pêndulo é monitorada através de um sensor acoplado ao eixo do mesmo, de modo que, de acordo com o deslocamento angular do pêndulo, o sensor manda um sinal que indica a posição do pêndulo para o controlador, o qual atua no motor, ajustando a tensão elétrica que comanda o torque do motor e atuando, desta forma, sobre o deslocamento horizontal do carro.

Um protótipo deste está sendo desenvolvido na UFF como uma atividade de ensino através da metodologia de “*hands-on*”, conceito este que pode ser traduzido para “mãos na massa” ou “aprender fazendo”. Consiste em fazer os alunos apropriarem o conhecimento

através de atividades práticas de bancada, atividade esta que se insere dentro do programa REENGE da FINEP. A diretriz de projeto foi apenas que o equipamento deveria ser pequeno, para facilitar o seu transporte e permitir que fosse efetivo na sua utilização como um kit didático. Soluções bastante interessantes foram adotadas no decorrer da atividade, seja na concepção do dispositivo, seja nos procedimentos de projeto.

Como parte deste desenvolvimento, um dispositivo ótico de sensoriamento foi concebido e testado enquanto que o motor de corrente contínua, a ser empregado para o acionamento do carrinho, teve suas curvas de resposta determinadas, junto com suas constantes elétricas. O controle deverá ser PID e implementado digitalmente. Neste trabalho, deseja-se apresentar as atividades realizadas para o projeto e desenvolvimento do protótipo, inclusive quanto a modelagem, projeto do controle e simulação.

1.1 Uma pequena revisão bibliográfica

A modelagem do pêndulo invertido é encontrada em livros textos introdutórios de teoria de controle, tais como os de Ogata (1990) e Bélanger (1995). Mais recentemente, Tilbury e Messner (1999) disponibilizaram tutoriais para o ensino de controle em páginas da Internet, com vários exemplos de sistemas mecânicos, incluindo o pêndulo invertido e o motor de corrente contínua. Enquanto isto, Duchesne et al. (1991) e Smith & Blackburn (1992) enfatizaram o lado experimental, da montagem do sistema e a realização de seu controle.

Por outro lado, o equipamento é uma interessante plataforma para testar e comparar a eficiência de diferentes algoritmos de controle. A esse respeito, Kajiwara et al. (1999) utilizam uma variação do pêndulo invertido para demonstrar a aplicabilidade de técnicas de controle de sistemas variantes no tempo.

2. CONCEPÇÃO MECÂNICA

O dispositivo foi concebido a partir de uma base de impressora matricial, junto com seu carro de impressão. Este desliza ao longo de uma guia e é conectado ao acionador elétrico por meio de uma correia dentada. A base do pêndulo propriamente dito, englobando o sistema de sensoriamento de posição angular, foi montado sobre o carro da impressora, tendo sido seu corpo confeccionado em acrílico, com a haste acoplada a um eixo transversal. Para verificar a robustez do controlador, o peso ligado ao pêndulo foi montado de modo que se possa mudar sua posição ao longo da haste, podendo variar assim sua distância em relação ao eixo de rotação. A figura 1 apresenta uma foto do protótipo.

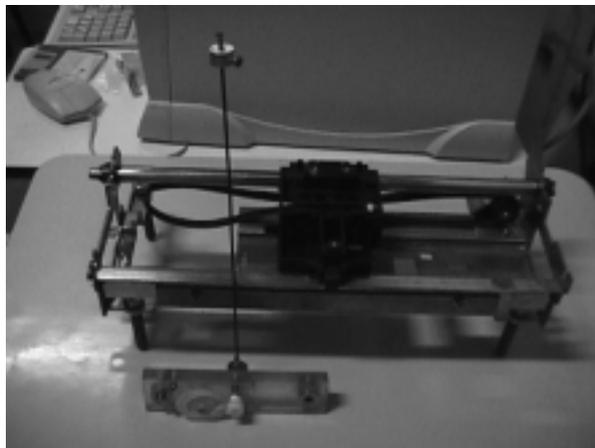


Figura 1. Foto do pêndulo invertido.

A utilização do carro de impressora foi devido à precisão envolvida na sua construção, necessária para o funcionamento adequado do sistema, principalmente quanto ao perfeito ajuste entre o carro e a guia, reduzindo atrito e perturbações. Adicionalmente, a correia dentada permite um bom acoplamento entre o motor e o carro, devido a baixa elasticidade da correia, permitindo uma resposta imediata e precisa do carro a um comando do controlador para o motor.

3. MODELAGEM

3.1 Descrição do problema

Conforme esquematizado na figura 2, o pêndulo invertido de massa m e comprimento l desloca-se no plano vertical, em torno de um eixo fixo ao carro. O carro, de massa M , move-se horizontalmente em uma dimensão ao longo do eixo x , sob a influência da força F . O atrito do sistema não é considerado. A força F é regulada de modo a manter o pêndulo na posição vertical.

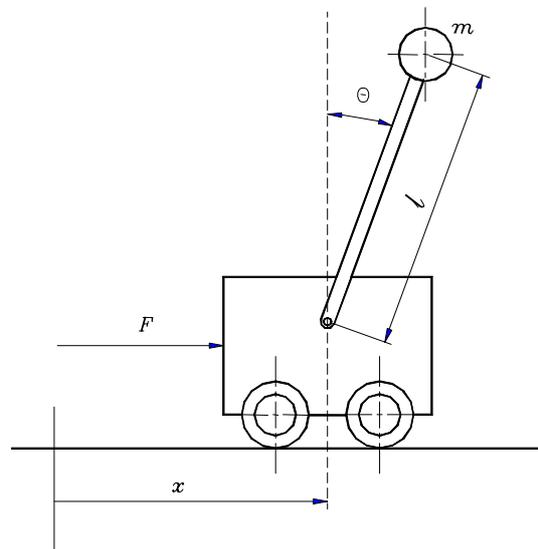


Figura 2. Desenho esquemático de um pêndulo invertido

3.2 Obtenção das equações do modelo

As coordenadas generalizadas são x e θ . A velocidade da massa m tem duas componentes, uma devido ao deslocamento do carro e a outra devido ao deslocamento angular do pêndulo. A velocidade do carro é \dot{x} na direção horizontal. A posição horizontal da massa m é $x + l \sin \theta$ e sua posição vertical é $l \cos \theta$. Aplicando a 2ª Lei de Newton, conforme apresentado por Ogata (1990) ou as equações de Lagrange (Bélanger, 1995), obtém-se o sistema de equações de segunda ordem que descreve o conjunto mecânico:

$$\begin{cases} (M + m)\ddot{x} + ml \cos \theta \ddot{\theta} - ml \sin \theta \dot{\theta}^2 = F(t) \\ \ddot{x} \cos \theta + l \ddot{\theta} - g \sin \theta = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Semelhantemente, determinam-se também as equações diferenciais que representam o motor elétrico CC a ser utilizado como acionador (Bélanger, 1995). Considerando uma caixa

de redução acoplada ao motor, as equações ficam:

$$\begin{cases} i = \frac{v}{L_a} - \frac{K_e N \dot{\theta}_e}{L_a} - \frac{Ri}{L_a} \\ \ddot{\theta}_e = \frac{NK_t i}{J_e} - \frac{T_l}{J_e} \end{cases} \quad (2)$$

onde i - corrente elétrica passando pelo motor
 v - tensão elétrica aplicada ao motor
 K_e - constante de força contra-eletromotriz do motor
 N - razão de redução da caixa
 θ_e - ângulo de rotação do eixo de saída da caixa de redução
 R - resistência do circuito da armadura do motor
 L_a - indutância do circuito da armadura do motor
 K_t - constante de torque do motor
 T_l - torque útil fornecido pelo conjunto motor - caixa de redução
 J_e - momento de inércia polar efetivo em relação ao eixo de saída da caixa.

3.3 Determinação das equações de estado

Os sistemas de equações (1) e (2) podem ser agregados em um único conjunto a partir das relações existentes entre a força F e o torque útil T_l , $T_l = Fr$, e o deslocamento x com o ângulo θ_e , $x = \theta_e r$. Nestas relações, r é o raio da polia no eixo de saída da caixa de redução, onde se acopla a correia acionadora. Linearizando a seguir as equações em torno da posição de equilíbrio e transformando em um sistema de equações de primeiro grau, chega-se às equações de estado:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x \\ \theta \\ \dot{x} \\ \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{-mgr^2}{Mr^2 + J_e} & 0 & 0 & \frac{NK_t r}{Mr^2 + J_e} \\ 0 & \frac{(Mr^2 + mr^2 + J_e)g}{(Mr^2 + J_e)l} & 0 & 0 & -\frac{NK_t r}{(Mr^2 + J_e)l} \\ 0 & 0 & \frac{-NK_e}{L_a r} & 0 & \frac{-R}{L_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \theta \\ \dot{x} \\ \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} v \quad (3)$$

$$y = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} x \\ \theta \\ \dot{x} \\ \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} + [0]v$$

3.4 Determinação dos parâmetros do motor

Para o projeto do controle, é necessário a determinação dos parâmetros do motor que aparecem nas equações de estado. No caso dos parâmetros elétricos, R , L_a , K_e e K_t , foi utilizado o roteiro da Pittman (1999). A determinação dos três primeiros parâmetros é relativamente simples. Porém, para se obter a constante de torque do motor, K_t , é necessário

se estabelecer uma curva torque x corrente. Como a medição do torque de motores de pequena potência é bastante difícil, preferiu-se calculá-lo a partir de uma montagem de dois motores conectados entre si pelos eixos, um deles funcionando como gerador. A partir da variação da carga elétrica conectada a este último, foi possível se determinar a potência elétrica fornecida e, através desta, o torque do motor, a menos do rendimento dos motores.

4. SENSORES

O sensoriamento da posição angular foi baseado em foto-transistores. Utilizou-se um LED (diodo emissor de luz) como fonte luminosa, cuja intensidade pode ser considerada constante. Pode-se considerar que a corrente de coletor do foto-transistor é proporcional à intensidade de luz incidente. Um anteparo opaco, na forma de um setor circular, foi montado conforme representado na figura 3. Quando o anteparo se move, há uma variação na área do foto-transistor que está iluminada pelo LED, produzindo, em última análise, uma mudança na tensão de coletor do foto-transistor.

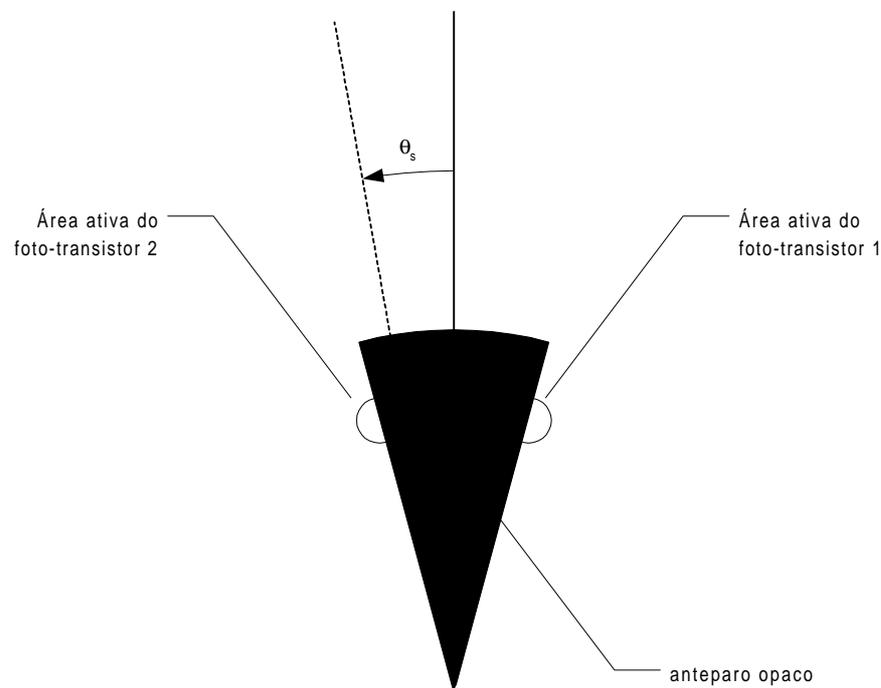


Figura 3. Esquema de montagem do sensor óptico de posição

A variação da tensão de coletor do foto-transistor em função do ângulo de rotação θ_s do setor circular é bastante não-linear, prejudicando sua utilização para aplicações de controle. Visando minimizar este problema, adota-se uma montagem diferencial, utilizando-se dois pares de LED e foto-transistores. Cada foto-transistor é montado de um lado do anteparo opaco, de forma que o movimento da haste produz um aumento da área “iluminada” de um dos foto-transistores, enquanto que esta área diminui para o outro. Pode-se mostrar que a diferença entre as tensões de coletor dos dois foto-transistores é um sinal proporcional à posição angular do setor circular e possui uma característica bastante linear, dentro de uma faixa de valores em torno da vertical. Essa faixa é no entanto bastante limitada, em torno de 1 grau, em função do pequeno diâmetro dos foto-transistores. Para se ampliar esta faixa, um par de engrenagens foi colocado entre os eixos da haste e do setor circular, com razão de ampliação de 1:4,5.

5. PROJETO DO CONTROLADOR

A implementação digital permitirá a utilização de diversas estruturas de controle. No caso deste projeto inicial, utilizou-se um controlador PID que, além de garantir um erro em regime permanente nulo (Bélanger, 1995), é um controlador amplamente empregado e que também permite uma implementação analógica.

Tendo em vista a disponibilidade de um procedimento de otimização baseado em algoritmos genéticos (Potvin, 1994), deu-se preferência à utilização deste procedimento ao invés de métodos clássicos como a análise por lugar das raízes para a determinação dos parâmetros do controlador PID (K_d , K_p e K_i). A função de otimização empregada foi estipulada de forma a, inicialmente, assegurar a estabilidade em malha fechada e, em seguida, reduzir o seu tempo de resposta e o deslocamento máximo ao degrau unitário.

O projeto de controle obtido, contudo, não impunha restrições à tensão aplicada sobre o motor. Os primeiros controladores projetados resultavam em tempos de resposta e de acomodação extremamente reduzidos, às custas de sobretensões elevadas no motor.

A partir deste ponto, buscou-se adaptar o projeto ótimo a valores mais realistas com o equipamento a ser empregado. Este procedimento foi bastante direto, uma vez que já se dispunha de um controle capaz de assegurar a estabilidade em malha fechada do sistema.

6. SIMULAÇÕES

Para demonstrar a qualidade do projeto de controle proposto, simulou-se a partida do dispositivo, considerando-se um ângulo inicial do pêndulo igual a 10° . A Figura 4, abaixo, apresenta o deslocamento do carro até a estabilização do sistema.

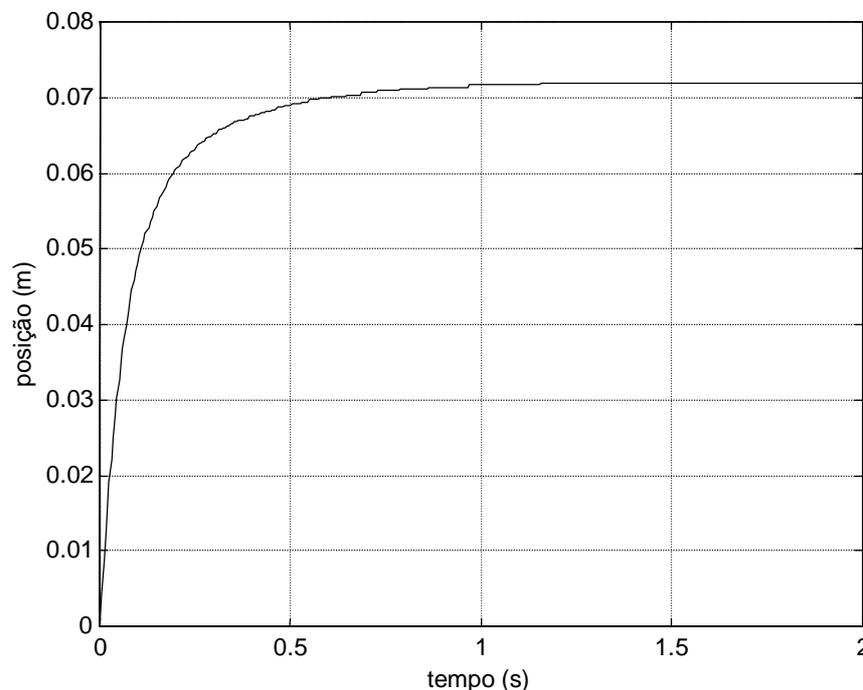


Figura 4. Gráfico de deslocamento do carro após a partida

A Figura 5 mostra o ângulo do pêndulo, partindo de 10° e sendo conduzido rapidamente para a posição de equilíbrio. A Figura 6 demonstra que a tensão elétrica aplicada no motor é

condizente com sua especificação, atingindo um máximo de cerca de 16 V.

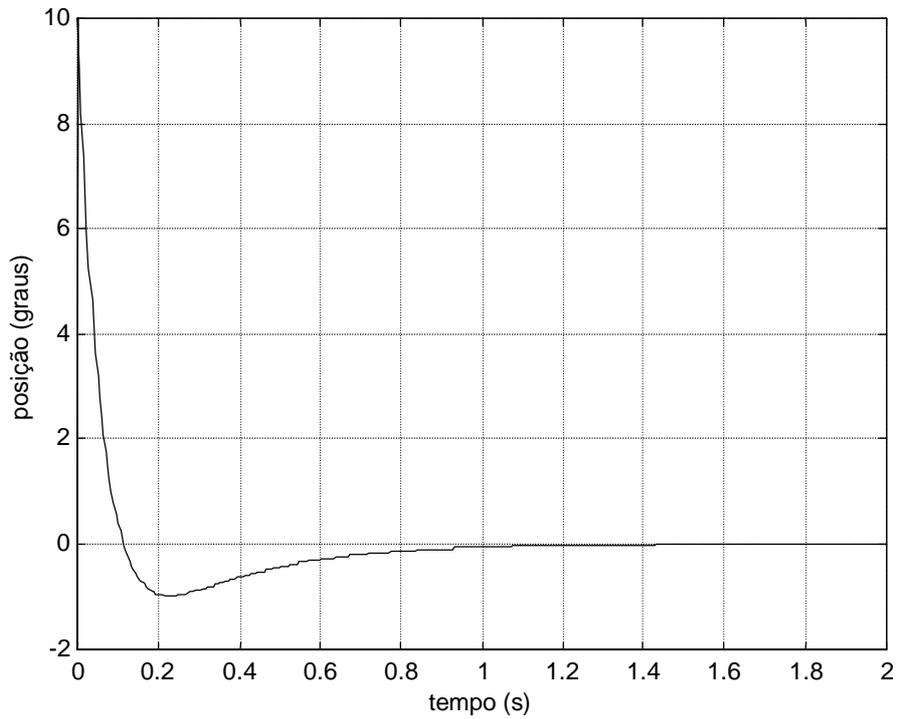


Figura 5. Gráfico da posição angular do pêndulo após a partida

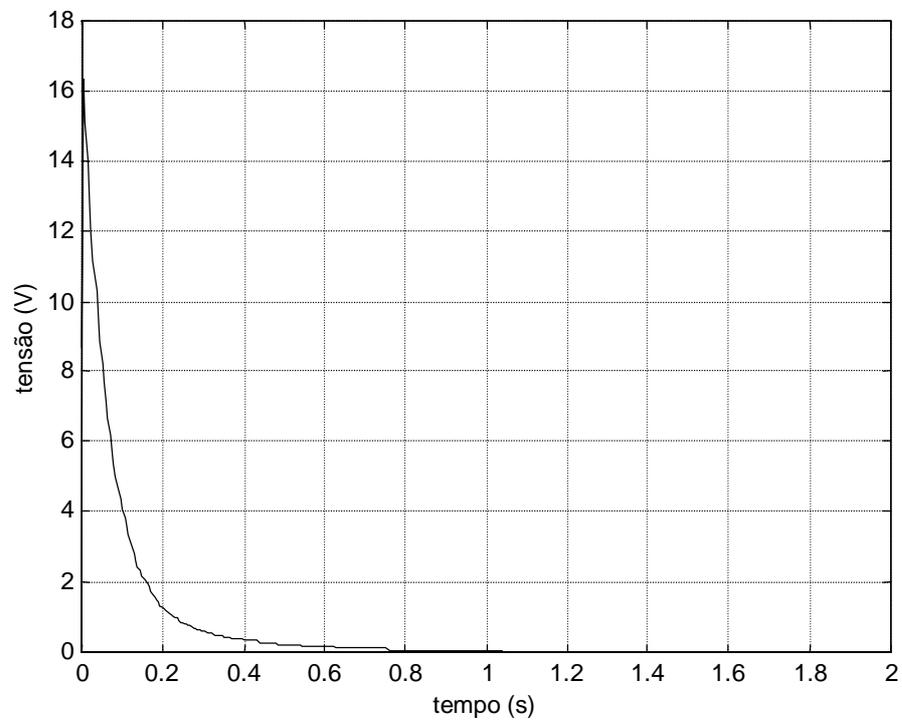


Figura 6. Tensão aplicada no motor após a partida

7. CONCLUSÃO

Foi apresentado o desenvolvimento de um protótipo do pêndulo invertido, desenvolvimento esse realizado não só para se ter um equipamento didático bastante útil para o ensino de teoria de controle, como também para se realizar uma atividade de “aprender fazendo”.

Soluções bastante inovativas foram adotadas no decorrer do projeto, entre as quais cabe destacar:

- i. Aproveitamento da estrutura mecânica de uma impressora matricial;
- ii. Determinação experimental dos parâmetros elétricos do motor;
- iii. Desenvolvimento de um dispositivo ótico de sensoriamento;
- iv. Projeto do controlador por meio de otimização baseada em algoritmos genéticos.

Na avaliação do aspecto didático da atividade, é inquestionável que os alunos orientados tiveram um aprendizado bastante intenso, tanto de conhecimento tecnológico quanto de atitude em relação a enfrentar os diversos problemas encontrados. Porém, deve-se ressaltar que a experiência mostrou, também, outros três aspectos relacionados a esta atividade. A dedicação exigida dos docentes envolvidos com o projeto foi bastante alta. Além disso, a iniciativa exigida dos alunos não se coaduna com o seu perfil médio. Esses dois aspectos levam a restringir a aplicabilidade de atividades desse tipo a um número limitado de alunos voluntários, realmente comprometidos com a realização do projeto. Finalmente, observou-se que essa prática leva a uma apropriação seletiva do conhecimento, basicamente do que foi empregado diretamente na atividade, sem a procura do domínio da base teórica envolvida.

8. AGRADECIMENTOS

É feito agradecimento ao CNPQ, pela concessão de bolsas de iniciação científica que motivou e permitiu o desenvolvimento desse trabalho, e à FINEP, pelo auxílio concedido dentro do programa REENGE.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bélanger, P.R., 1995, “Control Engineering - A Modern Approach”, Saunders College Pub.
- Duchesne B., Fischer, C.W., Gray, C.G. e Jeffrey, K.R., 1991, “Chaos in the Motion of an Inverted Pendulum: An Undergraduate Laboratory Experiment”, Am. J. of Physics, vol. 59, nº 11, pp. 987-991.
- Kajiwar, H., Apkarian, P. e Gahinet, P., 1999, “LPV Techniques for Control of an Inverted Pendulum”, IEEE Transactions on Control Systems, fevereiro, pp. 44-54.
- Ogata, K., 1990, “Modern Control Engineering”, 2ª edição, Ed. Prentice Hall Int.
- Pittman Motors, 1999, “Servo Motor Application Notes”, <http://www.pittmannet.com>.
- Potvin, A.F., 1994, Genetic Algorithm Toolbox, The MathWorks, Inc., <http://www.mathworks.com/support/ftp/optimsrv4.shtml>.
- Smith, H.J.T. e Blackburn, J.A., 1992, “Experimental Study of an Inverted Pendulum”, Am. J. of Physics, vol. 60, nº 10, pp. 909-911.
- Tilbury, D.M., e Messner, W.C., 1999, “Control Tutorials for Software Instruction over the World Wide Web”, IEEE Transactions on Education, vol. 42, nº 4, novembro, pp. 237-246.

A IMPORTÂNCIA DA COMUNICAÇÃO INTER E INTRAPESSOAL NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO

Myriam Eugênia Ramalho Prata Barbejat
Universidade Federal Fluminense
Departamento de Engenharia Mecânica
R. Passo da Pátria, 156
Niterói – RJ – 24210-240
Fax: (021)717-4446, Tel: (021)620-7070 r.213
E-mail: tgmmyri@vm.uff.br, barbejat@nitnet.com.br

Resumo. *O presente trabalho apresenta uma proposta de metodologia de um conjunto de ações que podem ser sistematizadas e adotadas nas Escolas de Engenharia, visando minimizar o problema de adaptação do engenheiro ao mercado de trabalho no que tange à comunicação inter e intrapessoal. São analisadas as experiências vivenciadas com alunos do Programa Especial de Treinamento (PET) da Engenharia Mecânica da UFF e da turma de Introdução à Engenharia Mecânica, cujo sucesso nos motivou a apresentar este trabalho. Além da viabilidade de implantação da proposta a curto prazo, espera-se que o envolvimento dos professores com a questão das Ciências Humanas promova também uma melhoria na qualidade da comunicação professor / aluno, melhorado, conseqüentemente, a qualidade do próprio curso.*

Palavras-chave: *Comunicação Intrapessoal, Formação do Engenheiro, Aprimoramento Pessoal e Profissional.*

1. INTRODUÇÃO

Os meios eletrônicos de comunicação têm facilitado indubitavelmente a comunicação interpessoal. Muitas amizades até nascem desta maneira, enquanto outras crescem e se solidificam. Também no ambiente profissional este canal de comunicação tem oferecido uma velocidade considerável na resolução de problemas. No entanto, tem-se observado, tanto individualmente como coletivamente, que um dos maiores problemas de comunicação não se encontra em um canal externo, mas em sistemas de crenças internos, dentro de cada indivíduo, gerando ruídos na chamada *comunicação intrapessoal*. Certamente, a baixa qualidade desta vai também provocar uma distorção na essência do que precisa ser

comunicado a outra pessoa podendo causar sérios prejuízos, até financeiros, para a empresa ou para a coletividade envolvida.

Recentemente, (Marcheti & Belhot, 1998) esclareceram as tênues diferenças entre o que se denomina inteligência *interpessoal* e inteligência *intrapessoal*. A primeira revela-se através de uma habilidade em relacionar-se bem com os outros, em perceber seus humores e motivações, em captar suas intenções e conseguir analisar questões coletivas sob diferentes pontos de vista. Esta habilidade possibilita o convívio com outras pessoas em sociedade. Já a inteligência *intrapessoal* entra no âmago de nossa existência e permite entendermos porque agimos de tal maneira em determinada situação. Esta habilidade reforça nossa auto-estima, auto crescimento e possibilidade de resolver problemas internos.

Em nosso contato diário com os estudantes de engenharia, temos observado que a maioria deles ainda sente dificuldade nesta interação interpessoal, seja por falta de maturidade, instabilidade emocional, pouca experiência em lidar com o auto conhecimento e/ou até mesmo falta de valores morais básicos que deveriam vir do convívio familiar.

Quando se fala em um novo estilo de ensino de Engenharia e nas mudanças de paradigma na Educação, é necessário refletir na maneira como os alunos receberão e processarão estas novas informações: como vão interagir com seus professores, tutores, colegas, funcionários, parceiros, etc.

A maioria das Universidades brasileiras até então tem se preocupado principalmente com a formação técnica e científica do engenheiro, entregando ao mercado de trabalho um profissional com excelente formação técnica, porém com dificuldade de se relacionar com chefes e subordinados, de liderar um grupo de trabalho ou de conhecer seu próprio potencial criativo, como foi relatado por Dening (1992) o mesmo problema, acontecendo, naquela época, com as Universidades americanas.

Este trabalho relata os problemas identificados na Escola de Engenharia da UFF e propõe uma metodologia capaz de ajudar o aluno a dar os primeiros passos em direção à melhoria da qualidade de sua *comunicação intrapessoal*, proporcionando, conseqüentemente, o seu aprimoramento pessoal e profissional.

Neste sentido, concordamos com Robbins (1987), quando diz que “a qualidade da sua vida é a qualidade da sua comunicação com você mesmo”, ou seja, só a partir de uma boa comunicação intrapessoal as pessoas podem ter uma boa comunicação interpessoal e em seguida o sucesso profissional.

2. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Tanto em sala de aula como na função de Coordenador de Curso, o professor está sempre em contato muito próximo com a essência do aluno, ou seja, a essência do ser humano aluno. Assim, as qualidades e defeitos e os traços marcantes de personalidade se evidenciam claramente por ocasião de uma correção de prova, ou como o aluno esclarece suas dúvidas em sala de aula, ou até mesmo em como ele dá desculpas por algum fracasso.

Em toda a nossa experiência na coordenação de curso, principalmente no momento em que o aluno vem fazer sua inscrição em disciplinas, a cada início de período letivo, surgem novas oportunidades de identificar problemas de comunicação. Eles se escondem em várias situações; desde uma simples reclamação porque o serviço de cópias não está funcionando até

uma série de reprovações por se considerar “perseguido pelo professor”. No caso do aluno que está ingressando no curso a situação é ainda mais alarmante. Ele vem com muita bagagem em questões tecnológica e de informática mas pouco trabalhado em relação a comportamentos e capacidade de comunicação interpessoal.

Vários outros casos foram identificados como se estivéssemos abrindo janelas do programa *Windows*. Um exemplo típico acontece quando o aluno está com o curso atrasado. À medida que “clicamos” nas janelas, vão aparecendo: bloqueios em relação a Cálculo ou Física; ou o aluno nunca se perguntou o que gosta de fazer; ou já se perguntou, mas seu sistema de crenças não lhe permite sequer imaginar que poderá ser bem sucedido; e, na maioria das vezes, ele nem faz idéia de que tipo de comportamentos ou habilidades ele deveria desenvolver para ter sucesso. E foi neste ponto que identificamos que, muito antes do problema ser devido “às distorções da economia do país” ou “ao mau professor deste ou daquele curso”, o problema está dentro do próprio aluno: como ele ainda não se conhece, como ele ainda não sabe comunicar-se consigo mesmo; enfim, como ele precisa desenvolver a *comunicação intrapessoal*.

Além das observações feitas com os alunos do curso, também registramos depoimentos de ex-alunos a respeito das dificuldades enfrentadas no início de carreira. As mais comuns foram: desempenho pessoal durante uma entrevista num processo de seleção, realização de seminários, exposição de vendas em nome da empresa ou internamente para seus diretores, transmissão de ordens a subordinados e ainda como obter motivação dos outros e sua própria para a realização de um trabalho em equipe. Ao serem questionados se este treinamento deveria fazer parte de sua formação como engenheiro, dentro da Universidade, a resposta afirmativa foi unânime. E acrescentaram: “Talvez assim diminua o abismo entre o dia da nossa formatura e o início do nosso trabalho”.

3. A EXPERIÊNCIA NA UFF COM O PET E NA DISCIPLINA “INTRODUÇÃO À ENGENHARIA”

Paralelamente à identificação do problema de comunicação, a proposta feita por Leta (1996) para implantação do Programa Especial de Treinamento (PET) no Curso de Engenharia Mecânica da UFF estava sendo aprovada pela CAPES.

Sugerimos então aos alunos do PET uma seqüência de atividades extracurriculares na área de Ciências Humanas. Estas atividades estavam em perfeita consonância com a filosofia do programa. No início foi necessário superarmos algumas barreiras, pois, em geral o aluno de Engenharia acredita que escolheu Ciências Exatas porque não gosta ou “não precisa” de Ciências Humanas.

Giblin (1989) afirma, com base em pesquisas realizadas pelo *Carnegie Institute of Technology*, que o sucesso de um profissional depende apenas 15% do treinamento técnico, da inteligência científica e da habilidade no trabalho, enquanto os outros 85% obedecem a fatores de personalidade, liderança e da habilidade de se relacionar com as pessoas. A boa notícia é que estes fatores podem ser adquiridos e / ou desenvolvidos como uma disciplina que se “aprende”. Neste caso, talvez seja uma das disciplinas mais difíceis de se “aprender” pois, além de muita predisposição para isso, é necessário romper com hábitos negativos, já bastante arraigados em várias gerações anteriores, que fazem o papel de uma força contrária

ao sentido do deslocamento (crescimento pessoal) desejado. Esses hábitos “em direção oposta”, tais como baixa auto-estima, não saber lidar com as próprias emoções, enxergar as dificuldades maiores do que as possibilidades de solução, tomar atitudes precipitadas baseadas em julgamentos, entre outros, normalmente vem do convívio familiar, ou de uma cultura educacional antiga, da qual muitos de nós fomos vítimas.

Uma vez superados estes preconceitos, e conscientes do tipo de benefícios que teriam no futuro, os alunos passaram a se dedicar às atividades propostas, utilizando a seu favor uma das habilidades mais marcantes no engenheiro: o raciocínio lógico e “exato”. Afinal, quem não gostaria de ter sucesso em sua profissão?

3.1 Atividades de Comunicação no PET

A primeira fase destas atividades constituiu-se de uma série de encontros semanais onde foram realizadas dinâmicas de grupo e discussão de temas ligados ao auto conhecimento, ou seja, às comunicações *intra e interpessoal*: comunicação verbal e não verbal, canais de comunicação (visual, auditivo e cinestésico), rapport, sistemas de crenças, auto-estima, inventário de defeitos e qualidades, hemisférios cerebrais, inteligência emocional e metas. Ao final desta fase cada aluno apresentou para o grupo um trabalho sobre uma pessoa de sucesso, de sua livre escolha, onde as atitudes ou os traços de personalidade foram identificados e analisados em conjunto.

Obviamente, não se tratou de uma análise profunda pois ninguém era psicólogo no grupo, mas foi muito proveitosa para todos, uma vez que aqueles hábitos, tanto positivos quanto negativos, foram, pelo menos, identificados e compartilhados no grupo.

Na segunda fase, em outro semestre, o grupo já estava maior. Evitando repetir a mesma atividade, que, a rigor, os alunos novos teriam direito, todos concordaram em dar continuidade, desta vez focalizando o tema Liderança, entendendo que era necessário exercitar os conceitos adquiridos no semestre anterior e ao mesmo tempo interagirem com os novos colegas. Assim, nem os alunos novos foram poupados de sugerirem temas e coordenarem debates. Nessa ocasião os alunos tomavam a iniciativa de convidar colegas “não-petianos” e até de outros cursos, para participarem das atividades: foi o efeito multiplicador tão desejado nos programas PET. Tivemos até a participação de mães de alunos ligadas à área de educação, cuja presença na Universidade, além de enriquecer sobremaneira as atividades, trouxeram elogios pela iniciativa da UFF, relatando resultados positivos observados em casa com os filhos.

A escolha de temas nesta fase foi totalmente livre sendo pesquisados individualmente ou em duplas. Os principais temas foram: Musicoterapia, Arteterapia, Inteligência Emocional, A Mulher no Mercado de Trabalho, O Fim do Emprego, Meu Primeiro Emprego ou Minha Primeira Experiência de Trabalho, Preconceitos (raciais, profissionais, etc.), Globalização, Sinergia no Trabalho, Reconhecimento e Elogio, entre outros, que eram identificados enquanto “navegavam” pela *Internet* ou na *mídia* em geral.

Observou-se claramente, nessa ocasião, a quebra dos preconceitos em relação às Ciências Humanas. Os alunos demonstravam o devido respeito para com as novidades desta área, até então desvalorizada ou desconhecida, da mesma maneira que o faziam com a descoberta de um novo dispositivo mecânico.

Novamente, a intenção aqui não foi promover debates com análises psicológicas, sociais e econômicas profundas; mas proporcionar ao aluno a oportunidade de coordenar um debate, de criticar sem ofender, de receber uma crítica e também de motivar um colega mais tímido a participar.

3.2 Atividades de comunicação na disciplina “Introdução à Engenharia”

Aproveitando a experiência bem sucedida no PET, sugerimos alguns trabalhos individuais e em grupo para os alunos do ano letivo de 1999. Um deles foi o relato de uma experiência que consistiu na descrição de um projeto pessoal bem sucedido e outro projeto que não deu certo, onde o aluno deveria analisar os motivos que o conduziram ao sucesso ou ao fracasso. O outro trabalho tratou de analisar uma personalidade (atual ou não) de sucesso do ponto de vista de suas habilidades empreendedoras e de comunicação e os conseqüentes desdobramentos desses comportamentos que culminaram no seu sucesso.

3.3 Resultados obtidos

Ao final do primeiro ano de atividades verificamos algumas mudanças de comportamento por parte dos alunos, tais como: maior desinibição no trato com professores, facilidade em tomar iniciativas e autoconfiança para realizar trabalhos e recuperar disciplinas em que tinham sido reprovados. Tivemos ainda, alguns depoimentos sobre a melhoria na qualidade de seus relacionamentos com pais e irmãos. Funcionários e professores ligados à administração da Escola fizeram elogios do tipo “Esses meninos do PET são muito educados e estão sempre animados, dá até gosto fazer as coisas para eles”. Por outro lado, “esses meninos” nos diziam: “Engraçado como a gente consegue as coisas facilmente: basta um sorriso e um elogio ou um reconhecimento, e as pessoas nos atendem bem mais rápido e melhor”.

No entanto, muito mais importante do que o sorriso, foi o resgate da autoconfiança. Certa vez, um aluno que mal conversava no grupo, no início das atividades, venceu a inibição e deu seu depoimento para cerca de cinquenta calouros no auditório. Além de surpresos os colegas do PET reconheceram, mais uma vez, os benefícios dos exercícios de comunicação.

Outro resultado registrado foi o crescimento da interatividade da turma de Introdução à Engenharia do 2º período de 1999, tanto na questão de organização de uma lista pelo correio eletrônico como pela qualidade dos *feedbacks* de uns para com os outros observados dentro de sala de aula por ocasião das dinâmicas de grupo e dos trabalhos apresentados.

Embora ainda não possamos medir o sucesso destes jovens no mercado de trabalho, pois eles ainda são alunos, acreditamos que este efeito tenderá a se prolongar e se disseminar nos cursos de Engenharia.

4. METODOLOGIA PROPOSTA

Com base nas observações empíricas das reações dos alunos aos estímulos propostos durante as atividades do PET e da disciplina *Introdução à Engenharia* e, recentemente, de acordo com as recomendações da Comissão de Especialistas do MEC (1999) acerca do perfil desejado para o novo engenheiro, sugerimos a criação de uma disciplina *optativa*, por se tratar de uma solução a curto prazo, que contempla tanto os alunos que estão ingressando na Universidade quanto os alunos mais antigos. Posteriormente, por ocasião da implantação da Reforma Curricular, entendemos ser mais profícuo tal disciplina se tornar *obrigatória*.

Assim, a disciplina proposta “*APRIMORAMENTO PESSOAL E PROFISSIONAL*”, poderá ser ministrada ou coordenada por tutores ou coordenadores de cursos em parceria com professores das Escolas de Educação e/ou de Psicologia ou ainda através de parcerias externas com instituições do tipo SEBRAE, CIEE, etc.

A formatação da disciplina com objetivos e ementa está apresentada na figura 1, nos moldes exigidos pela UFF para criação de uma disciplina.

5. CONCLUSÕES

Os resultados indicaram uma boa receptividade por parte dos alunos de engenharia, de assuntos antes considerados “apenas do profissional das Ciências Humanas” e que por isso, eram desvalorizados.

As experiências no PET da Engenharia Mecânica da UFF demonstraram que a boa comunicação *intrapessoal* pode desencadear uma série de outros comportamentos em direção a uma comunicação *interpessoal* mais eficaz e conseqüentemente, uma capacitação profissional diferenciada.

As autoavaliações e avaliações em grupo dentro da disciplina *Introdução à Engenharia* mostraram que o futuro engenheiro apesar de ter ficado surpreso com a natureza das atividades considerou-as importantes para sua formação. É fácil perceber sua motivação para a construção de seu curso uma vez que ele está consciente de que a qualidade do seu curso vai depender muito mais de seu próprio desempenho do que da Universidade.

Com a divulgação na *mídia* e *Internet* de empresas que estão investindo no treinamento de seus empregados para aprenderem a trabalhar em equipe, conquistando assim vantagens competitivas no mercado, diríamos que a importância de se disponibilizar esta disciplina ainda no período de graduação é incontestável, pois o aluno terá a oportunidade de fazer de seu curso o seu próprio laboratório de comunicação.

A Universidade que oferecer este aprimoramento estará atendendo melhor às necessidades do mercado e da sociedade.

A nova LDB prevê a criação de instrumentos que proporcionem de fato as mudanças de paradigma na Educação; e este seria um deles. Ratificando, desta forma, as palavras de Denning (1992), temos que incluir no *novo currículo* “ como ouvir, como planejar, como cuidar, como persuadir, como se organizar para novos aprendizados, e até mesmo como ser confiável e honesto”.

A proposta da criação da disciplina *Aprimoramento Pessoal e Profissional* não apenas é viável, como contribui para uma reflexão por parte do professor que também se beneficia com a oportunidade de se reciclar, melhorando sua habilidade de comunicação com o aluno e orientando-o de maneira a aproveitar melhor o seu potencial. Percebendo esta necessidade, coordenadores dos cursos das Engenharias do Centro Tecnológico, junto à Proreitoria de Assuntos Acadêmicos da UFF, deram início a um projeto de *RH para professores*, que visa, a partir de uma parceria com a Faculdade de Educação, a reciclagem pedagógica e de comunicação para o corpo docente. O discurso do “aprender a aprender”, tão presente nos diversos departamentos das universidades, não pode se limitar ao corpo discente; afinal, como diz Richard Bach, “*todos somos alunos, praticantes, professores*”.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comissão de Especialistas do MEC, 1999, “Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia”.

Denning, P. J., 1992, “Educating a new Engineer”, *Communications of the ACM*, Vol. 35, No. 12, pp. 83-97.

Giblin, L., 1989, “Como ter Segurança e Poder nas relações com as pessoas”, Ed. Maltese. SP.

Leta, F. R., 1996, “Projeto de Implantação do Programa Especial de Treinamento–TEM/UFF”.

Marcheti & Belhot, 1998, “Inteligências Múltiplas e o Ensino de Engenharia”, *Anais do XXVI COENGE*, Vol. 1, pp 545-560.

Robbins, A., 1987, “Poder Sem Limites”, Ed. Best Seller. SP.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE PRÓ-REITORIA DE ASSUNTOS ACADÊMICOS	Curso/Titulação: Engenharia Mecânica Habilitação: Ênfase:
--	---

Formulário n.º 14 - Matéria – Disciplina (Objetivo e Ementa)

CODIGO	NOME DA MATÉRIA	CRIAR: SIM () NÃO (x)
705-6	Ciências Humanas	

DEPARTAMENTO DE LOTAÇÃO: Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica		
CODIGO	NOME DA MATÉRIA	CRIAR: SIM (x) NÃO ()
TGM04001	APRIMORAMENTO PESSOAL E PROFISSIONAL	

CARGA HORÁRIA (T) 60h (P) -- (E) -- CRÉDITOS: 04
HOUVE ALTERAÇÃO DA DISCIPLINA: NOME() CRÉDITOS() CARGA HORÁRIA() NÃO HOUE()
DISCIPLINA OBRIGATÓRIA () OPTATIVA (x) ELETIVA ()
OBJETIVOS DA DISCIPLINA
Conscientizar o aluno das mudanças de paradigma do mercado de trabalho no que tange às novas exigências de capacitação profissional. Desenvolver o auto conhecimento para que o aluno possa identificar suas qualidades e defeitos a fim de utilizá-las mais adequadamente a seu favor. Sensibilizar e motivar o aluno para o desenvolvimento de habilidades comportamentais e valores morais e éticos que caracterizam o perfil do novo engenheiro. Exercitar o cumprimento de uma meta a curto prazo como ponto de partida para sua capacitação ao sucesso. Desenvolver habilidades de comunicação interpessoal e intrapessoal , de liderança, assim como potencial criativo e capacidade de decisão com responsabilidade perante sua equipe de trabalho e perante a sociedade.
DESCRIÇÃO DA EMENTA
Conceitos básicos de Comunicação e de Metas. Liderança e Trabalho em Equipe. Sinergia. Comportamentos e atitudes que marcam as pessoas bem sucedidas. Análise de erros e acertos, durante a execução de uma meta. Ética profissional e pessoal. Princípios de Administração Pessoal . Inventário de defeitos e qualidades.

. Figura 1– Proposta de criação de disciplina

A INTERNET COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO ENSINO DE MECÂNICA COMPUTACIONAL

Manoel Theodoro Fagundes Cunha

Sergio Scheer

Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Centro de Estudos de Engenharia Civil,
81531-990, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: mcunha,scheer@cesec.ufpr.br

Resumo

A Internet é o ambiente para o qual todos os esforços recentes da indústria de computadores e do mundo dos negócios estão dirigidos. *Hardware* e *software* tem sido direcionados para tirar proveito da capacidade de comunicação em rede provida pela Internet. Este trabalho mostra a Internet como ambiente de desenvolvimento de programas e o seu uso como apoio ao processo de ensino-aprendizagem. Os conceitos básicos de HTML, Java e CGI são apresentados e utilizados na construção de uma aplicação-exemplo, que pode ser acessada através da Internet com a utilização de um *browser* padrão. Utilizando a aplicação que trata de potencial de temperatura com solução pelo Método dos Elementos de Contorno, o estudante pode modificar os parâmetros do problema utilizando o *mouse* e o teclado e visualizar graficamente as soluções, verificando como se comporta o fluxo e como se dá o impacto nos resultados devido à variação do número de elementos ou do tipo de elemento utilizado.

Palavras-chave : Programação na Internet, Java, CGI, Método dos Elementos de Contorno, Ensino-aprendizagem.

1. INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia tem sido durante décadas afetado pela evolução acelerada das capacidades na área da chamada Tecnologia da Informação. Métodos e técnicas têm mudado para acompanhar esta evolução. O avanço do conhecimento humano exige do professor constante atualização e a conseqüente adaptação a novos paradigmas.

O desenvolvimento de *softwares* educacionais tem sido nos últimos anos uma prática comum que ganhou impulso com o advento da interface gráfica e mais recentemente com os recursos de multimídia. Atualmente os recursos de computação gráfica como a utilização de cores, alta resolução e interatividade são considerados essenciais a qualquer aplicação. Som e vídeo também começam a ser utilizados de forma rotineira.

Neste contexto, a Internet propicia um ambiente que permite o desenvolvimento de aplicações educacionais com todos os recursos da interface gráfica e multimídia existentes em *softwares* tradicionais, trazendo, porém, benefícios adicionais e incomparáveis: a disseminação e acessibilidade do ensino de engenharia.

A capacidade de acesso à informação proporcionada pela Internet é inigualável e permite ao aluno buscar material de apoio para a sua aprendizagem, de forma adequada às suas

necessidades. Assim, o uso do computador doméstico pode ser uma alternativa aos laboratórios que, na maioria das vezes, precisam ser compartilhados e não podem ser atualizados constante e adequadamente. A disponibilidade vinte e quatro horas por dia é outro fator relevante que leva o acesso à informação no momento mais conveniente ao usuário.

As ferramentas necessárias para o desenvolvimento de uma aplicação educacional de engenharia na Internet são de domínio público, bastante conhecidas e disponíveis. Neste trabalho os conceitos básicos de HTML, Java e CGI são apresentados e utilizados na construção de uma aplicação-exemplo (Cunha, 1999), acessada através da Internet com a utilização de um navegador ou *browser* padrão. Esta aplicação interativa mostra um problema de potencial de temperaturas com solução através do Método dos Elementos de Contorno e com a possibilidade de variação de diferentes parâmetros de solução.

2. HYPERTEXT MARKUP LANGUAGE (HTML)

Hypertext Markup Language ou HTML é uma linguagem de descrição na qual as páginas da *web* são escritas. Além de incluir instruções básicas para formatação de texto, a linguagem HTML oferece também recursos como *links* para outras páginas e apresentação de imagens.

O exemplo que se segue mostra a estrutura básica de um arquivo HTML :

```
<HTML>
  <HEAD>
    <TITLE>Titulo da pagina</TITLE>
  </HEAD>
  <BODY>
    <H1>Cabecalho</H1>
    <P>Este &eacute; um texto em <B>negrito</B>.</P>
    <P>Este &eacute; um texto em <I>it&aacute;lico</I>.</P>
    <P><A HREF="http://www.ufpr.br">UFPR</A></P>
    <P><IMG SRC="image.gif"></P>
  </BODY>
</HTML>
```

Como o exemplo ilustra, a linguagem HTML se baseia em *tags* para indicar o contexto e o formato do texto de uma página *web*. A linguagem HTML oferece vários *tags* para formatar texto e apresentar caracteres especiais. O *link* com outras páginas e apresentação de imagens também é feito com a inclusão de *tags*. A linguagem HTML oferece ainda *tags* com várias opções de alinhamento ou posicionamento.

Textos e exemplos educativos tem sido disponibilizados em *home-pages* com a utilização da linguagem HTML. No entanto, ainda que esta linguagem permita a utilização de imagens, aplicações educacionais de engenharia demandam uma determinada capacidade de processamento e em alguns casos um certo grau de interatividade.

3. COMMON GATEWAY INTERFACE (CGI)

Common Gateway Interface ou CGI é um padrão de interface entre aplicações e servidores *web* (Felton, 1977). Programas CGI são aplicações colocadas em um diretório especial do servidor *web* e executadas pelo servidor, usualmente em resposta a uma solicitação do usuário vinda de um *browser*, como Netscape ou Internet Explorer.

Programas CGI podem ser desenvolvidos em uma variedade de linguagens como C/C++, Delphi, Visual Basic e Perl. CGI pode também ser implementada em várias plataformas, incluindo Unix e Windows. Este trabalho utiliza a linguagem C/C++ devido à sua velocidade

de execução, pequeno tamanho dos executáveis, portabilidade e disponibilidade de compiladores.

Considere o seguinte exemplo :

```
#include <iostream.h>
void main(void) {
    cout << "Content-type: text/html\n\n";
    cout << "<HTML>\n";
    cout << "<BODY>\n";
    cout << "<P>Hello Internet World !</P>\n";
    cout << "</BODY>\n";
    cout << "</HTML>\n";
}
```

O código apresentado mostra um programa simples em C++ que mostra *strings* na tela.

Como qualquer outro programa, ele pode ser executado pelo usuário e o resultado é simplesmente uma saída de texto. Entretanto, o programa pode ser colocado em um servidor *web* e executado a partir de um *browser* padrão. Neste caso, a saída do programa é redirecionada pelo servidor para o navegador que solicitou a sua execução.

Uma página *web* pode ser utilizada não somente para executar um programa CGI como também para permitir a entrada de dados pelo usuário para estas aplicações. Todas as informações são enviadas pelo servidor para o programa como uma *string* contínua que deve ser convenientemente dividida.

4. JAVA

Java é uma linguagem de programação orientada a objetos que pode ser utilizada para a criação de dois tipos de aplicações : programas e *applets* (Naughton & Schildt, 1997). Quando utilizada no desenvolvimento de programas a linguagem Java não difere muito de outras linguagens de computador. A criação de *applets* é, na verdade, o que destaca a linguagem Java. Um *applet* é um pequeno programa enviado pelo servidor através da Internet e automaticamente instalado e executado como parte de uma página *web*.

Considere o exemplo a seguir :

```
import java.awt.*;
import java.applet.*;
public class HelloApplet extends Applet {
    public void paint(Graphics g) {
        g.drawString("Hello Internet World !",20,20);
    }
}
```

O código apresentado simplesmente mostra uma mensagem na janela do *applet* :

Para executar um *applet* em um *browser* é necessário escrever uma página HTML contendo o *tag* apropriado, conforme mostrado a seguir :

```
<HTML>
  <BODY>
    <APPLET CODE=HelloApplet.class" WIDTH=200 HEIGHT=100>
  </APPLET>
</BODY>
</HTML>
```

Java tem como uma característica importante sua portabilidade, baseada na chamada *Java Virtual Machine (Java VM)*. Ao se compilar um programa Java, geram-se instruções para a *Java VM*, que são processadas no computador cliente ou no servidor, dando independência de sistema.

5. INTEGRAÇÃO DE PROGRAMAS CGI E APPLETS JAVA

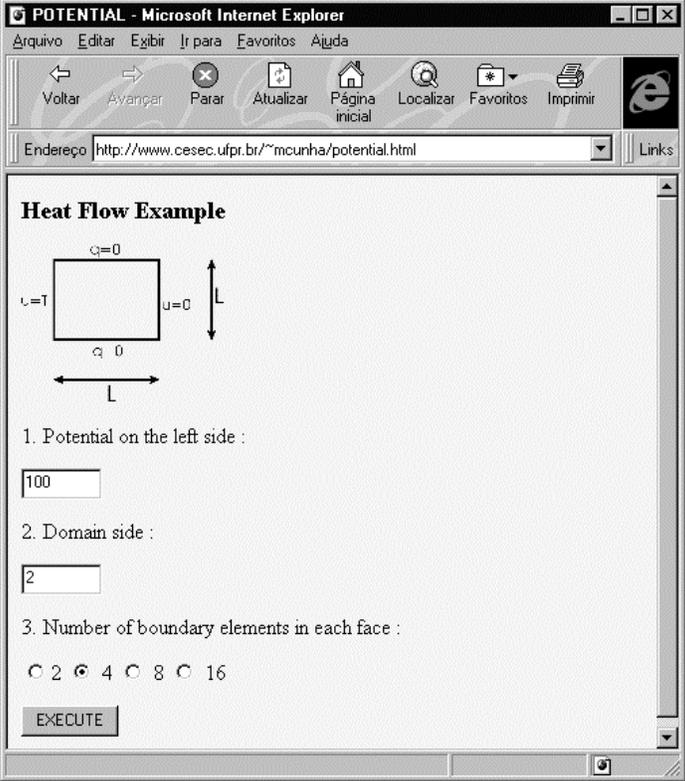
Ainda que os programas CGI e *applets* Java sejam aplicações diferentes, estes programas podem interagir de várias maneiras. Programas CGI podem enviar *applets* Java como parte de uma página HTML enviada do servidor para o *browser* do usuário. Assim, o programa CGI poderia definir os parâmetros de um *applet* ou definir o próprio *applet*. Como a linguagem Java inclui a capacidade de enviar uma URL (*Universal Resource Locator*) é possível para um *applet* Java executar um programa CGI.

6. A APLICAÇÃO

Esta aplicação foi desenvolvida com propósitos educacionais para analisar um problema simples de potencial e está disponível na *home-page* em (Cunha, 2000). Nesta aplicação o usuário deve definir o comprimento do lado do quadrado, o número de elementos em cada face, bem como a temperatura no lado esquerdo do quadrado.

6.1 CGI com *input* e *output* HTML

Em sua versão mais simples, uma página HTML permite ao usuário fornecer os parâmetros do problema e executar o programa CGI para a sua solução (Figura 1).



The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer window titled "POTENTIAL - Microsoft Internet Explorer". The address bar contains "http://www.cesec.ufpr.br/~mcunha/potential.html". The main content area displays a "Heat Flow Example" with a diagram of a square domain. The diagram shows a square with side length L . The left boundary is labeled $u=T$, the right boundary is $u=0$, the top boundary is $q=0$, and the bottom boundary is $q=0$. Below the diagram, there are three numbered input fields:

1. Potential on the left side :
2. Domain side :
3. Number of boundary elements in each face : 2 4 8 16

At the bottom of the form is an "EXECUTE" button.

Figura 1. Entrada de dados HTML.

Quando executado, o programa CGI soluciona o problema e envia os resultados para o usuário como uma nova página HTML, conforme mostra a Figura 2.

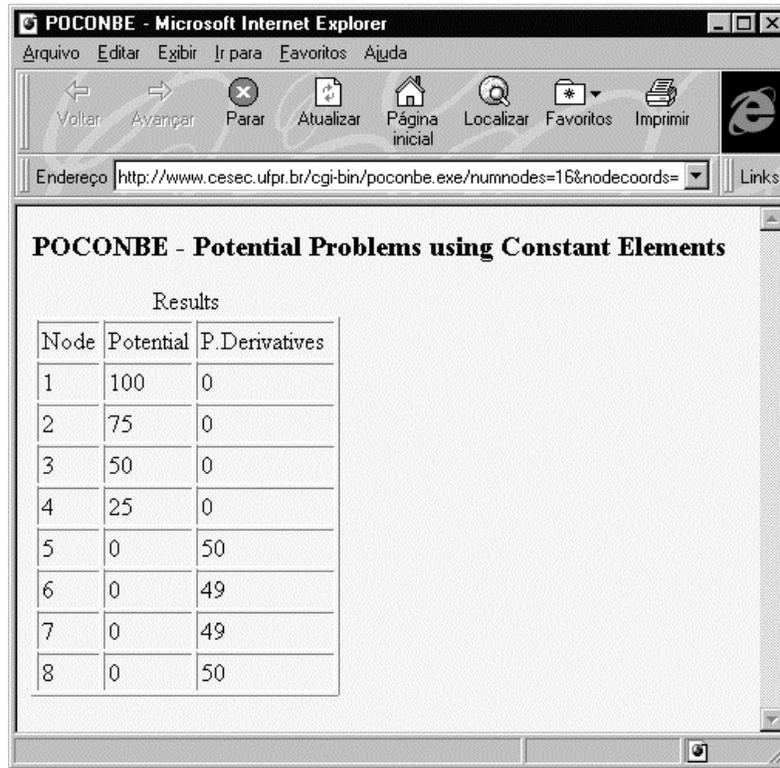


Figura 2. Saída de resultados HTML.

6.2 CGI com *input* HTML e *output* Java

A aplicação pode ainda ser melhorada utilizando-se a capacidade de apresentação dos resultados de forma gráfica, utilizando um *applet* Java.

Ao ser executado, o programa CGI pode enviar o *applet* Java para o browser do usuário, passando para este os parâmetros necessários para desenhar a solução, como mostrado na Figura 3.

6.3 CGI com *input* e *output* Java

A forma final da aplicação utiliza um *applet* Java na fase de entrada de dados, permitindo ao usuário uma definição interativa do problema com o uso do mouse e/ou do teclado, conforme mostra a Figura 4.

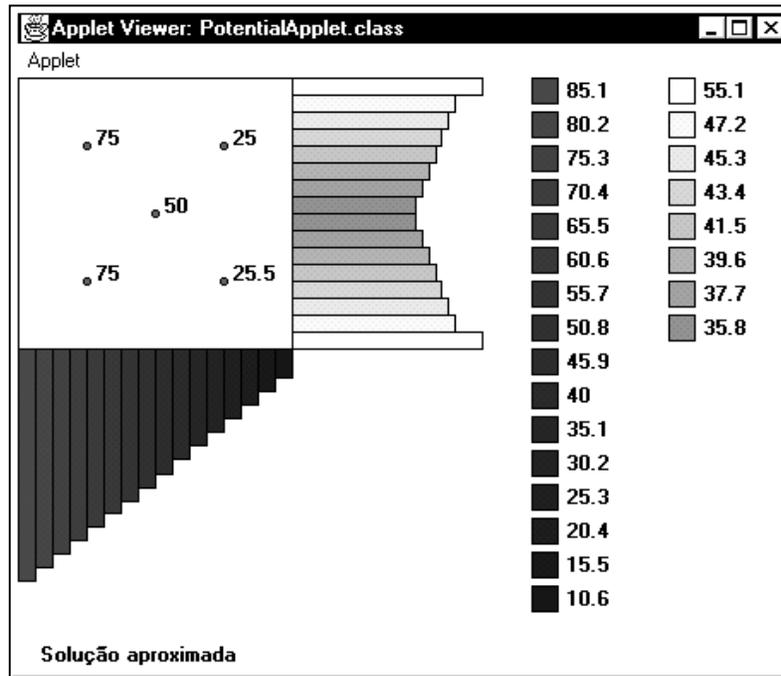


Figura 3. Saída de resultados com *applet* Java

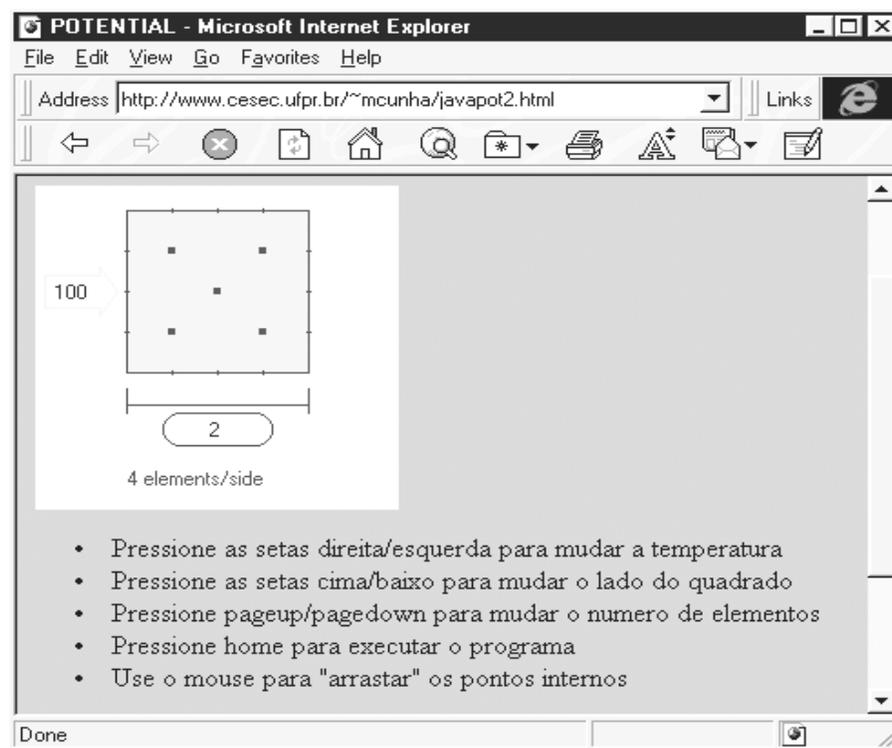


Figura 4. Entrada de dados com *applet* Java.

7. CONCLUSÃO

Uma vez que os applets Java tem a capacidade de resposta à eventos do mouse e do teclado, uma interface interativa pode ser criada.

A pré e pós visualização gráfica no lado-cliente associada a uma verificação dos dados de entrada antes de serem enviados, pode reduzir a carga de processamento no lado-servidor.

Do ponto de vista de engenharia, uma aplicação CGI pode executar qualquer cálculo realizado por um programa padrão, permitindo o desenvolvimento de programas educacionais de qualquer nível de complexidade.

Um programa CGI, em conjunto com a interface gráfica dos *applets* Java, tem as mesmas capacidade e recursos de um programa tradicional com o benefício adicional da acessibilidade, disponibilidade e disseminação que somente uma aplicação Internet possui.

8. REFERÊNCIAS

- Cunha, M.T.F., 1999, "A Pratical Approach in the Development of Engineering Applications to the Internet Using Object Oriented Programming", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. 64p.
- Cunha, M.T.F., <http://www.cesec.ufpr.br/~mcunha>, 31 de janeiro de 2000.
- Felton, M., 1977, "CGI Internet Programming with C++ and C", Prentice-Hall.
- Naughton, P.; Schildt, H., 1997, "Java : The Complete Reference", McGraw-Hill.

ESTRUTURAÇÃO DE UM CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO - ASPECTOS INSTITUCIONAIS, TÉCNICOS, SOCIAIS, DIDÁTICOS E ECONÔMICOS

Celso Luiz da Silva

Vicente Luiz Scalon

Universidade Estadual Paulista, UNESP, Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo C. Coube, s/nº, Bairro Vargem Limpa, CEP: 17033-360, BAURU-SP, Cx. Postal 473. E-mail: celsos@bauru.unesp.br

Resumo

O presente trabalho apresenta detalhes da estruturação, em seus diversos aspectos, de um Curso de Especialização em Refrigeração e Ar Condicionado. São discutidas todas as fases do processo de implantação do curso: estudo de viabilidade, concepção, público alvo, estruturação, atendimento ao regimento da UNESP e do MEC, divulgação, planilha de custos, cobrança de taxas, horário e dias da semana mais atraentes. São apresentadas e discutidas informações sobre o perfil dos alunos e dos professores, e o interesse e envolvimento de empresas do ramo no processo de reciclagem de engenheiros através do referido curso. São discutidas as vantagens para o Departamento, para a formação dos professores e técnicos envolvidos, para a Faculdade e para a Universidade como um todo. Os resultados obtidos mostram que essa iniciativa foi bem sucedida, permitindo que o aluno engenheiro atualize e aperfeiçoe seus conhecimentos, tornando-se mais competitivo profissionalmente.

Palavras-chave: Curso de Especialização, Refrigeração e Ar Condicionado

1. INTRODUÇÃO

A realização de um Curso de Especialização em Refrigeração e Ar Condicionado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da FE-UNESP, foi objeto de estudos e discussões por parte dos professores que trabalham na Área Fluido-Térmica, como resposta a solicitações e anseios da comunidade profissional que trabalha no dia a dia com o tema da geração de frio. Deve também ser considerado, que cada vez mais a concorrência em um mundo globalizado exige que o engenheiro mantenha-se atualizado em relação a novas técnicas, novos equipamentos, novos instrumentos de controle de processo, entre outros aspectos.

A necessidade de se dispor de profissionais competentes para projeto, manutenção e operação de sistemas de refrigeração e ar condicionado é cada vez maior num país de clima tropical como o Brasil. A refrigeração para fins de armazenagem, transporte e processamento de alimentos, ou em processos industriais específicos, e o condicionamento de ar para fins de conforto ambiental, são aplicações que apresentam crescimento substancial atualmente, podendo até ser consideradas indispensáveis.

A região de Bauru, no centro do Estado de São Paulo, contando com mais de um milhão de habitantes e com um padrão sócio-econômico dos mais altos do país é carente de cursos especializados em temas tecnológicos, tais como o da Refrigeração e Ar Condicionado.

Por outro lado, a universidade e os institutos de pesquisas brasileiros são as instituições que podem atender a tal chamamento, é nelas que se encontram os professores pesquisadores, os laboratórios, e o melhor caminho para se conseguir recursos financeiros para a educação continuada de nossos profissionais. Isso, sem considerar que as instituições quando públicas tem o dever de promover a extensão de seus conhecimentos, permitindo de forma inteligente o retorno do investimento que o cidadão nelas fez através dos impostos pagos.

Para a universidade, além das justificativas já mencionadas, esta atividade proporciona a atualização dos docentes envolvidos, permite uma maior interação com as empresas do ramo, possibilita a obtenção de parcerias com outras instituições de ensino, e também permite a captação de recursos extra-orçamentários, além de outras vantagens.

2. CONCEPÇÃO DO CURSO

Conforme descrito na introdução, muitos profissionais de engenharia haviam manifestado tanto aos professores do departamento de engenharia mecânica e aos dirigentes da Faculdade de Engenharia como a entidades classistas regionais, a falta de cursos de reciclagem, do tipo atualização, extensão ou mesmo uma especialização em refrigeração e ar condicionado.

A iniciativa da criação do referido curso partiu da chefia do departamento com total apoio do seu conselho. Designou-se então, um professor da área fluido-térmica para efetuar estudos de viabilidade da implantação e realização do mesmo. O professor coordenador montou uma equipe que promoveu discussões sobre clientela, carga horária, ementa, distribuição de aulas, horário e questões legais internas à instituição e de âmbito estadual e federal.

O público alvo que se pretendeu atingir constitui-se de profissionais formados em engenharia e também de outros profissionais com curso superior que por qualquer razão sentissem necessitados ou interessados em estudar sobre o tema. As inscrições mostraram que 20% dos interessados não tinham a formação em engenharia, assunto que será melhor tratado quando discutir-se o perfil dos alunos.

Para atender à legislação vigente, o curso deveria proporcionar um mínimo de 360 horas/aula, além de exigir que os alunos elaborassem um trabalho de monografia e sua defesa pública perante uma banca examinadora. O curso foi estruturado em disciplinas e tópicos de disciplinas, como é mostrado nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Disciplinas e Carga Horária do Curso de Especialização em RAC

Disciplinas do Curso	Carga Horária (horas/aula)
1) Disciplina: Revisão de Conceitos Fundamentais	48
2) Disciplina: Ciclos Frigoríficos	24
3) Disciplina: Componentes do Sistema de Refrigeração	72
4) Disciplina: Principais Equipamentos de Processo Usuários de Sist.de Refrigeração	36
5) Disciplina: Conceitos Fundamentais em Condicionamento de Ar	48
6) Disciplina: Instalações de Ar Condicionado	36
7) Disciplina: Engenharia de Controle em Refrigeração e Ar Condicionado	36
8) Disciplina: Aspectos Técnicos	48
9) Disciplina: Projeto em Refrigeração e Ar Condicionado	36
Total.....	384

A distribuição das aulas sempre nos finais de semana implicou em que as 384 horas/aula fossem ministradas durante 10 meses. Acrescentou-se mais 04 meses para a elaboração da monografia por parte dos alunos, perfazendo um total de 14 meses de curso.

Tabela 2. Ementas das Disciplinas

Revisão de Conceitos Fundamentais

- Abertura / A UNESP/ O CURSO
- Metodologia Científica
- Revisão de Mecânica dos Fluidos
- Revisão de Termodinâmica
- Revisão de Transferência de Calor e Massa

Ciclos Frigoríficos

- Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor
- Ciclo de Refrigeração por Absorção
- Combinação de Ciclos

Componentes do Sistema de Refrigeração

- Compressores
- Trocadores de Calor (Evaporadores e Condensadores)
- Válvula de Expansão e Tubos Capilares
- Refrigerantes

Principais Equipamentos de Processo Usuários de Sistemas de Refrigeração

- Equipamentos Básicos de Processo
- Levantamento da Área de Troca
- Projeto de Refrigeração na Conservação de Alimentos
- Outras Aplicações (Criogenia, Liofilização, etc.)

Conceitos Fundamentais em Condicionamento de Ar

- Termodinâmica do Ar Úmido
- Psicrometria
- Conforto Ambiental.
- Carga Térmica.

Instalações de Ar Condicionado

- Sistemas de RAC de Pequeno, Médio e Grande Porte
- Ventilação e Distribuição de Ar em Ambientes
- Filtração de Ar e Bombas de Circulação
- Armazenamento de Energia

Engenharia de Controle em Refrigeração e Ar Condicionado

- Instrumentação
- Controle
- Conservação de Energia

Aspectos Técnicos

- Normas e Legislação
- Manutenção de Sistemas de Ar Condicionado
- Acústica e Ruídos Aplicada aos Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado
- Materiais e Processos Construtivos de Serpentinhas

Projeto em Refrigeração e Ar Condicionado

- Técnicas de Elaboração de Projeto em Refrigeração e Ar Condicionado
- Análise Econômica e Mercadológico em Refrigeração e Ar Condicionado

De forma geral, os professores responsáveis pelas disciplinas do curso utilizaram como material bibliográfico: manuais, livros, revistas e artigos usuais da área de refrigeração e ar condicionado, podendo-se citar ASHRAE Handbook (1998, 1997, 1996), diversos exemplares do ASHRAE Journal, CARRIER (1965), CONAN (1990), CREDER (1996),

DOSSAT (1980), ISMAIL (1998), JONES (1983), STOECKER (1985), THRELKELD (1970), TORREIRA (1983) e TRANE (1979).

O curso foi oferecido às sextas-feiras a noite (4 horas) e aos sábados (manhã e tarde, 8 horas), possibilitando que o profissional da região que trabalha oito horas diárias, tenha possibilidade de se atualizar e enriquecer seus conhecimentos, abrindo novas oportunidades. Esta estratégia de horário mostrou-se de grande importância.

A divulgação do curso foi feita com a utilização de vários veículos de comunicação: site na Internet, cartazes, folders, mala direta, outdoors, rádio e jornais. Procurou-se sempre contar com a colaboração desses diversos meios de comunicação, assim sendo, a rádio da própria UNESP veiculou o curso, a home page foi confeccionado no próprio departamento, os jornais divulgaram a matéria como assunto de interesse da comunidade, de forma gratuita, e os folders e cartazes foram confeccionados em gráfica com apoio de um banco.

3. ASPECTOS ECONÔMICOS

A questão da cobrança de taxas e/ou mensalidades em cursos de qualquer tipo oferecido pelas universidades públicas é sempre uma questão polêmica, envolvendo aspectos de gestão financeira, de recolhimento de tributos, de limites, entre outros. Essa questão está regulamentada na UNESP, tendo sido estabelecidos critérios, procedimentos e limites para tal atividade. Fundamentalmente, a instituição observa com rigor a carga horária de cada docente em regime de dedicação exclusiva, não permitindo que essa atividade interfira na qualidade de seus cursos de graduação e pós-graduação *stritu-sensu*.

O curso de Especialização em RAC é administrado financeiramente por uma Fundação interveniente que opera no campus de Bauru, e que para tanto cobra uma taxa pelos seus serviços.

A planilha de custos é elaborada previamente, tomando como base o pagamento mensal de cada aluno e um número máximo e mínimo de alunos que viabilizem a realização do curso. Especificamente neste curso que ora analisamos o valor da mensalidade foi de R\$300,00 mensais durante os 10 meses.

A tabela 3 mostra a planilha de custos do curso. Os percentuais são variáveis dependendo das características do curso e do número de alunos inscritos, delimitado entre uma quantidade máxima e mínima necessária para o funcionamento do curso, a não ser aqueles para a Unidade que estão preestabelecidos.

4. PERFIL DOS PROFESSORES, ALUNOS E PALESTRANTES

O quadro de professores é composto de 14 doutores e 02 mestres, sendo que dentre estes estão profissionais de renomada qualificação na área de refrigeração e ar condicionado. Dos dezesseis professores, onze são dos departamentos da Faculdade de Engenharia de Bauru, quatro são das outras universidades públicas paulistas e um é da Escuela de Ingenieros Industriales da Universitat Politècnica de Catalunya-Barcelona-Espanha.

Inicialmente o curso obteve vinte e cinco inscrições de alunos, sendo que vinte (80%) possuíam formação em engenharia. Os outros cinco inscritos tinham formação em biologia, agronomia, administração de empresas e economia. Depois de dois meses de curso sete alunos haviam desistido, sendo que cinco destes eram aqueles que não tinham formação de engenheiro. No quinto mês de curso, ocorreu mais uma desistência motivada por transferência de emprego do aluno para outro estado. Dessa forma, efetivamente cursaram e concluíram o curso dezessete alunos.

Tabela 3. Planilha de distribuição de custos.

DISCRIMINAÇÃO	Percentual com número máximo de alunos (%)	Percentual com número mínimo de alunos (%)
UNIDADE	30	30
FUNDAÇÃO	7,5	5,5
Docentes (Bruto)	24	32
Coordenação	10	8
Despesas Gerais -Material de Consumo -Material Permanente -Serviços -Transporte -Diárias	9,65	6,7
Secretária do Curso (Bruto)	6,25	6,25
Taxa de Orientação (Bruto)	6,67	6,67
Auxiliar Técnico (Bruto)	4,89	4,88
TOTAL	100	100

Dos dezessete alunos do curso, doze são profissionais que já atuavam na área da refrigeração e do condicionamento de ar e que procuraram se atualizar e melhor qualificar. Quatro eram engenheiros recém graduados que melhoraram seus conhecimentos sobre RAC para melhor competir no mercado de trabalho (ao final do curso os quatro estavam empregados e trabalhando no ramo). Um dos alunos é funcionário do próprio departamento e responsável pelo laboratório de frio.

Além das aulas normais, houve um empenho substancial para a vinda de vários palestrantes de empresas e de associações da área do frio. Assim sendo, estiveram apresentando palestras as empresas Mc Quay, Semco e Microblau, e também o presidente da ABRAVA. Foram realizadas também várias visitas a empresas da região que possuem sistemas complexos e interessantes de refrigeração e ar condicionado.

5. INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA

Para o desenvolvimento de suas atividades, o Curso de Especialização em RAC contou com dois anfiteatros equipados com todos os recursos didáticos e de um laboratório de refrigeração e ar condicionado onde é possível realizar inúmeras experiências, e promover a visualização dos principais componentes do sistema em corte.

O laboratório de informática da Faculdade de Engenharia e a biblioteca do campus de Bauru estavam disponíveis para os alunos do curso.

O cursos ministrados foram totalmente apostilados e alguns programas computacionais disponibilizados aos alunos.

6. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

O curso foi avaliado pelos alunos através de um questionário crítico abordando vários aspectos relacionados com o conteúdo programático, qualidade do corpo docente, instalações, horário, entre outros. Uma Comissão Especial formada por três professores e a Congregação da Faculdade também fizeram uma avaliação do curso.

Os resultados do Curso de Especialização em RAC podem ser assim resumidos:

- **Para a faculdade/departamento:**

- Realizou uma importante atividade extensionista, colaborando na reciclagem e atualização de profissionais de engenharia.
- Promoveu a atualização de seus docentes nos assuntos pertinentes, com reflexos no ensino de graduação e pós-graduação.
- Interagiu com empresas e associações classistas locais e regionais.
- Captou recursos extra orçamentários que utiliza na manutenção e aquisição de equipamentos.

- **Para os engenheiros que realizaram o curso:**

- Reciclaram seus conhecimentos sobre o assunto.
- Atualizaram informações sobre novas tecnologias, mercado, tendências em RAC.
- Melhoraram seus currículos, tornando-se mais competitivos no mercado de trabalho.
- Qualificaram melhor às empresas onde trabalham, melhorando a qualidade dos serviços prestados.
- Em alguns casos, conseguiram emprego.

Para ilustrar a questão da importância tecnológica proposta pelo curso, apresenta-se a Tabela 4 com os temas de monografias desenvolvidos pelos alunos.

Tabela 4. Temas de Monografias

Assunto
Qualidade do Ar Interior
Sistema de Refrigeração por Absorção para uma Churrascaria
Sistema de Frio da empresa COCAM - Liofilização
Instrumentação e Controle em Ar Condicionado
Exaustão em Sistemas de Ar Condicionado
Resfriamento de Leite
Uso do Tubo Capilar em Sistemas para Resfriamento de Leite
Resfriamento a -60°C
Resfriamento de Peixes
Carta Psicrométrica de Bauru
Estudos da Nova Lei de Qualidade do Ar Interior
Condicionamento de Ar em Containers Telefônicos
Resfriamento Evaporativo
Análise de Custos em Sistemas de Termoacumulação
Projeto de Sistema de Termoacumulação – Estudo de Caso
Carta Psicrométrica de Marília
Filtração de Ar

7. CONCLUSÕES

O Curso de Especialização em Refrigeração e Ar Condicionado apresentado atingiu resultados acima do esperado, motivo pelo qual esse modelo poderá ser adotado por outras IES brasileiras, adaptando e/ou adequando o mesmo às suas peculiaridades.

O curso propiciou informações e técnicas para utilização dos novos refrigerantes que minimizam os efeitos de destruição da camada de ozônio, bem como a questão da conservação e racionalização de energia, temas que estão diretamente relacionados com problemas ambientais sérios.

O curso em questão insere-se como uma atividade extensionista importante no contexto da universidade.

8. BIBLIOGRAFIA

ASHRAE Handbook - Fundamentals, SI Edition, 1997

ASHRAE Handbook - Applications, SI Edition, 1998

ASHRAE Handbook - Systems, SI Edition, 1996

ASHRAE Journal, Revistas, Publicação da American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, EUA. (vários exemplares).

CARRIER - Handbook of Air Conditioning System Design - De. McGraw Hill, 1965.

CONAN, J.G.; Refrigeracion Industrial, Ed. Paraninfo; Barcelona-ES; 1990.

CREDER, H.; Instalações de Ar Condicionado, Ed. LTC, 1996.

DOSSAT, R.J.; Princípios de Refrigeração; Ed. Hemus; 1980.

ISMAIL, K. A. R., Bancos de Gelo: Fundamentos e Modelagem, Publicação Independente, 1998.

JONES, J.P.; Engenharia de Ar Condicionado, Ed. Campus, 1983

STOECKER, W.F.; JONES, J.W.; Refrigeração e Ar Condicionado, Ed. McGraw-Hill, 1985.

THRELKELD, J.L.; Thermal Enviromental Engineering, Ed. Prentice Hall Inc., 1970.

TORREIRA, R.P.; Elementos Básicos de Ar Condicionado, Ed. Hemus, 1983.

TRANE - Reciprocating Refrigeration, Manual, 1979.

PROGRAMA EDUCACIONAL PARA ESTUDO DA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUÇÃO E CONVECÇÃO

Míriam Rocchi Tavares

Marcelo Oliveira de Souza

Guilherme Menin Gaertner

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Prof. Mello Moraes, 2231, 05447-030, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: mtavares@usp.br

Resumo

Este trabalho apresenta a primeira versão de um *software* educacional para o estudo da transferência de calor em problemas que envolvam os mecanismos de condução e convecção. O desenvolvimento do programa Transcal 1.0 envolveu alunos de quinto ano do curso de engenharia mecânica como atividade de iniciação científica. O objetivo maior deste programa é servir como uma ferramenta didática adicional em cursos de transferência de calor, seja em aulas teóricas como experimentais. Problemas de condução bidimensional são tratados numericamente enquanto que os referentes a casos unidimensionais são resolvidos analiticamente. O módulo referente à convecção utiliza correlações empíricas. As saídas gráficas possibilitam fácil compreensão dos processos de troca de calor.

Palavras-chave: Educação em engenharia, Programa educacional, Condução, Convecção.

1. INTRODUÇÃO

A utilização do computador na educação moderna como parte integrante do processo de aprendizado tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. Neste contexto, e como consequência do que já ocorre no campo da pesquisa, vem-se estimulando em salas de aula o uso do computador e de *softwares* variados para solução de problemas básicos nas mais diversas disciplinas.

Com relação às ciências térmicas é grande o número de programas existentes no mercado. Entretanto a maioria absoluta destes *softwares* tem por enfoque exclusivamente aplicações técnicas e científicas nas áreas de pesquisa e desenvolvimento e, portanto, dada a sua complexidade exigem do usuário treinamento específico relativamente demorado e conceitos técnicos avançados. Uma exceção a esta regra é o trabalho de Maliska (1999) que desenvolveu um bom *software* didático para cálculo numérico da condução pela técnica dos volumes finitos, mas que não trata casos de convecção.

A proposta que apresentamos neste artigo refere-se a um programa educacional cujo objetivo é servir como uma ferramenta adicional ao ensino da transferência de calor por condução e convecção, para os cursos de graduação nas diversas modalidades de engenharia. A idéia de elaborar tal programa nasceu juntamente com a necessidade de adaptar as ementas dos cursos teóricos e de laboratório de Transferência de Calor, na Universidade de São Paulo, às recomendações para reforma da estrutura curricular (Hernandez et al. 1998) do curso de

Engenharia Mecânica. Tal reforma aconselha a utilização de recursos técnicos modernos nos currículos dos cursos de graduação e enfatiza a necessidade de uma total integração entre os cursos de teoria e práticos. Neste último contexto, o programa computacional desenvolvido tem-se mostrado extremamente útil nas aulas de laboratório permitindo, através do computador, a repetição simulada dos experimentos com materiais e condições de contorno diferentes, o que leva o aluno a adquirir em pouco tempo vivência prática do fenômeno estudado.

O desenvolvimento do programa Transcal, que começou em 1997, envolveu também dois alunos do quinto ano do curso de Engenharia Mecânica que trabalharam durante o período de um ano e que para isto receberam treinamento específico. O programa nesta primeira versão 1.0 permite o estudo da condução unidimensional, transiente ou estacionária, para casos padrões tratados nos cursos de graduação (Incropera, 1996) através da solução analítica do problema escolhido, incorporando arquivos de dados termodinâmicos como função da temperatura, para os sólidos condutores e isolantes mais comuns, bem como para líquidos e gases. A condução bidimensional é estudada através do método das diferenças finitas e o módulo de cálculo permite a utilização das mais variadas condições de contorno sobre o problema estudado, oferecendo como opção adicional a possibilidade de tratar a condutibilidade térmica do material como variável com a temperatura no domínio de cálculo. O usuário pode também selecionar, sobre interface gráfica, diferentes materiais e suas localizações (por movimentação do mouse) no domínio de cálculo. As saídas gráficas permitem fácil visualização da distribuição de temperaturas.

O módulo que analisa a convecção permite o estudo de casos de convecção forçada interna e externa e da convecção mista através da determinação dos números de Nusselt ou Grashof por relações empíricas tiradas da literatura especializada. Neste caso o programa faz uso de várias relações apropriadas para uma mesma situação e mostra os diferentes resultados. Este procedimento leva a uma outra contribuição importante deste tipo de *software* que tem sido a de facilitar a compreensão, pelos estudantes, de que todos os modelos implicam num certo número de simplificações que nem sempre reproduzem perfeitamente a realidade mas que, apesar disto, levam a resultados coerentes.

2. CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA

O programa foi desenvolvido através do EXCEL para o Microsoft Windows. Como configuração mínima para o computador recomenda-se processador típico de um PC 486 de 100MHz e 8 Mb de memória RAM. A escolha do EXCEL, para esta primeira versão Transcal 1.0, em detrimento do C++ ou o Delphi 4.0, baseou-se na decisão de tornar o programa interativo com o usuário permitindo-lhe alterar facilmente os bancos de dados do *software*, pela inclusão de novos materiais ou propriedades termodinâmicas ou mesmo de modificar correlações, no caso dos problemas de convecção. Sendo o Excel um programa de uso generalizado e bem conhecido entre estudantes, esta possibilidade de interação programa/usuário pareceu-nos, nesta etapa inicial, compensar largamente as desvantagens da escolha, que se referem à necessidade de compilação e à maior lentidão na obtenção dos resultados.

2.1. Modelos Matemáticos

Os módulos de condução resolvem a equação da conservação de energia num meio contínuo. Levando em conta a lei de Fourier para a condução através de um sólido, de

material com calor específico c_p , condutibilidade térmica k e massa específica ρ , a conservação de energia se escreve:

$$\nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

onde T representa a distribuição de temperaturas, t o tempo e \dot{q} a geração interna de energia.

Condução unidimensional - O programa trata os casos de problemas estacionários ou transitórios de condução unidimensional, com ou sem geração interna para sólidos de geometria convencional, como esferas, paredes planas e cilindros, através da solução analítica, conforme detalhado nos livros textos mais comuns de Transferência de Calor (Incropera, 1996) e supondo constante. Como condições de contorno pode-se escolher entre temperatura de superfície constante ou coeficiente de transferência por convecção constante. Os resultados mostram graficamente a distribuição de temperaturas ou sua evolução temporal e apresentam o valor do fluxo de calor através da superfície escolhida. Na unidade referente ao regime transiente unidimensional utilizam-se os casos de análise concentrada e as soluções analíticas que geraram as cartas de Heisler, soluções estas descritas em Schneider (1955).

Condução bidimensional - Para os casos bidimensionais estacionários o programa, nesta primeira versão Transcal 1.0, inclui apenas superfícies retangulares, mas apresenta a possibilidade de tratar a condutibilidade térmica do sólido como não-uniforme, variando com a temperatura em cada ponto do domínio. Os valores da condutibilidade do material são interpolados pelo programa a partir de banco de dados para valores discretos, preestabelecidos, da temperatura. Este recurso foi também utilizado para tratar problemas com dois ou mais materiais distintos. A técnica das diferenças finitas é utilizada para a solução do problema.

Neste caso, discretizando-se o domínio de cálculo em elementos retangulares de dimensão Δx por Δy , o balanço de energia no volume de controle em torno de um nó interno (m,n) , conforme esquematizado na Figura 1, leva a:

$$\sum_{i=1}^4 q_{(i) \rightarrow (m,n)} + \dot{q} (\Delta x \cdot \Delta y) = 0 \quad (2)$$

onde $q_{(i) \rightarrow (m,n)}$ representa o fluxo de calor por condução do nó vizinho (i) para o nó (m,n) e \dot{q} a energia gerada por unidade de volume.

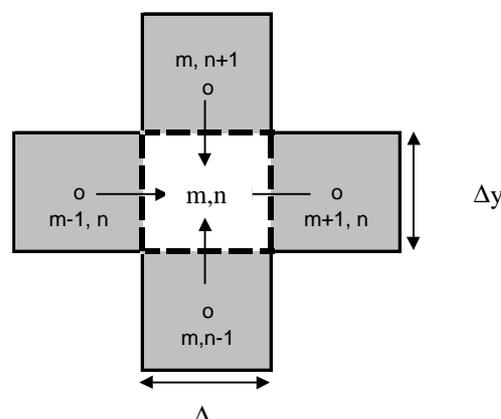


Figura 1. Volume de controle retangular em torno do nó (m,n) e nós vizinhos

Em caso da condutibilidade térmica ser considerada variável com a temperatura, a equação para o fluxo de calor entre o nó $(m-1,n)$ e o nó (m,n) pode ser obtida pela lei de Fourier e resulta:

$$q_{(m-1,n) \rightarrow (m,n)} = \frac{2 k_{m-1,n} k_{m,n}}{k_{m-1,n} + k_{m,n}} \Delta y \frac{T_{m-1,n} - T_{m,n}}{\Delta x} \quad (3)$$

onde $k_{i,j}$ representa o valor da condutibilidade no nó (i,j) . Equações semelhantes resultam para os fluxos provenientes dos outros nós vizinhos de forma que a equação 2, para o volume de controle em torno do nó (m,n) se transforma em:

$$\begin{aligned} & \Delta y^2 \left(\frac{2 k_{m+1,n} k_{m,n}}{k_{m+1,n} + k_{m,n}} \right) T_{m+1,n} + \Delta y^2 \left(\frac{2 k_{m-1,n} k_{m,n}}{k_{m-1,n} + k_{m,n}} \right) T_{m-1,n} + \\ & + \Delta x^2 \left(\frac{2 k_{m,n+1} k_{m,n}}{k_{m,n+1} + k_{m,n}} \right) T_{m,n+1} + \Delta x^2 \left(\frac{2 k_{m,n-1} k_{m,n}}{k_{m,n-1} + k_{m,n}} \right) T_{m,n-1} + \\ & - 2 \Delta x^2 \left(\frac{k_{m,n+1} k_{m,n}}{k_{m,n+1} + k_{m,n}} + \frac{k_{m,n-1} k_{m,n}}{k_{m,n-1} + k_{m,n}} \right) T_{m,n} + \\ & - 2 \Delta y^2 \left(\frac{k_{m+1,n} k_{m,n}}{k_{m+1,n} + k_{m,n}} + \frac{k_{m-1,n} k_{m,n}}{k_{m-1,n} + k_{m,n}} \right) T_{m,n} = -\dot{q} \Delta x^2 \Delta y^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Para considerar a variação da condutibilidade térmica com a temperatura o programa gera inicialmente uma primeira solução impondo k constante para todo o domínio. Posteriormente permite que o usuário escolha se deseja, ou não, refinar as soluções, de tal modo que cada solução anterior sirva como uma melhor aproximação para se determinar a condutibilidade em cada ponto do domínio até a convergência.

O programa também utiliza a equação 4 para um domínio que contenha mais de um material desprezando-se neste caso a resistência de contato.

Por análise semelhante à que levou a equação 4, escreve-se uma equação para cada nó do domínio resultando um sistema de equações lineares cujas incógnitas são as temperaturas nos nós da malha. A solução deste sistema permite determinar a distribuição de temperaturas no domínio. Na resolução do sistema linear o programa utiliza técnica de inversão de matrizes, programada em C++, contida em módulo executável anexado ao Transcal 1.0.

Com relação às condições de contorno o programa é bem geral, permitindo tratar casos de convecção com coeficiente de transferência de calor constante, h , e/ou casos de paredes com temperatura uniforme, ou variável segundo uma função qualquer, a ser definida pelo usuário.

Convecção – O estudo da convecção baseia-se na conhecida lei de Newton para o cálculo do fluxo de calor entre um sólido e o fluido adjacente. Sendo T_p a temperatura a superfície do sólido de área A e T_∞ a temperatura do fluido ao longe, tem-se:

$$q = h A (T_p - T_\infty) \quad (5)$$

Na solução deste problema o programa utiliza correlações empíricas para o número de Nusselt (ou Grashof) em função do número de Reynolds (ou Rayleigh), para casos

encontrados nos livros textos de Transferência de Calor para a graduação (Incropera, 1996). Estes casos referem-se à convecção forçada interna ou externa e à convecção natural, para corpos de forma convencional.

2.2. Estrutura

A estrutura do programa está baseada em dois módulos desenvolvidos através do Excel 7 para Windows 95. O primeiro, UNIDIMENSIONAL, refere-se ao estudo dos casos com solução analítica/empírica e o segundo BIDIMENSIONAL, aos casos da condução bidimensional que foram tratados numericamente.

2.2.1. Módulo UNIDIMENSIONAL

O módulo UNIDIMENSIONAL está dividido em:

Planilha “TRANSCAL” – que contém dois grandes blocos, Condução e Convecção, com as Telas das Ferramentas compostas de Entrada de Dados, Resultados, Gráficos, as Telas de Fórmulas e as Telas de Perfil de Temperaturas. Nestas telas encontram-se definidas as variáveis de entrada e saída, as fórmulas utilizadas nos cálculos para obtenção dos resultados. Como as planilhas são abertas, o usuário pode acrescentar casos não tratados pelo programa, que se baseia apenas nos descritos pelos livros textos para a graduação.

Como ferramenta auxiliar na entrada de dados, pode-se escolher o material do problema a estudar através de uma Caixa de Seleção de Material a ser aberta na tela de entrada.

No caso dos problemas de Convecção o *software* põe a disposição do usuário a ferramenta Caixa de Seleção da Correlação a ser utilizada, da qual constam os nomes das correlações empíricas e seu intervalo de aplicação em termos dos adimensionais característicos. O programa não habilita correlações inadequadas e calcula os resultados para todas fórmulas válidas além da selecionada mostrando-os ao usuário para comparação.

Planilha “TABELAS” - que contém as tabelas com propriedades de substâncias sólidas e fluidos em função da temperatura além dos coeficientes utilizados nas equações. O banco de dados contém informações para mais de 100 materiais sólidos e para 12 fluidos. O usuário pode também complementar este banco com novas substâncias.

Módulo “MACROS” que contém as Macros de Propriedades, de Cálculos e de Movimentação dentro das ferramentas disponíveis. Neste módulo estão definidos os procedimentos para interpolação nas tabelas de propriedades, os cálculos a serem realizados, e transparentes ao usuário, que no entanto pode alterá-los se desejar.

Módulo “FUNÇÕES” que contém algumas fórmulas úteis para o usuário como cálculo de áreas, volumes, velocidades, vazões, etc.

O módulo UNIDIMENSIONAL apresenta ainda um menu para que o usuário possa escolher e alternar entre os dois blocos, Condução e Convecção, da planilha TRANSCAL, escolhendo dentro de cada bloco o caso que deseja estudar, se regime permanente ou transitório, cilindro, esfera, etc.

2.2.2. Módulo BIDIMENSIONAL

O módulo BIDIMENSIONAL trata, nesta primeira versão, o caso da condução bidimensional em regime permanente e, conforme exposto, apenas para domínio retangular.

Leva-se em conta a variação da condutibilidade térmica com a temperatura em cada ponto do domínio. Este módulo está subdividido em:

Entrada de Dados – onde o usuário escolhe as dimensões do domínio e o número de elementos que deseja. Nesta tela deve-se também completar as informações sobre o caso a ser

estudado pela escolha de um ou dois materiais e pela quantificação do termo de geração interna. O programa utilizará as planilhas TABELAS e MACROS do módulo para cálculo das propriedades e interpolação dos vapores da condutibilidade.

Condições de Contorno – que oferece ao usuário barras de opções para cada uma das faces do domínio. Nestas caixas pode-se tanto definir condições de contorno de convecção com coeficiente de transferência constante (eventualmente calculado pelo próprio programa no módulo UNIDIMENSIONAL), como também definir funções matemáticas quaisquer para ao perfil de temperaturas numa face. Funções pré existentes no EXCEL podem também ser utilizadas. Desta maneira cada face do domínio pode estar sujeita a condição de contorno diferente.

Materiais – Caso o usuário opte por domínio contendo dois materiais diferentes este módulo permite que ele defina, sobre o domínio através de movimentação do cursor ou do mouse na tela, a localização de cada material.

Resultados – Este módulo apresenta os resultados para a distribuição de temperaturas no domínio em telas coloridas bi ou tridimensionais com possibilidade de visualização por perspectivas diferentes obtidas por movimentação do mouse (um dos recursos gráficos do EXCEL). Pode-se também optar por acessar a matriz da distribuição de temperaturas resultante na pasta de trabalho MATRIZES.

3. EXEMPLOS

A seguir apresentamos dois exemplos ilustrativos do emprego de TRANSCAL 1.0.

A figura 2 mostra a tela de opções para um problema de condução unidimensional em regime transitório.

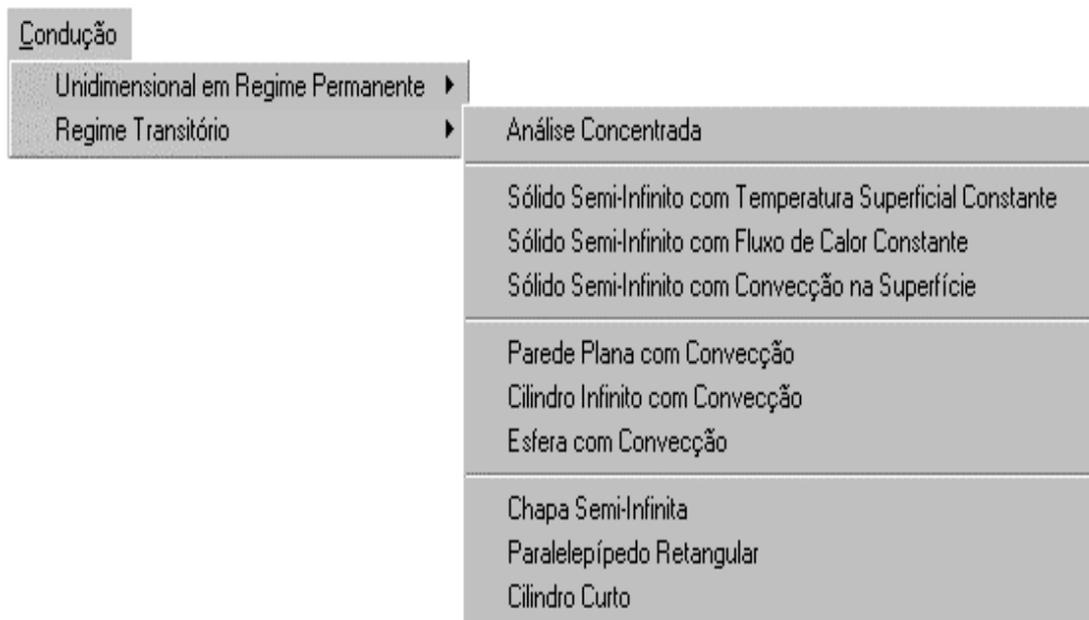


Figura 2. Tela de opções para problemas de Condução Transitória

O estudo do caso da transferência de calor transitória em uma esfera de ferro subitamente imersa em fluido, com superfície sujeita a coeficiente de convecção constante, leva ao resultado da figura 3.

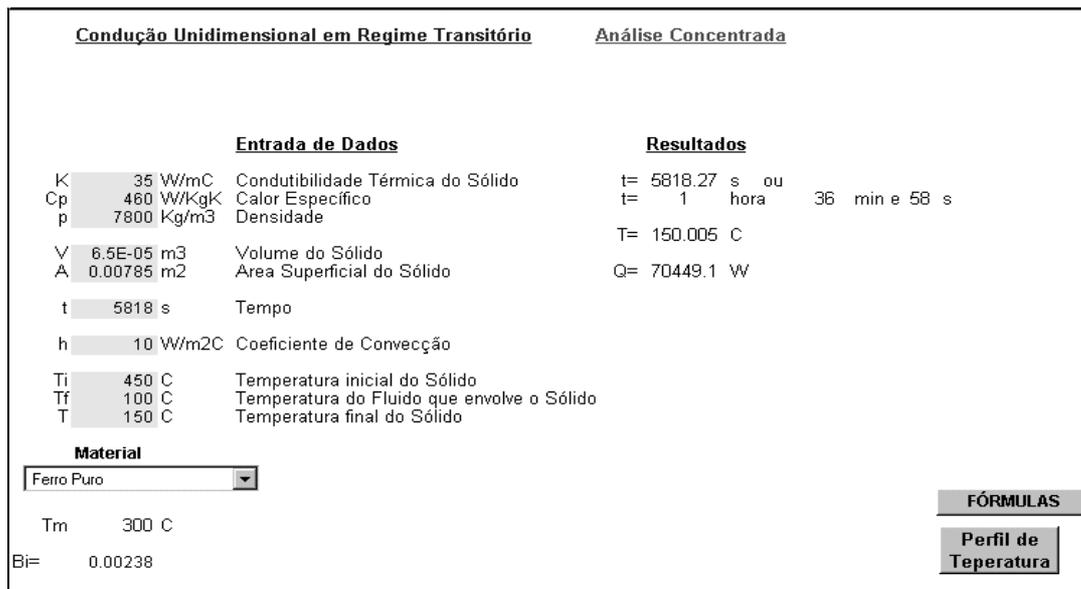


Figura 3. Resultado para problema típico de condução transitória.

A figura 4 mostra o resultado para a distribuição de temperaturas num domínio retangular onde três faces apresentam como condição de contorno temperatura uniforme e na quarta face a temperatura tem distribuição senoidal.

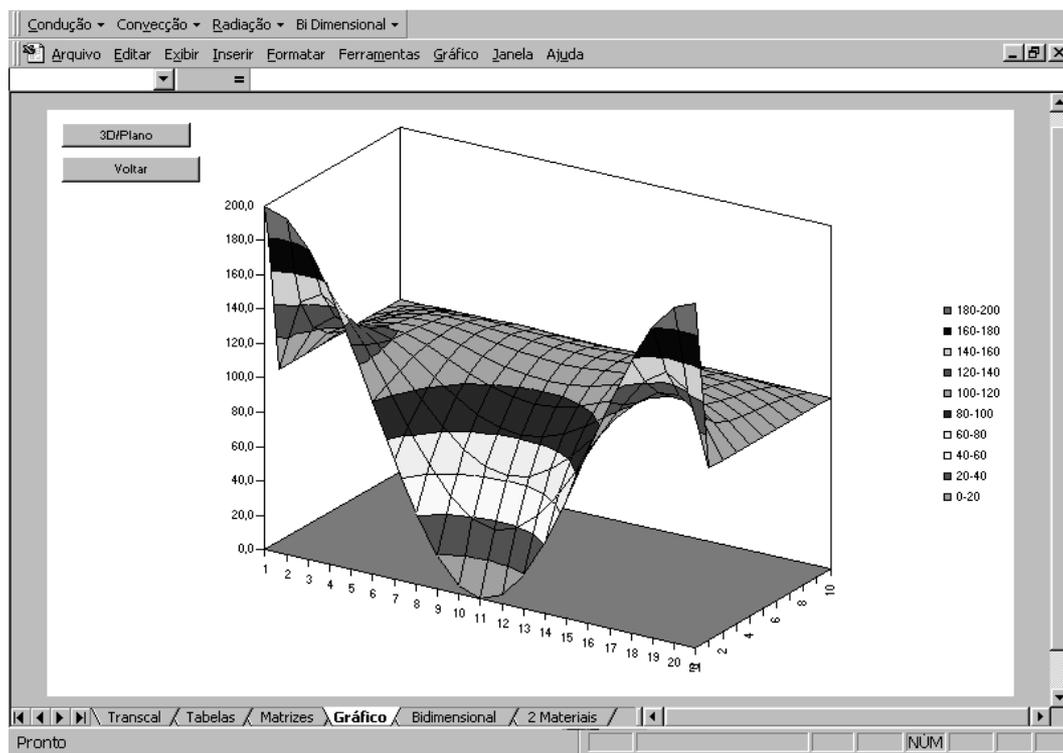


Figura 4. Distribuição de temperaturas numa chapa retangular

Finalmente, a Figura 5 ilustra o resultado no caso de um domínio retangular composto de dois materiais distintos, silício e outro altamente condutor, cobre.

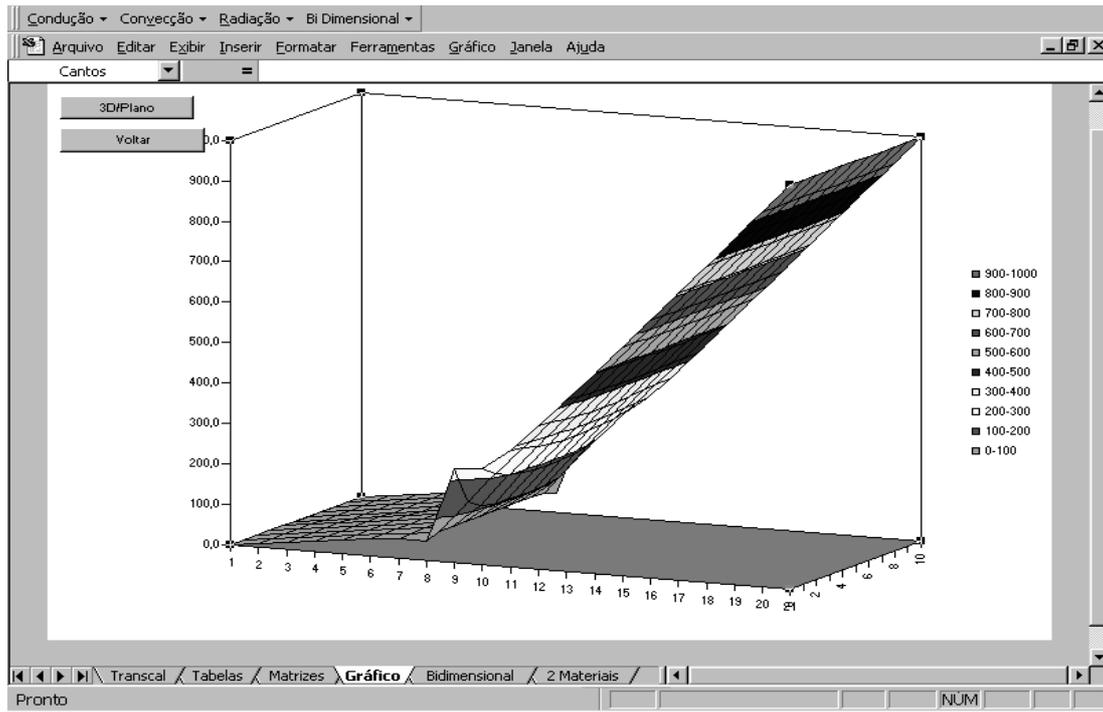


Figura 5. Distribuição de temperaturas em placa composta de 2 materiais

Nota-se na figura 5 a conseqüência da brusca mudança de material na distribuição de temperaturas, o que ocorre na abcissa $x = 8$ cm.

4. CONCLUSÃO

O programa educacional apresentado neste trabalho foi elaborado de maneira a fornecer aos estudantes ferramentas diversificadas para facilitar o compreensão de fenômenos envolvendo troca de calor entre corpos. A utilização do *software* em cursos de laboratório como recurso adicional tem servido para acelerar o processo de aprendizado ao mesmo tempo em que vem proporcionado aos estudantes vivência no assunto através da repetição simulada dos experimentos com materiais e condições de contorno diferentes.

5. REFERÊNCIAS

- Bejan A. 1996, "Transferência de Calor", Ed. Edgar Blücher, Ltda. S. Paulo, Brasil, 540p.
- Incropera F.P. & De Witt D.P., 1996, "Introduction to Heat Transfer", John Wiley and Sons, Inc., 3rd ed., 832p.
- Hernandez Neto A., Tribess A., Fiorelli F.A.S., 1998, "The laboratory as a tool for learning thermodynamics, heat transfer and thermal systems", Proc. International Congress on Engineering Education, ICEE 98, Rio de Janeiro, Brasil, em CdRom
- Maliska C.R., Dihlmann A., Ambrósio V.S., Reis M.V.F., Maliska Jr. C.R., 1999, "Heat conduction teaching, HeatTransfer 1.1 software + new course program", Proc. Brazilian Congress of Mechanical Engineering, COBEM 99, Águas de Lindóia, Brasil, em CdRom.
- Schneider, P.J., 1955, "Conduction Heat Transfer", Addison Wesley, Reading, MA. 395p.

O USO DA MODELAGEM FÍSICA NO ENSINO DO PROCESSO DE FORJAMENTO A QUENTE DE PEÇAS METÁLICAS

Sérgio Tonini Button

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Materiais, 13083-970, Campinas, SP, Brasil. E-mail: sergio1@fem.unicamp.br

Resumo

O ensino de conformação mecânica tem grande importância nos cursos de graduação em Engenharia Mecânica pois aborda processos amplamente empregados na indústria de manufatura, como o forjamento a quente. Uma grande dificuldade no ensino desse processo é a dificuldade de fabricar-se as matrizes necessárias para um dado forjado, bem como a elevada capacidade da prensa necessária, além dos problemas causados pelo manuseio do material aquecido. A simulação numérica não fornece por si só uma resposta definitiva sobre o processo analisado devido às incertezas relacionadas com o comportamento plástico dos materiais metálicos nas condições de processamento e também ao comportamento tribológico das interfaces material-ferramentas. A simulação física possibilita a validação dos resultados numéricos sendo normalmente empregada para esse fim. A simulação física em laboratório exige recursos relativamente menores em equipamentos e ferramentas e permitem avaliar o escoamento do material durante o processo prevendo-se o surgimento de defeitos.

Palavras-chave: Ensino, conformação, forjamento, modelagem

1. INTRODUÇÃO

O ensino de conformação plástica dos metais no curso de graduação em Engenharia Mecânica reveste-se de grande importância pois aborda processos amplamente empregados na indústria de manufatura na qual respondem por etapas intermediárias ou finais de fabricação da grande maioria dos bens produzidos, como componentes para automóveis, para máquinas-ferramentas, para equipamentos e instalações industriais, ferramentas manuais e instrumentos cirúrgicos, elementos de fixação, recipientes, entre outros.

Uma das dificuldades em transmitir-se conceitos e informações sobre a conformação plástica refere-se à grande variedade de processos existentes associada a uma grande diversidade de materiais trabalhados e de produtos fabricados, que envolvem conhecimentos específicos fortemente relacionados à experiência adquirida industrialmente nas áreas de planejamento de processos e de produção.

Lange (1985) apresenta no capítulo 2 uma classificação dos processos de conformação de acordo com o estado de tensão predominante em cada um deles. Numa primeira divisão, definem-se cinco grupos: por compressão, por tração, combinados por tração e compressão, por flexão e por cisalhamento.

A partir desses cinco grupos principais são definidos dezessete sub-grupos relacionados aos processos em suas denominações primárias. Como exemplo, tem-se no grupo de tensões

predominantemente compressivas: a laminação, o forjamento com matriz aberta, o forjamento em matriz fechada, a indentação e a extrusão.

Cada um desses dezessete sub-grupos é novamente dividido para conter as variações de cada processo. A princípio, Lange diferencia essas variações pelo aspecto geométrico do processo, que normalmente está associado à geometria do produto.

Reunidas todas as variações dos processos, atinge-se algo em torno de setenta processos distintos, somente considerando aspectos geométricos. Outros fatores como materiais conformados, dimensões dos produtos ou temperaturas de trabalho poderiam ser considerados nessa ou em outras classificações, aumentando o número de processos e evidenciando ainda mais a complexidade verificada nessa área da manufatura de peças metálicas.

O processo de forjamento por exemplo, apresenta diversas variações de acordo com a temperatura (quente, morno, frio ou isotérmico), livre ou em matriz fechada (com ou sem rebarba), em prensa ou martelo, e processos compostos como o *swaging* e o *cross-rolling*.

Em outra referência importante na área de conformação plástica, Altan & Gegel (1983) apresentam uma outra classificação em que a primeira divisão refere-se à matéria-prima trabalhada, distinguindo os processos que trabalham com volumes, como a extrusão, o forjamento, a laminação e a trefilação, daqueles que envolvem superfícies (principalmente chapas e folhas) como a estampagem, o dobramento e o corte.

Os processos de conformação são tão específicos e apresentam tantas particularidades que é comum encontrar-se livros e manuais escritos especialmente para um determinado processo como em Laue & Stenger (1981) para a extrusão contínua de perfis, Billigmann & Feldmann (1979) para a extrusão a frio e Metals Handbook (1989) para o forjamento.

Assim, no ensino desses processos deve-se aliar os conhecimentos teóricos sobre aspectos metalúrgicos e mecânicos com informações práticas relacionadas com a dinâmica dos processos, os equipamentos empregados e detalhes práticos que garantem a viabilidade dos processos e a qualidade dos produtos conformados.

2. O ENSINO DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA NA UNICAMP

Os processos por conformação plástica são apresentados no curso de graduação em Engenharia Mecânica na disciplina teórica Conformação Mecânica que tem em sua ementa tópicos sobre classificação e descrição dos processos, metalurgia mecânica (encruamento, recozimento, conformabilidade, textura e anisotropia) e mecânica da conformação (teoria da plasticidade, tribologia e métodos de cálculo de tensões e deformações).

A bibliografia básica consiste em livros-textos como Bresciani *et al.* (1997), Dieter (1981) e Schey (1987). Para complementar a teoria vista nas aulas expositivas, os alunos realizam semestralmente uma visita técnica a uma indústria de grande porte no setor de conformação plástica, freqüentemente do setor das forjarias.

Além de avaliados sobre a teoria apresentada nas aulas expositivas, os alunos apresentam um projeto relacionado ao processo de fabricação de uma peça metálica. Atualmente, todo o acompanhamento das etapas do projeto para o forjamento inclui roteiros de projeto e exemplos de aplicação [Button (1998)].

Como afirmado na introdução deste texto, a grande diversidade dos processos de conformação faz com que somente a apresentação de conceitos teóricos não seja suficiente para o aprendizado e a preparação do estudante de Engenharia Mecânica para as atividades industriais que ele irá defrontar em sua profissão. Há necessidade de envolvê-lo com a prática do processo, de modo que ele perceba algumas particularidades dos equipamentos, ferramentas e materiais normalmente empregados e comprove os conceitos teóricos.

Assim, a teoria dos processos de conformação é complementada no curso da UNICAMP com aulas práticas numa segunda disciplina: Laboratório de Processos de Fabricação que também envolve experiências sobre usinagem, fundição, soldagem e metrologia.

3. A SIMULAÇÃO FÍSICA COMO FERRAMENTA ÚTIL PARA O PLANEJAMENTO DO PROCESSO DE FORJAMENTO

Segundo Johnson (1992) o ensino prático da conformação plástica tem outro aspecto extremamente importante quando se observa o grande desenvolvimento ocorrido nos últimos anos no campo da simulação numérica dos processos, destacando-se o método dos elementos finitos. De acordo com Johnson a crescente sofisticação dos métodos e programas disponíveis deve ser acompanhada por um aprendizado prático consistente que permita ao engenheiro atuar positivamente seja fornecendo dados adequados para o pré-processamento (condições iniciais de temperatura, velocidade e atrito e propriedades do material a conformar, entre outros), seja analisando os resultados obtidos em termos de distribuições de deformações, tensões e temperaturas no produto e nas ferramentas que permitam avaliar possíveis problemas durante o processo como por exemplo defeitos nas peças conformadas.

A simulação numérica não fornece por si só uma resposta definitiva sobre o processo analisado devido às incertezas relacionadas com o comportamento plástico dos materiais metálicos nas condições de processamento e também ao comportamento das interfaces material-ferramentas no que se refere ao atrito/lubrificação. A simulação física possibilita a validação dos resultados da simulação numérica e normalmente é encontrada nos diversos trabalhos que tratam da análise de processos como os apresentados por Altan & Ahmetoglu (1996) e Fujikawa (2000), Yoshimura & Tanaka (2000) e Vazquez & Altan (2000).

A simulação física em laboratório empregando materiais de modelamento exigem recursos relativamente menores no investimento em equipamentos e ferramentas, como apresentado por Pertence & Cetlin (1998) e permitem avaliar principalmente o escoamento do material durante o processo prevendo-se o surgimento de defeitos.

Isso é possível pela capacidade de materiais de baixo custo e facilmente acessíveis como a massa de modelar (plasticina) deformar-se e apresentar modo de escoamento semelhante ao de ligas metálicas forjadas a quente, o que permite avaliar-se a capacidade desses materiais preencherem adequadamente as matrizes e fornecer produtos dentro das especificações em ambiente industrial. A figura 1 extraída de Button (1999) apresenta a similaridade do comportamento de materiais de simulação (plasticina e chumbo) forjados à temperatura ambiente e do alumínio comercialmente puro forjado a 400 °C a partir de uma mesma geometria de pré-forma.

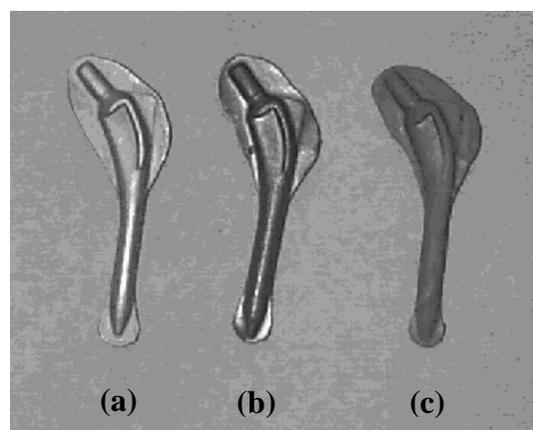


Figura 1. Forjados a partir de tarugos de alumínio (a), chumbo (b) e plasticina (c).

O uso da simulação física tem-se mostrado de grande importância industrial como pode ser observado na figura 2 extraída de Haats (1999), que apresenta a simulação do forjamento a quente de um girabrequim em aço pelo forjamento à temperatura ambiente de massa de modelar empregando matrizes fabricadas em resina plástica (a), que permite observar falhas no preenchimento dessas matrizes (b) e favorece a definição de uma pré-forma adequada de forma rápida e com custos reduzidos.

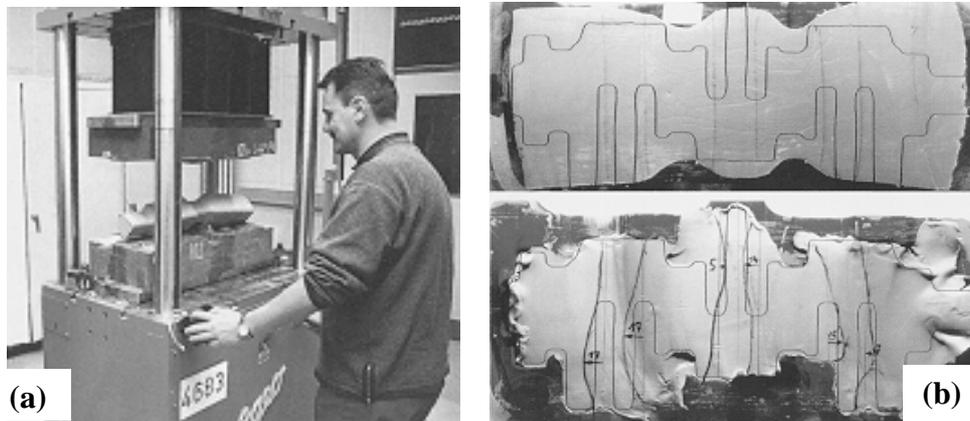


Figura 2. (a) simulação física do forjamento a quente de girabrequins, (b) aspecto do escoamento da massa de modelar nas matrizes de forjamento.

4. AS EXPERIÊNCIAS DE CONFORMAÇÃO NO LABORATÓRIO DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

A seguir descrevem-se os ensaios de forjamento desenvolvidos pelos alunos de graduação na disciplina de Laboratório de Processos de Fabricação, especificamente na área de Conformação Mecânica.

4.1 Os ensaios de forjamento

Objetivos. A partir do desenho de uma peça pronta, os alunos devem projetar e dimensionar o forjado bem como as matrizes de forjamento e fabricá-las em resina epoxi a partir de um modelo do forjado feito em parafina, madeira ou nylon. Empregando essas matrizes, são realizados os ensaios de forjamento que têm por objetivo estudar a influência da pré-forma no modo de escoamento do material, na qualidade do produto forjado e em alguns casos, na redução da quantidade de material na bacia de rebarba. Esses ensaios também permitem avaliar a utilidade de materiais de modelamento, como a plasticina, na simulação de processos de conformação.

Descrição do procedimento para os ensaios. São formados grupos de cinco alunos que recebem um desenho de uma peça de uso em sistemas mecânicos (engrenagens, bielas, garfos de acionamento, volantes) com suas dimensões finais como por exemplo uma engrenagem cilíndrica de dentes retos (Figura 3.a), bem como os materiais necessários para a fabricação dos modelos e das matrizes (massa de modelar, resina epoxi, filme de PVC e espátula).

Empregando critérios normalmente utilizados na indústria de forjamento a frio e a quente, procede-se o dimensionamento do forjado (Figura 3.b) e das matrizes de forjamento (Figura 4), que têm sua forma e dimensões definidas, além do sistema de localização e alinhamento.

essa qualificação, preparam-se pré-formas com diversas quantidades de gesso que são forjadas obtendo-se peças como as mostradas na figura 1.c, definindo-se como a composição mais adequada, aquela que melhor simule o escoamento do alumínio forjado a quente.

Definida a melhor composição da massa de modelar e fabricadas as pré-formas, executam-se os ensaios de forjamento numa prensa hidráulica, empregando-se o filme de PVC como lubrificante entre as superfícies da pré-forma e das matrizes. A análise dos resultados dos ensaios comporá a segunda avaliação dos alunos.

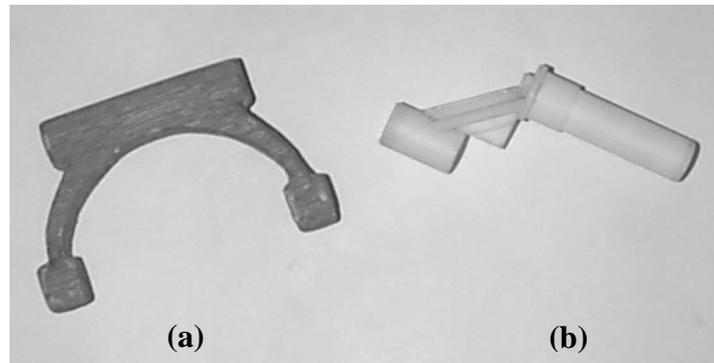


Figura 5. Exemplos de modelos fabricados pelos alunos:
(a) garfo de acionamento de transmissão mecânica em madeira e
(b) pedal de motocicleta em nylon.

Análise dos resultados. O ensaio de forjamento é interrompido durante o curso de trabalho para avaliar-se o modo de escoamento do forjado. Após o forjamento de cada pré-forma analisa-se a qualidade do forjado obtido observando-se se há defeitos de preenchimento causados pelo escoamento inadequado, ou então, se o forjado está corretamente preenchido mas existe um excesso de rebarba que justifique uma redução do volume da pré-forma. Caso necessário, uma nova pré-forma é fabricada, ensaiada e analisada.

As peças forjadas são cortadas em seu plano longitudinal mediano para análise do modo de escoamento que permita prever a formação de defeitos internos.

A figura 7 apresenta peças obtidas nos ensaios de forjamento. A peça (a) relativa à matriz da figura 6.a é mostrada em um trecho de sua parte superior evidenciando os dentes formados e em seu corte longitudinal evidenciando a simetria do escoamento e o preenchimento completo das matrizes. Nesse caso tem-se um exemplo de processo *near-net shape* em que a geometria e as dimensões do forjado são próximas da peça acabada e não há formação de bacia de rebarba.

Na peça (b) relativa às figuras 5.a e 6.b não houve interesse em verificar-se o aspecto interno do escoamento mas principalmente de observar-se a minimização da bacia de rebarba pelo uso de uma pré-forma adequada. Como se observa na figura essa bacia ainda poderá ser reduzida em ensaios futuros, apesar da geometria complexa da peça que dificulta o preenchimento total das matrizes devido ao escoamento lateral predominante.

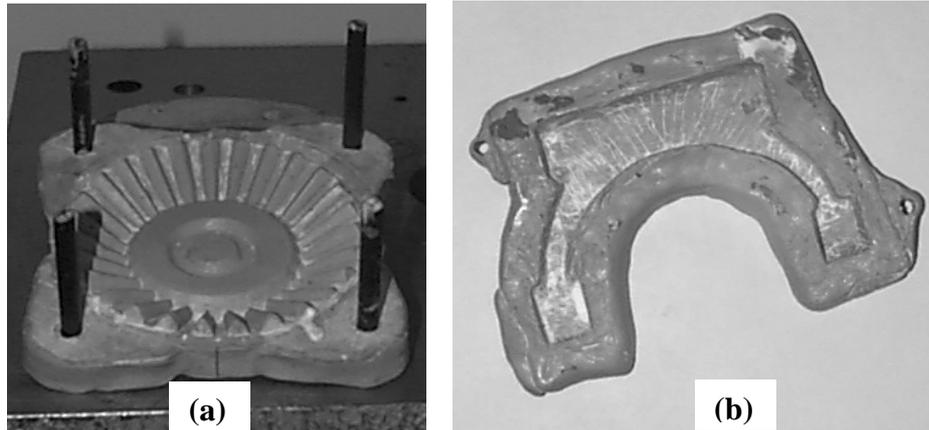


Figura 6. Exemplos de matrizes fabricadas pelos alunos em resina epoxi: (a) engrenagem cônica e (b) garfo de acionamento.

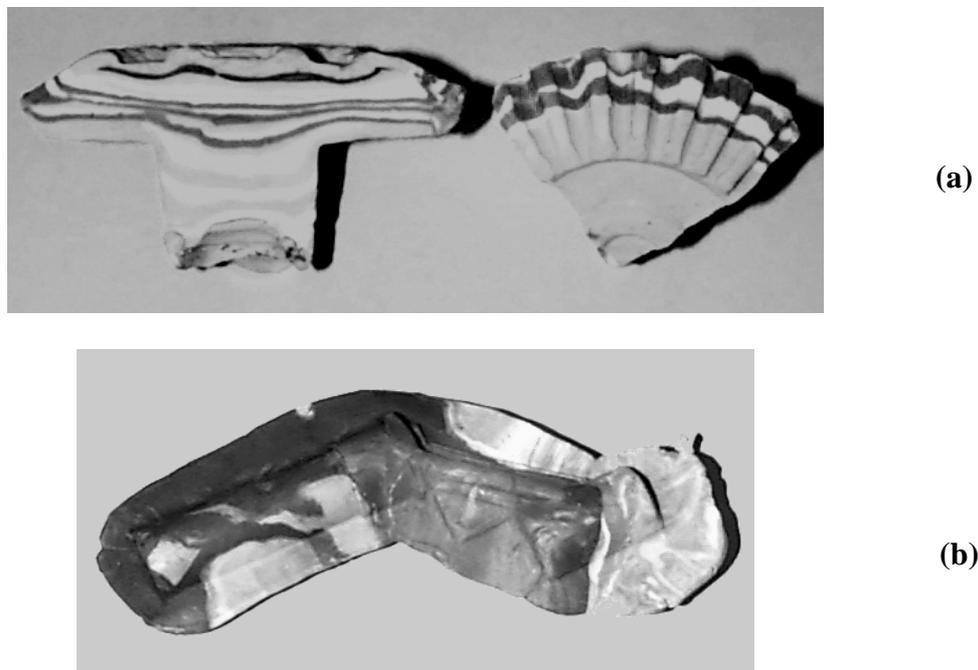


Figura 7. Exemplos de peças obtidas nos ensaios de simulação do forjamento: (a) engrenagem cônica e (b) pedal de acionamento

5. CONCLUSÕES

O emprego da simulação física para análise de processos de conformação como o forjamento é uma ferramenta útil para a otimização dos processos além de ser um método interessante e de baixo custo para a complementação prática da formação dos alunos.

Como esse trabalho vem sendo desenvolvido há pouco mais de um ano, verifica-se a necessidade de aprimorar as técnicas de fabricação dos modelos e das matrizes, principalmente no que se refere ao alinhamento das matrizes superior e inferior.

Também verificou-se a necessidade de desenvolver-se paralelamente à simulação física, modelos para a simulação numérica dos processos de modo a permitir a comparação entre os resultados obtidos nos dois métodos e também envolver os alunos com ferramentas modernas de análise de processos.

6. AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio da Comissão de Ensino e dos alunos de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

7. REFERÊNCIAS

- Altan T. & Ahmetoglu M., 1996, “Special Issue: Selected Papers on Sheet Forming and Stamping and Forging and Machining, from the Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing, The Ohio State University, Columbus, Preface”, Journal of Materials Processing Technology, vol. 59, ns. 1 e 2.
- Altan, T., Oh, S.I. & Gegel, H.L., 1.983, “Metal Forming, Fundamentals and Applications”, American Society for Metals, Metals Park, Ohio,USA.
- Billigmann, J. & Feldmann, H.D., 1979, “Estampado y Prensado a Máquina”, Editorial Reverté S.A., Barcelona.
- Bresciani Fo., E., Button, S.T., Gomes, E., Nery, F.A.C. & Zavaglia, C.A.C., 1997, “Conformação Plástica dos Metais”, 5^a ed., Ed. da UNICAMP, Campinas.
- Button, S.T., 1998, “Roteiro para Projeto de Ferramentas para o Forjamento a Quente”, UNICAMP, Campinas.
- Button, S.T., 1999, "O Ensino em Laboratório de Processos de Conformação Plástica de Metais", Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia, SP, Brasil, CD-ROM.
- Dieter, G.E., 1981, “Metalurgia Mecânica”, Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro.
- Fujikawa S., 2000, “Application of CAE for Hot-Forging of Automotive Components”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 98, n. 2, pp. 176-181
- Haats, J., 1999, “Lightweight Crankshaft Drives Using Forged Components:”, Forum – Technische Mitteilungen ThyssenKrupp, English Edition, Thyssen Krupp AG, p. 54-55.
- Johnson, W., 1992, “Developments in Forming Technology – an Engineering Educator’s Approach”, Journal of Materials Processing Technology, vol. 31, pp. 1-26.
- Lange, K. (Editor), 1985, “Handbook of Metal Forming”, McGraw-Hill Book Co.
- Laue, K. & Stenger, H., 1981, “Extrusion, Processes, Machinery, Tooling”, American Society for Metals, Metals Park, Ohio,USA.
- Metals Handbook, 1989, “Forging”, vol. 14, 9^a ed., ASM International, Metals Park, Ohio,USA.
- Pertence, A.E.M. & Cetlin, P.R., 1998, “Analysis of a New Model Material for the Physical Simulation of Metal Forming”, J. of Materials Processing Technology, vol. 84, pp. 261-267.
- Schey, J.A., 1987, “Introduction to Manufacturing Processes”, 2^a ed., McGraw-Hill Intl.
- Vazquez, V. & Altan, T., 2000, “New Concepts in Die Design - Physical and Computer Modeling Applications”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 98, n. 2, pp. 212-223
- Yoshimura, H. & Tanaka, K., 2000, “Precision Forging of Aluminum and Steel”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 98, n. 2, pp. 196-204.

SOBRE UMA METODOLOGIA DE ENSINO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS ATRAVÉS DA WEB

Elizabeth Vieira Maia

José Márcio Fonseca Calixto

Ramon Pereira da Silva

Roque Luiz da Silva Pitangueira

Krishna Caldas

Euler Mendes Rachid

Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Estruturas, 30110-060, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: idea@dees.ufmg.br

Resumo

Este artigo apresenta a implementação computacional de um simulador para análise de estruturas empregando a metodologia de ensino baseada na WEB. Ele é resultado de uma pesquisa que vem sendo realizada na UFMG pelo grupo IDEA (Interactive Distance Education Aid) cujo objetivo principal é o estudo de novas tecnologias no ensino de engenharia. Da pedagogia sabe-se que a utilização de simuladores motivam estudantes muito mais que os métodos tradicionais de ensino já que a participação deles no processo é o objetivo principal. O simulador de análise estrutural, desenvolvido em JAVA empregando a filosofia de programação orientada a objeto (POO), está integrado a um ambiente computacional de aprendizagem cooperativa. O modelo de implementação segue a arquitetura cliente-servidor. O sistema permitirá também a inclusão de diferentes tarefas ao ambiente mesmo quando o simulador não estiver sendo simultaneamente utilizado. Os resultados deste estudo revelarão as potencialidades do modelo WWW como ferramenta de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Engenharia Estrutural Assistida pela *Web*, Ambientes Educacionais Colaborativos, Simuladores.

1. INTRODUÇÃO

Todas as formas na natureza precisam de uma estrutura para existir. No caso dos insetos e animais são ainda necessárias estruturas para suportar suas atividades. Os insetos e os animais irracionais as constroem por instinto (West, 1989). Para conceber, projetar e construir suas estruturas de tal modo que satisfaçam suas necessidades os homens desenvolveram a Engenharia Estrutural.

Recentemente os cursos de Engenharia passaram por uma reformulação para atender às novas demandas surgidas pelos novos cenários mundiais. Foram implantadas novas áreas e disciplinas e as existentes tiveram que ser otimizadas. Entretanto, permanecem disciplinas básicas da área de Engenharia de Estruturas, nos cursos de Engenharia e Arquitetura, que são

consideradas difíceis e áridas pelos alunos. Dentre os fatores que contribuem para esta imagem, destacam-se:

- a grande quantidade de novos conceitos;
- a necessidade da rápida assimilação destes conceitos para a compreensão dos assuntos subsequentes;
- a dificuldade de serem comprovados, durante as aulas expositivas, determinados fenômenos físicos importantes, muitas vezes investigados em laboratório;
- as limitações dos desenhos no quadro negro, uma forma tradicional em aulas expositivas.

Uma das soluções encontradas para estes problemas é o emprego de modelos gráficos interativos como recurso didático para ilustração qualitativa de determinados fenômenos. A visualização gráfica de modelos estruturais, através de suas formas indeformada e deformada, das condições de carregamento e vinculação, das grandezas internas (tensões, deformações, esforços, etc.) e suas variações no domínio do problema são elementos importantes na compreensão do comportamento das peças estruturais.

Em quase todos os seus aspectos, a vida humana tem sido influenciada pelos computadores. Os computadores são instrumentos capazes de promover diferentes níveis de reflexão, de estabelecer conexões entre o conhecimento adquirido e o pretendido, de aumentar a motivação (Moraes, 1998). Na Engenharia Estrutural, vários métodos de análise, apesar de conhecidos conceitualmente há bastante tempo, só puderam ser aplicados após os computadores atingirem o estágio atual de desenvolvimento. Com os modernos softwares, estruturas complexas estão sendo modeladas. Entretanto, se cuidados não forem tomados, ao invés de construir conhecimento, estas novas tecnologias estarão encobrendo etapas importantes na formação dos engenheiros estruturais. Validar resultados de análise exige conhecer o comportamento estrutural.

Os chamados métodos clássicos de análise são excelentes para criar no estudante o entendimento do comportamento estrutural. Várias são as instituições de ensino que criaram seus softwares educacionais para assistir a análise estrutural juntamente com os processos manuais. Mas no entendimento dos professores componentes do grupo *IDEA*, está faltando no processo de ensino de Engenharia de Estruturas a ligação entre a concepção estrutural e a criação do modelo matemático com a teoria apresentada em sala de aula.

A Internet e seus serviços têm mostrado serem capazes de hospedar ambientes de aprendizagem que promovam a conexão entre a teoria e a prática envolvidas no processo de projeto de estruturas. Estas tecnologias ampliam o espaço reduzido que os livros possuem, disponibilizando sons, movimentos, imagens e cores. Permitem aos alunos formularem e testarem hipóteses, produzirem simulações, construir conhecimento independentes do local onde se encontram, colaborativamente ou não.

As dificuldades inerentes à produção de material eletrônico (custo, deficiência de conhecimentos tecnológicos, falta de uma política educacional específica), não afetam somente a UFMG. A Escola de Engenharia e Arquitetura da *Washington State University* contornou parcialmente estes problemas com a criação de um laboratório de ensino (*Educational Media Systems, EMS*), que funciona graças ao trabalho colaborativo de professores e alunos bolsistas (Brahler *et al.*, 1999).

O grupo *IDEA* trabalha na implantação do *IDEA Lab* com estas mesmas premissas. O *IDEA Lab* é um espaço virtual colaborativo não possuindo as limitações de espaço físico e manutenção inerentes aos laboratórios tradicionais. O *IDEA Lab* aglutinará cooperações de diferentes áreas do conhecimento, evitando que iniciativas isoladas onerem ainda mais o custo de desenvolvimento. Ele não só permitirá a construção de materiais didáticos baseados na *Web*, como contribuirá decisivamente para o domínio das tecnologias e para o entendimento

da pedagogia envolvida. Para os alunos bolsistas será uma oportunidade de adquirir habilidades adicionais que os diferenciara para o mercado de trabalho.

Como elemento embrionário do *IDEA Lab* está sendo desenvolvido o *IDEA Simulator*, um recurso didático de apoio ao ensino de Engenharia de Estruturas. Devido ao alto custo dos programas que integram ferramentas de criação de conteúdos para a *Web*, o *IDEA Simulator* está sendo construído utilizando-se ferramentas gratuitas.

2. IDEA SIMULATOR

A implementação do *IDEA Simulator* (Figura 1) apresenta duas vertentes complementares. A primeira consiste no desenvolvimento, no formato de hipermídia, da apresentação dos conceitos teóricos com exemplos ilustrativos promovendo assim a motivação para o estudo do comportamento estrutural através da experimentação (*Hypermedia Environment*).

A segunda vertente (*Modelling Environment*) implementa uma aplicação escrita em Java que analisa os modelos criados pelo aprendiz e devolve os resultados tanto na forma numérica quanto na forma gráfica.

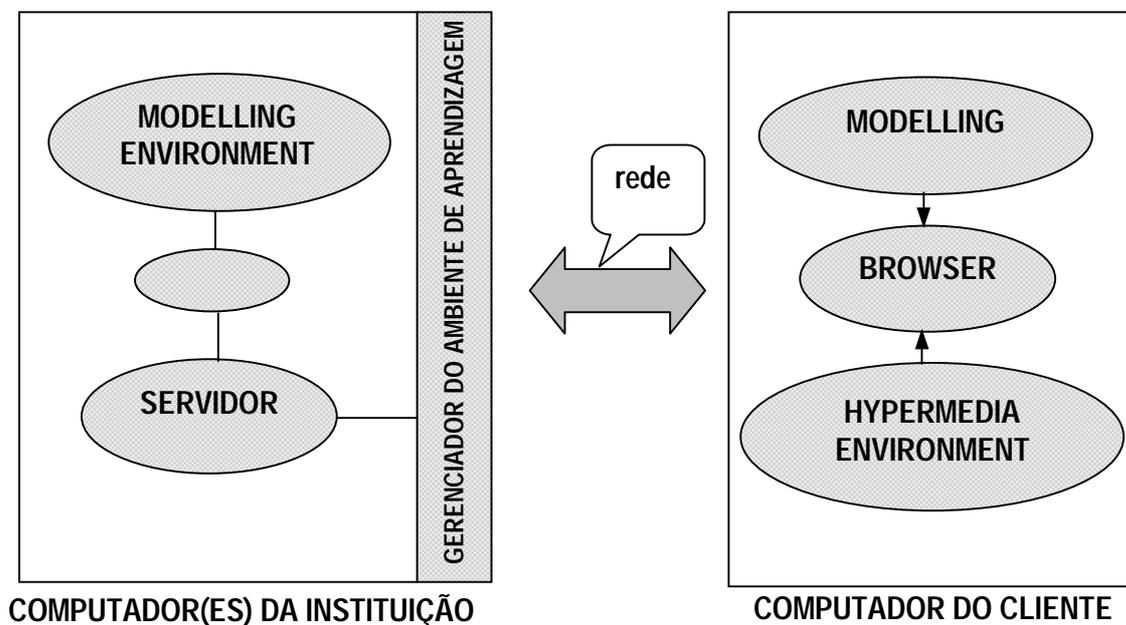


Figura 1. Modelo de implementação do *IDEA Simulator*

2.1 *Hypermedia Environment*

A diversidade dos recursos hipermídia pode intensificar a compreensão de conceitos complexos (Sheer *et al.*, 1998). Estes tipos de ambientes oferecem ao aprendiz oportunidade para que ele possa estruturar seu conhecimento respeitando, assim, sua forma pessoal de aprender.

No projeto do conteúdo conceitual preocupou-se com a consistência, clareza, navegabilidade e velocidade. Pretendeu-se que o espaço ocupado por cada conceito fosse de uma página. Quando isto não foi possível preferiu-se quebrar o conteúdo em várias páginas ao invés de utilizar várias telas. Segundo os *web designers*, as pessoas perdem a concentração quando os documentos são longos (Knox, 1997). Manteve-se um mesmo *layout* para as páginas. As cores para o fundo são bem leves e não houve utilização de elementos pulsantes. A localização dos botões de navegação é à esquerda, no topo e no fim da página. Esta

estratégia de navegabilidade permite que com três a quatro toques no *mouse* possa-se sair do ambiente, voltar ao início de um assunto, acessar o sumário, avançar. O título e subtítulos aparecem logo abaixo seguido do conteúdo (Figura 2). Desta forma o aprendiz sempre saberá onde ele está quando estiver explorando um tópico.

Na apresentação dos conceitos, as imagens estáticas foram tratadas diferentemente de acordo com o tempo de *download*. Quando o tempo excede alguns segundos a imagem é referenciada através de um *link*. Procurou-se disponibilizar exemplos de aplicação dos elementos estruturais em obras conhecidas mundialmente ou que estão presentes na cidade do aprendiz. Nesta versão do *IDEA Simulator* não haverá a disponibilização de vídeos devido à baixa taxa de transmissão de dados na maioria das conexões de rede ainda existentes no país.

O trabalho colaborativo está sendo assistido pela comunicação através de lista de discussão e *e-mails*. A ausência, hoje, de recursos de áudio é também devido à pequena banda passante.

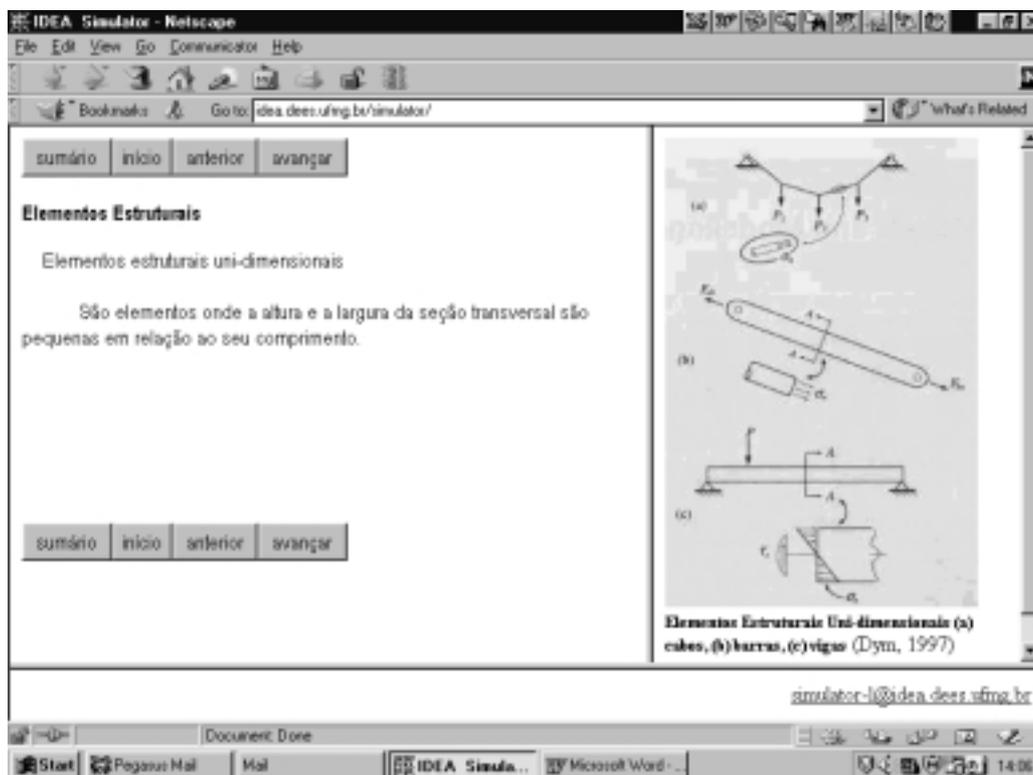


Figura 2. Projeto das páginas de conteúdo do *Hypermedia Environment*

A cada novo conceito o aluno será convidado a criar e/ou examinar modelos estruturais que demonstrem o comportamento mencionado. Neste momento, o *Modelling Environment* passa a ter o controle.

2.2 *Modelling Environment*

Como pode ser notado na Figura 1, o *Modelling Environment* está presente tanto na máquina do cliente quanto no servidor. No cliente ele é fisicamente representado por uma interface gráfica (Figura 3) e no servidor ele é composto por um programa de análise estrutural.

A Figura 4 mostra, simplificada, a organização das superclasses que formam o projeto orientado a objetos da interface gráfica do simulador. Tal organização foi inspirada

nos processos experimentais executados em laboratórios do mundo real por uma máquina de ensaio equipada com painel de controle, dispositivo gráfico capaz de acompanhar a execução do experimento e capacidade de armazenamento automático dos dados do ensaio. A classe *cInterface* simula a máquina de ensaio propriamente dita contendo os elementos do painel de controle (representados através das classes *cMenuBar*, *cControlPanel*, e *cToolBar*) e seu dispositivo gráfico. Tal dispositivo é imaginado como um monitor capaz de apresentar gráficos relativos às grandezas do ensaio e enviar mensagens relativas ao andamento do experimento. Estes dois elementos são simulados, respectivamente, através das classes *cDrawingArea* e *cStatusBar*. A classe *cDrawingArea* se auxilia do pacote gráfico *cIdeaGP*, que permite manipular elementos de desenho em coordenadas do mundo (Maia *et al.*, 2000).

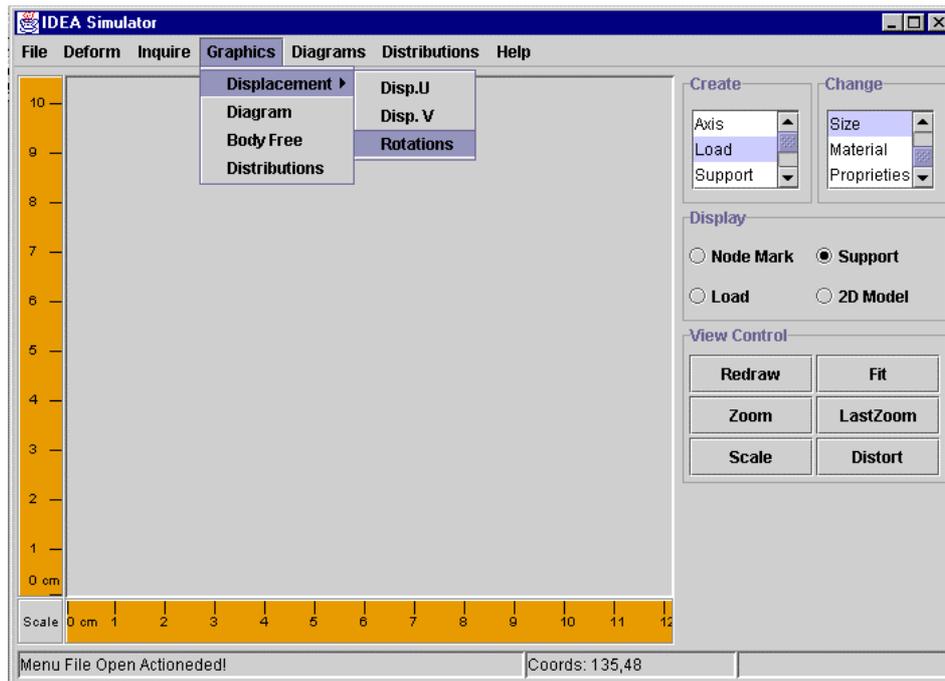


Figura 3. Interface gráfica (*Modelling Environment*)

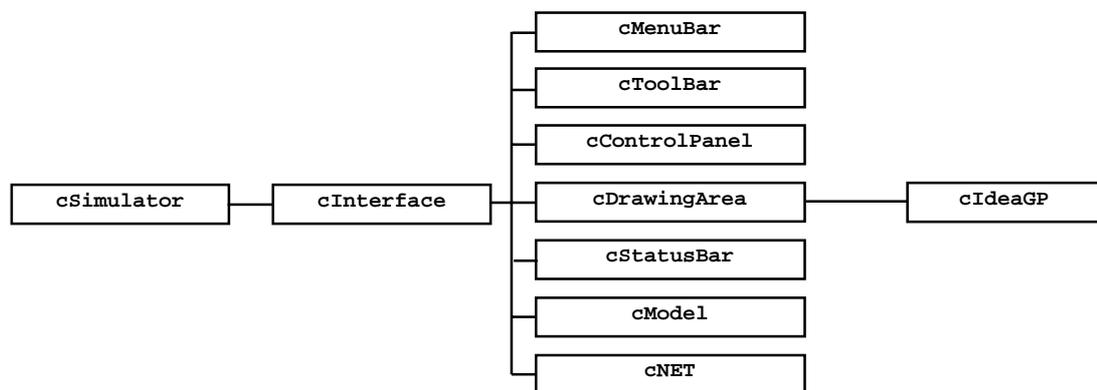


Figura 4. Organização de classes da interface gráfica

As peças estruturais a serem ensaiadas são simuladas pela classe *cModel*, que as representa como modelos de elementos finitos. A capacidade de armazenamento de dados do ensaio é representada pela classe *cNET* que, no lado do cliente, cuida da comunicação com o

servidor para efeito de enviar e receber dados relativos às simulações. O laboratório virtual assim concebido é posto em funcionamento através da classe *cSimulator*.

É importante ressaltar que a classe *cInterface* gerencia a interação com o usuário, através da comunicação com o servidor, manipulando uma estrutura de dados que forma a classe *cModel*. A organização das classes de *cModel* está mostrada na Figura 5.

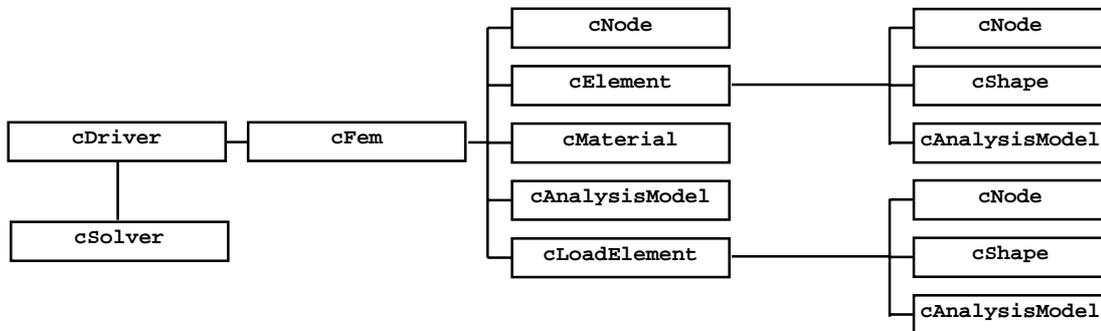


Figura 5. Organização de classes de *cModel*

É importante lembrar que as variáveis e métodos de cada uma das classes acima (Figuras 4 e 5) estão relacionados tanto com o processo de análise estrutural como com a manipulação de imagens via computação gráfica interativa.

A interação com o usuário e conseqüente manipulação dos dados do modelo são graficamente representadas na área de desenho da interface. Tal área é de responsabilidade da classe *cDrawingArea*, cuja hierarquia de classes está mostrada na Figura 6.

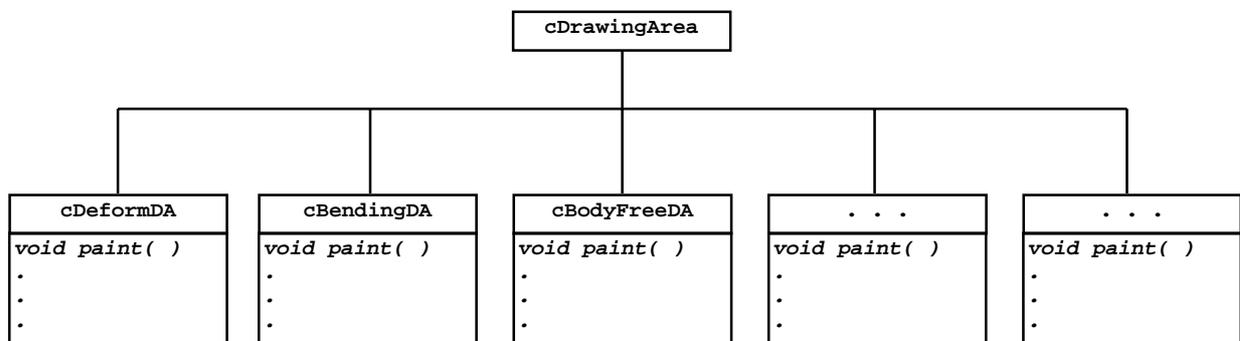


Figura 6. Hierarquia de classes para *cDrawingArea*

Como pode ser visto na Figura 6, a hierarquia apresentada sobrecarrega o método que desenha o modelo (`paint()`) de modo que o objeto do tipo *cDrawingArea* represente o estado corrente do modelo segundo a variável escolhida pelo usuário. Em outras palavras, a classe *cDrawingArea* é instanciada por *cInterface*, segundo interação com o usuário, de modo a representar na área de desenho o estado deformado da estrutura (instanciando *cDeformDA*), diagramas de momentos fletores (instanciando *cBendingDA*), diagramas de corpo livre (instanciando *cBodyFreeDA*), ou qualquer outra imagem representativa do comportamento estrutural da simulação corrente.

A implementação da comunicação cliente-servidor foi desenvolvida com um código CGI que encaminha as requisições para análise estrutural e devolve ao cliente os resultados numéricos. A partir de um protocolo proprietário, a estrutura de dados contida na classe *cModel* é alterada, ora pelo cliente, quando encaminha dados, ora pelo servidor, quando

executa a análise (Figura 7). Tal protocolo tem uma organização semelhante à adotada no projeto orientado a objetos da classe *cModel*.

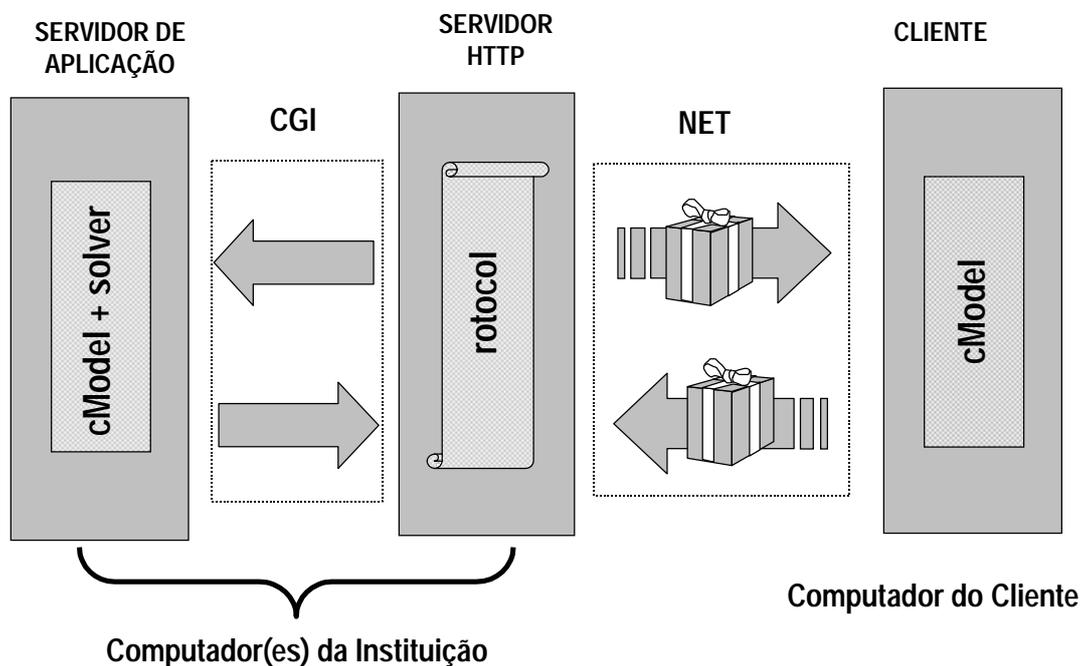


Figura 7. Projeto lógico (*Modelling Environment*)

3. CONCLUSÕES

O *IDEA Lab* propiciará a formação de uma comunidade (professores e alunos) especialistas no uso das tecnologias de comunicação assíncronas, síncronas e remotas, imprescindíveis para disseminação de uma cultura de ensino e aprendizagem baseada na *Web*, aplicadas a qualquer conteúdo didático.

O *IDEA Lab* ajudará no estabelecimento de metodologias de desenvolvimento que promovam uma larga reutilização e manutenção dos materiais didáticos, diminuindo o custo nas novas implementações e atualizações de conteúdo.

Em ambientes de aprendizagem apoiados por computador a possibilidade de simular réplicas de problemas reais minimiza a compartimentalização de conceitos presente nos currículos tradicionais que dificulta a visualização global do processo de projeto.

Em ambientes de aprendizagem apoiados por computador o aprendiz tem o controle das atividades de modo a satisfazer a maneira que lhe é específica de aprender.

4. REFERÊNCIAS

- Brahler, C. J., Peterson, N.S., Johnson, E. C., 1999, "Developing on-line learning materials for higher education: An Overview of current issues", *Educational Technology & Society*, Volume 2, Issue 2.
- Dym C.L., 1997, "Structural Modeling and Analysis", Cambridge University Press, United Kingdom, 261p.
- Knox, E.L.S., 1997, "The Pedagogy of Web Site Design", *ALN Magazine*, Volume 1, Issue 2.

- Maia, E.V., Pitangueira, R.L.S., Silva, R.P., Calixto, J.M.F., Caldas, K., Rachid, E.M., 2000, “Análise Estrutural Assistida pela Web”, The Sixth Interamerican Conference on Engineering and Technology Education (Intertech 2000), Cincinnati, Ohio.
- Moraes, M. C., 1998, “Novas Tendências para o Uso das Tecnologias da Informação na Educação”, <http://www.edutecnet.com.br/>
- Sheer, S., Pedrozo, P.H., Maggi, Y.I., Machado, R.D., 1998, “Development of Hypermedia for Structural Engineering Teaching and Learning”, Computational Mechanics: New Trends and Applications, CIMNE, Barcelona, Spain.
- West, H. H., 1989, “Analysis of Structures: an integration of classical and modern methods”, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, USA, 707p.

IMPORTÂNCIA DO ENSINO EXPERIMENTAL NA FORMAÇÃO DE UM ENGENHEIRO MECÂNICO

Antonio de Pádua Lima Filho*

Edmar Maria Lima Lopes**

Cesar Fernandes*

Universidade Estadual Paulista-Unesp, Campus de Ilha Solteira, *Departamento de Engenharia Mecânica, ** Departamento de Matemática, 15385-000, Av. Brasil, Centro-56, Ilha Solteira, SP, Brasil. E-mail: padua@dem.feis.unesp.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é mostrar o desafio enfrentado pelos alunos de graduação do curso de Engenharia Mecânica da FEIS-UNESP na fabricação de um sistema de trefilação. Este sistema foi totalmente construído nas dependências da oficina do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM). Ferramentas foram especialmente construídas para usinar as três trefilas empregadas na redução de área (27% em cada redução) de um arame de cobre de 4,8mm de diâmetro. As trefilas, após usinadas, foram temperadas em óleo seguidas de revenimento para obter uma dureza de 52HRC. Um motor trifásico (3/4cv) transmite um movimento a um redutor que aciona, por corrente, duas engrenagens de tamanhos diferentes, para variar a taxa de deformação do material no interior da trefila. Essa experiência foi muito gratificante tanto para os alunos como para o professor deste projeto. Foi observado que os alunos, durante o desenvolvimento do trabalho experimental, adquiriram confiança para vencer desafios, divulgaram o trabalho prático para as outras turmas e principalmente, desenvolveram trabalho de equipe (cooperação). A instrumentação da máquina de trefilar será possível numa outra etapa, conforme programa previsto anteriormente. O sistema de trefilação construído servirá como pesquisa e permitirá a prática da teoria apresentada em sala de aula.

Palavras-chave: Engenharia mecânica, Ensino, Trabalho experimental, Trefilação

1. INTRODUÇÃO

O domínio dos processos de fabricação é muito importante para um país, principalmente para aquele que almeja independência tecnológica. Então, o estudo destes processos e o seu desenvolvimento dentro de um curso de Engenharia Mecânica são fundamentais.

Evidentemente, durante o desenvolvimento de um processo de fabricação, será necessário estudar os tipos de materiais que devem ser aplicados para um determinado componente da máquina que está sendo construída. Neste contexto, Brito (1999) descreve a importância do ensino de ciência de materiais e tecnologia no curso de Engenharia Mecânica.

Aliado ao uso de materiais, as técnicas de usinagem, soldagem, elementos de máquina e emprego do projeto auxiliado por computador (CAD), que eventualmente foram aplicados neste trabalho, são outras frentes de estudo que tendem a desenvolver o conhecimento tecnológico do aluno.

Nesta mesma linha de raciocínio, o trabalho de equipe, com auto confiança e credibilidade são outros pontos também importantes no processo de aprendizagem. Neste

sentido, Romano e Dallmeyer (1999) desenvolveram um sistema de avaliação pessoal. Eles relatam que na primeira aula do semestre é muito importante a apresentação dos alunos. Isto visa criar um ambiente de cooperação (trabalho de grupo).

Toda a atividade de simulação, seja ela experimental ou através de modelos matemáticos, é fundamental para o sucesso na atividade industrial do aluno de Engenharia Mecânica. Entretanto, mesmo que os experimentos tenham tendência de simular uma atividade industrial (a máquina de trefilação construída neste trabalho, por exemplo), jamais poderia simular de forma real as condições industriais.

O teste no equipamento construído é a fase final do projeto. Naturalmente, o equipamento pronto precisa ser testado várias vezes até atingir o funcionamento esperado. Evidentemente, o equipamento quase sempre não funciona na primeira tentativa. Um momentâneo sentimento de desânimo ocorre. Entretanto, esta é justamente uma etapa ativa em que o aluno se enriquece mais. A vontade de solucionar o problema faz com que aumente sua criatividade. Assim, o aluno neste momento, começa a relacionar o modelo mecânico teórico com modelo mecânico prático (equipamento pronto). Certamente, este tipo de atividade prática faz com que o aluno enriqueça profissionalmente. Bernadini *et al.* (1999) citam que a experimentação é indispensável para formação em engenharia. Estes autores relatam que o uso de multimídia deve ser usada também para complementar as experimentações realizadas.

Por outro lado, Bittencourt e Feijóo (1999) têm desenvolvido somente simulação que utilizem ferramentas computacionais (softwear) e multimídia para alunos de graduação. De acordo com estes autores, estas ferramentas possibilitam ao aluno relacionar consistentemente os assuntos apreendidos teoricamente com modelos virtuais.

Braga (1999) enfatiza o uso da internet como suporte ao curso de transmissão de calor do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Ele analisa os custos envolvidos para implantar o material didático via internet, as vantagens e as desvantagens do uso da internet em sala de aula. Bernadini *et al.* (1999) mostra o site Metais (<http://www.materiais.ufsc.br/metais/index.htm>) como um meio educacional focalizando a área de materiais e processos de conformação mecânica. Este site também estabelece uma conexão dos diversos materiais/processos com seus respectivos fabricantes, revendedores e/ou executores.

O sistema de trefilação projetado e construído na Oficina do DEM/FEIS/UNESP, é um equipamento didático e de pesquisa não disponível para compra no mercado nacional. Este visa estudar a tecnologia de trefilação pouco pesquisada no Brasil.

Com a máquina pronta, o aluno vai poder observar o efeito do atrito na carga necessária para operação de trefilação na segunda etapa do projeto. O atrito é um dos principais fatores considerados na operação de trefilação, ou qualquer outra operação de deformação plástica dos metais. Na trefilação, este provoca aquecimento e desgaste da fieira. Disto resulta em perda da eficiência do processo. O aluno poderá também observar o efeito do encruamento, taxa de deformação sobre esta carga.

A máquina de trefilar foi totalmente construída com recursos disponível no DEM/FEIS/UNESP. Parte da reforma (pintura) contou com o apoio financeiro da iniciativa privada. No futuro, um projeto vai ser encaminhado a uma agência de fomento e pesquisa para a instrumentação deste equipamento.

2. PROCESSO DE TREFILAÇÃO EXPERIMENTAL

Existem dois tipos básicos de equipamentos para realização da trefilação experimental (Seybolt & Burke, 1969):

1. trefilado de banco (equipamento construído neste trabalho);

2. máquina de estirado tipo carretel.

Um equipamento de trefilação para laboratório não é usualmente encontrado no mercado. Assim, há necessidade de ser projetada e construída uma máquina de trefilação experimental. Para isso, empregam-se um motor de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ cavalo de força (Seybolt & Burke, 1969) (neste trabalho $\frac{3}{4}$ cv), redutores de velocidade, sistema de transmissão (bobinas, engrenagens, eixos, correntes, entre outros). Estes componentes foram entretanto usados na construção da máquina de trefilação pelos alunos neste trabalho.

3. MATERIAIS

O sistema de trefilação fabricado pelos alunos da disciplina de Conformação Plástica dos Metais do DEM/FEIS/UNESP no 1º. semestre 1993, foi remodelado para torná-lo operante. A recuperação foi feita a partir do levantamento dos materiais disponíveis e uma estimativa de preço daqueles que seriam adquiridos no mercado.

A máquina de trefilação foi projetada para trefilar arames de cobre e de alumínio com diâmetro inicial aproximado de 4,8mm. Três fieiras de aço (carbono equivalente maior que 0,4% em peso), temperadas e revenidas, foram usinadas na oficina do DEM/FEIS/UNESP para produzir uma redução de 27% em área para cada fieira (Figura 1). Esta foi uma tarefa cumprida pelos alunos da disciplina de Conformação Plástica dos Metais do 1º. semestre de 1993 (Figura 2).

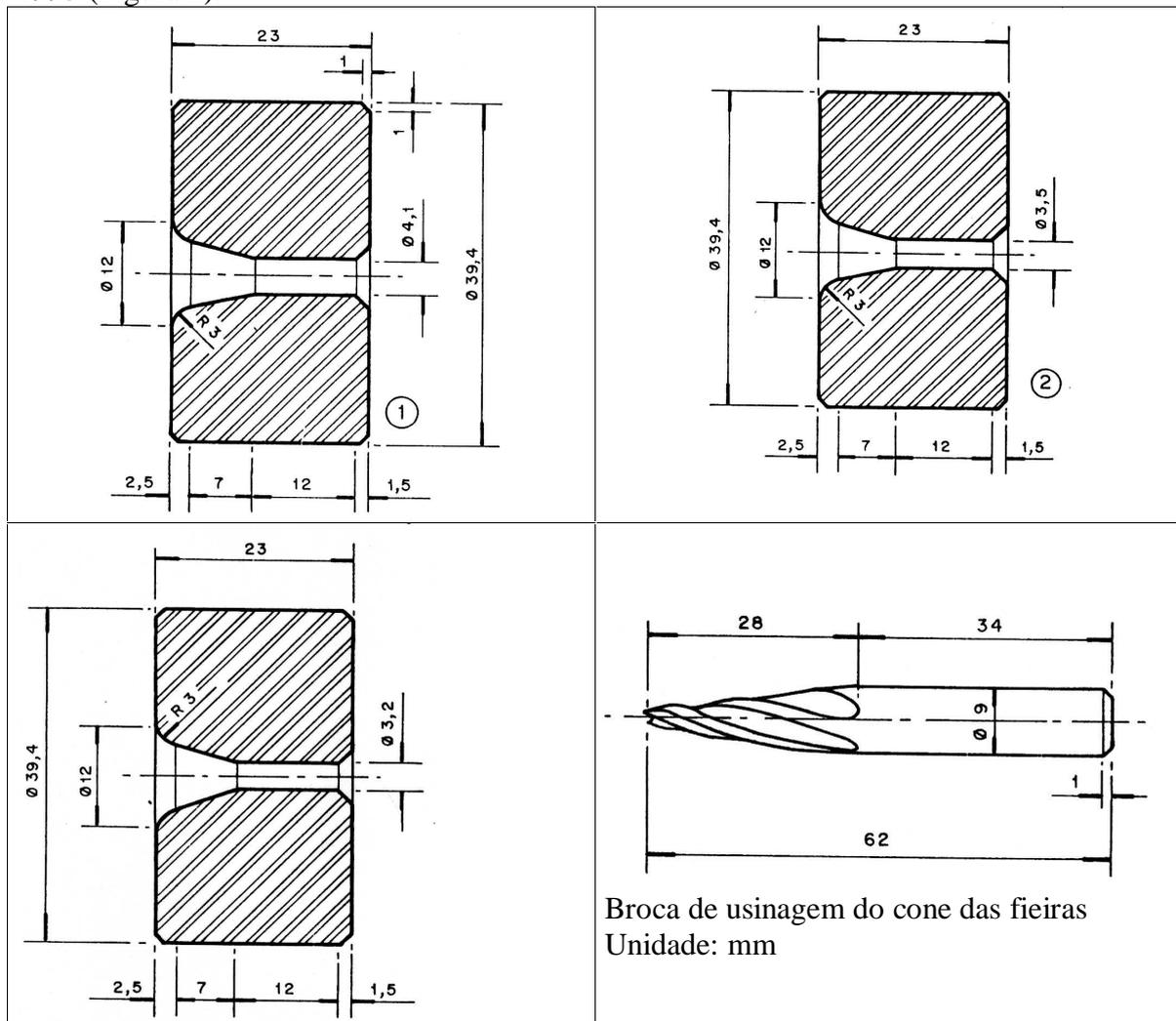


Figura 1. Geometria e dimensões das fieiras e da ferramenta usada na confecção do cone das fieiras.



Figura 2. Alunos do 1º. semestre da disciplina de Conformação Plástica dos Metais de 1993, trocam informações na finalização da máquina de trefilação.

A principal ferramenta deste trabalho foi a participação dos alunos na fabricação do equipamento de trefilação. Existiu uma descontração do grupo na checagem do equipamento construído. Esta descontração, gradativamente, fez com que os alunos trabalhassem em grupo (Figura 2). Intuitivamente, eles foram levados por tomar decisões próprias durante os testes preliminares do equipamento construído. Só após algumas tentativas frustradas o Professor e os Técnicos participaram com sugestões para resolver os problemas. Até esta etapa, pelo exercício da prática, o aluno estava construindo o seu próprio conhecimento. Isto colaborou e muito na disciplina teórica, pois leva o aluno a ter vontade de pesquisar mais sobre o assunto, fundamental para a formação do aluno de graduação. Além disso, o grupo passou a ter um certo *status* perante as outras turmas.

Esta máquina (Figura 2) apresentou problema quanto ao tracionamento do arame. Para que houvesse a recuperação e o remodelamento do equipamento de trefilar, foram verificados os materiais disponíveis. Uma estimativa de preço dos materiais necessários para o término desta máquina foi feita. Houve participação da comunidade nesta recuperação. Por exemplo, a pintura da máquina foi financiada pela empresa SERVITEC-Ltda, Empresa situada em Ilha Solteira/SP.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A reforma iniciou-se pela recuperação do sistema de transmissão que interliga o redutor ao carretel tracionador por uma corrente dentada. Este sistema, através de um cabo de aço (ϕ 6mm), fornece a força necessária para o acionamento do carrinho (veja Figura 3). A função deste carrinho é tracionar o arame de cobre ou de alumínio através da fieira.

Para isto, foi necessário a adição de mais uma engrenagem cônica de dentes retos e dois mancais de deslizamento na caixa de engrenagem. Esta dá a sustentação ao eixo (ABNT 1040), através do qual, se transmite rotação ao carretel tracionador. Os dois mancais de deslizamento posicionados entre os mancais de rolamento têm a função de apoio do eixo a fim de suportar o esforço de flexão durante a operação. Na extremidade, junto aos mancais de rolamento, foi acoplado duas porcas para contrapor ao movimento axial do eixo. O deslocamento axial do eixo foi observado durante testes preliminares.

A rigidez da estrutura da máquina também foi aumentada para garantir o esforço transmitido pelo carretel, quando do tracionamento do arame através da fieira. Dois perfis “L” de abas iguais de 11/2” por 3/16” de espessura, serviram como trilhos ao carrinho tracionador (Figura 3).

Um dispositivo de segurança na máquina de trefilar foi implantado. Para isto, duas barras cilíndricas de 10mm de diâmetro de aço baixo carbono (ABNT-1020) serviram como guia do carro tracionador. Estas impedem que o carro tracionador saia dos trilhos, evitando assim futuros acidentes durante a operação (Figura 3).

A última etapa da reforma foi a pintura da máquina de trefilar. Assim, foi necessário uma pesquisa sobre padrões de cores utilizadas em máquinas. A norma NBR-N 2004 padroniza estas cores. De acordo com esta norma, a cor azul é aplicada para partes fixas, enquanto a cor amarela é aplicada para as partes móveis. Os desenhos (26 pranchas) dos componentes da máquina de trefilar remodelada foram feitos por um aluno utilizando o AutoCAD R2000. Parte da equipe que participou da recuperação desta máquina é mostrada na Figura 4.

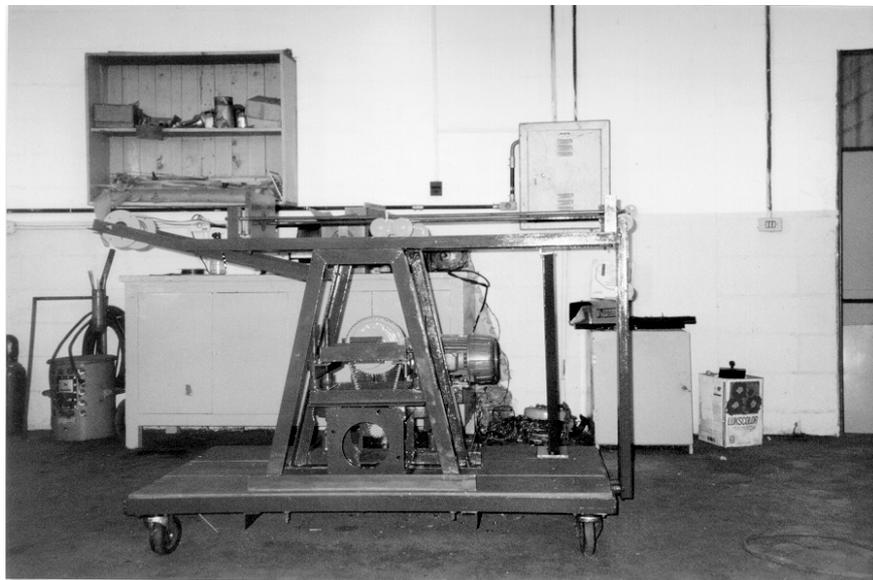


Figura 3. Máquina de trefilação pintada de acordo com a norma ABNT (NBR-N 2004). As cores azul e amarela indicam respectivamente as partes fixas e as partes móveis.

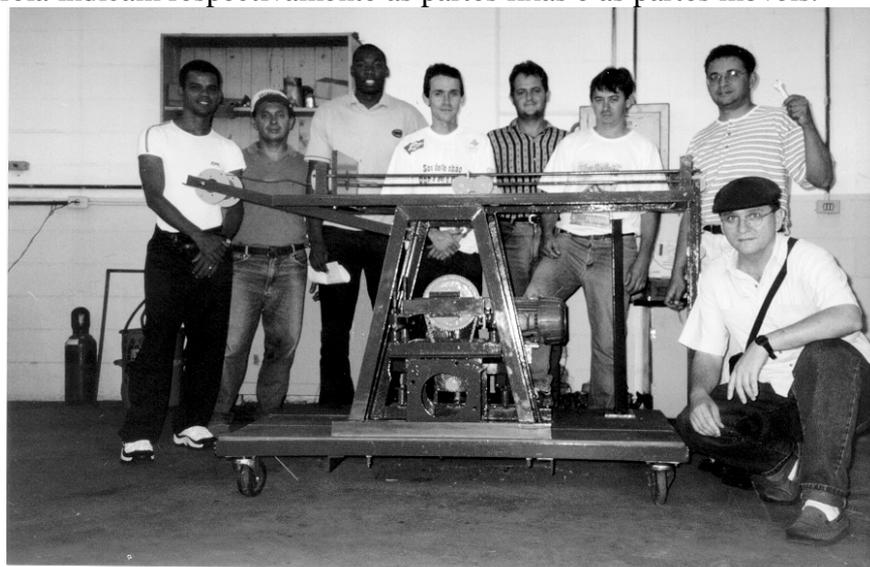


Figura 4. Alunos, técnicos e docente estão juntos com o equipamento de trefilação recuperado e remodelado.

5. CONCLUSÃO

É pensando em tornar o aprendizado ainda mais desafiador, menos passivo e com um máximo de aproveitamento possível do aluno de graduação, é que deve ser criado trabalhos experimentais nas disciplinas teóricas, principalmente nas regiões onde é difícil de oferecer estágios extracurriculares em indústrias. A simulação de um processo de manufatura tenderia a aumentar o interesse do aluno e conseqüentemente, sua aprovação na disciplina, uma vez que o conhecimento adquirido é aplicado.

Os desafios encontrados para a recuperação da máquina de trefilar foram vencidos a contento. Os problemas encontrados durante a recuperação, serviram como incentivo para prosseguir na empreitada. Em algumas situações o trabalho tinha que ser refeito, por exemplo, na usinagem de um outro eixo para o acoplamento das engrenagens.

Apesar que o trabalho foi realizado praticamente sem nenhum apoio financeiro, foi feita uma cotação do custo de material através de FAX em diversas empresas. Esta pesquisa mostrou que o orçamento feito em diversas empresas, é fundamental para a aproximação dos estudantes com o mercado. Pois, muitas vezes, a escolha do material está baseada no preço disponível encontrado no mercado.

Agredcimentos

Os autores gostariam de agradecer aos alunos Rodolfo Wurza e André Gustavo Mise que muito ajudaram durante o desenvolvimento do trabalho experimental; e o aluno Luís Gustavo Muriti pelos desenhos dos componentes da máquina de trefilar.

Ao Sr. Antonio Gomes da Empresa SERVTEC Ltda em Ilha Solteira-SP, que cedeu gentilmente as tintas e pincéis para a pintura da máquina de trefilar.

Aos técnicos da Oficina Mecânica do Laboratório de Engenharia Mecânica da UNESP de Ilha Solteira.

6. REFERÊNCIAS

- Bernadini, P. A. N., Oliveira, C. A. S., Kuhn A., I., 1999, “Veiculando Informações e Serviços via Internet: www.Metais”, Proceedings of the 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Águas de Lindóia, São Paulo, Brazil.
- Bittencourt, M. L. e Feijóo, R. A., 1999, “A Continuous Mechanic Approach to Teach Solid Mechanics”, Proceedings of the 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Águas de Lindóia, São Paulo, Brazil.
- Braga, W., 1999, “Características do uso da Internet como suporte a Curso de Engenharia”, Proceedings of the 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Águas de Lindóia, São Paulo, Brazil.
- Brito, A. A. S., 1999, “The Importance of Teaching Materials Science & Technology in the Course of Mechanical Engineering”, Proceedings of the 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Águas de Lindóia, São Paulo, Brazil.
- Romano, L. N. e Dallmeyer, A. U., 1999, “A Avaliação Pessoal discente no Ensino de Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Santa Maria”, Proceedings of the 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Águas de Lindóia, São Paulo, Brazil.
- Seybolt, A. V. e Burke, J. E., 1969, “Tecnicas de Metalurgia Experimental, Ed. Limusa Wiley, S. A. México, 269p.