

volume 21 - número 1

ISSN 0101-5001

junho de 2002

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

MODELAGEM E SIMULAÇÃO NA ANÁLISE DOS RESULTADOS DO EXAME NACIONAL DE CURSOS Jairo Pereira de Araújo

O USO DO COMPUTADOR NO ENSINO DE MATEMÁTICA 11 DOS CURSOS DE ENGENHARIA João Bosco Laudares & Jonas Lachini

O ENGENHEIRO E A CRONOBIOLOGIA: A BUSCA PELA 19 EFICIÊNCIA NO TEMPO Tabajara Lucas de Almeida, Robert Betito & Cleuza I.R. de Almeida

APLICAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DA INTEGRAÇÃO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS: CASO ARQUITETURA VERSUS ESTRUTURA Roberto Machado corrêa

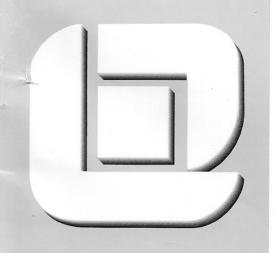
DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DIDÁTICO PARA SÍNTESE DE REDES DE TROCADORES DE CALOR

33 Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani, Alines Priscila da Silva, Fabio Soffa Garcia, Douglas Castilho Mariani, Thales Delatorre Nunes & Émerson Rabelo

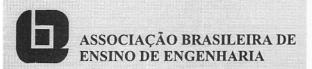
EXPERIMENTOS SIMPLES NA ÁREA DE CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO 43 Eduardo Krüger

INTERNET E INTERATIVIDADE NO ENSINO DE **ENGENHARIA**

Washington Braga



Associação Brasileira de Ensino de Engenharia



Presidente Pedro Lopes de Queirós, UFRN

Vice-Presidente Maria José Gazzi Salum, UFMG

Vice-Presidente José Alberto dos Reis Parise, PUC-Rio

Diretor-Secretário Nilza Luiza Venturini Zampieri, UFSM

Diretor-Financeiro
João Sérgio Cordeiro, UFSCar

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA PUBLICAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO DE ENGENHARIA

Vol. 21, n°1, junho de 2002 ISSN 0101-5001

Editor Benedito Guimarães Aguiar Neto, UFCG

Conselho Editorial Ana Maria Castanheira - MACKENZIE Arquimedes Diógenes Ciloni - UFU Benedito Guimarães Aguiar Neto - UFCG Benedito Antônio Luciano - UFCG Cícero Onofre de Andrade Neto - UFRN Edgar Nobuo Mamiya - UnB Eduardo Giugliani - PUC-RS Enilson Medeiros dos Santos - UFRN Ernesto A. Urquieta Gonzalez - UFSCar Fernando Tadeu Boçon - UFPR Helcio R. B. Orlande - UFRJ Helói José Fernandes Moreira - UFRJ João Bosco da Silva - UFRN José Alberto dos Reis Parise - PUC-Rio Julio Alberto Nitzke - UFRS Luiz Paulo Mendonça Brandão - IME Marcius F. Giorgetti - UFSCar Marcos Azevedo da Silveira - PUC-Rio Maria José Gazzi Salum - UFMG Mário de Souza Araújo - UFCG Mário Neto Borges - FUNREI Maura Corcini Lopes - UNISINOS Milton Vieira Júnior - UNIMEP Nival Nunes de Almeida - UERJ Reinaldo Calixto de Campos - PUC-Rio Sandoval Carneiro Ferreira - UFRJ Silvia Costa Dutra - UNISINOS Vanderli Fava de Oliveira - UFJF Walter Antonio Bazzo - UFSC

> Design gráfico Uchôa Design

Editoração Eletrônica Walter Luiz Oliveira do Vale

> Impressão Gráfica Nonoon

INFORMAÇÕES GERAIS

A Revista de Ensino de Engenharia é uma publicação semestral da Associação Brasileira de Ensino de Engenharia - ABENGE, destinada à divulgação de trabalhos abordando aspectos didático-pedagógicos, científicos, tecnológicos, profissionais, políticos e administrativos concernentes à educação em engenharia

Os assuntos publicados nesta revista são de inteira responsabilidade dos seus autores. A menção eventual de marcas ou produtos comerciais não significa recomendação da revista.

GENERAL INFORMATION

Revista de Ensino de Engenharia is published every semester by the Brazilian Association of Engineering Education and is devoted to the dissemination of articles on education. It is concerned with various aspects of education, including pedagogical, scientific, technological, professional, political and administrative issues.

The articles published in this Journal are the sole responsibility of their authors. Mention, on an eventual basis, of brands and products does not indicate any form of endorsement by the Journal.

Associação Brasileira de Ensino de Engenharia ABENGE

Av. W-3 Norte Quadra 516 70770-515 Brasília - DF Fone: (0xx61) 347.0773 Fax: (0xx61) 272.2661 Abenge@tba.com.br

Revista de Ensino de Engenharia

Envio de trabalhos para o endereço: rabenge@cct.ufpb.br

Tiragem 2.500 exemplares

Distribuição

Enviada a todos os associados da ABENGE e demais órgãos vinculados ao Ensino de Engenharia.



volume 21 - número 1

ISSN 0101 - 5001

junho de 2002

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

Jairo Pereira de Araújo

MODELAGEM E SIMULAÇÃO NA ANÁLISE DOS RESULTADOS DO EXAME NACIONAL DE CURSOS

João Bosco Laudares & Jonas Lachini

O USO DO COMPUTADOR NO ENSINO DE 11 MATEMÁTICA DOS CURSOS DE **ENGENHARIA**

Cleuza I.R. de Almeida

Tabajara Lucas de Almeida, Robert Betito & 19 O ENGENHEIRO E A CRONOBIOLOGIA: A BUSCA PELA EFICIÊNCIA NO TEMPO

Roberto Machado Corrêa

APLICAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DA INTEGRAÇÃO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS: CASO ARQUITETURA VERSUS ESTRUTURA

Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani, Mauro Antonio da Silva, Fabio Soffa Garcia, Aline Priscila da Silva, Fabio Soffa Garcia, 33 Douglas Castilho Mariani, Thales Delatorre Nunes & Émerson Rabelo

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DIDÁTICO PARA SÍNTESE DE REDES DE TROCADORES DE CALOR

Eduardo Krüger

43 EXPERIMENTOS SIMPLES NA ÁREA DE CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO

Washington Braga

49 INTERNET E INTERATIVIDADE NO ENSINO DE ENGENHARIA

MODELAGEM E SIMULAÇÃO NA ANÁLISE DOS RESULTADOS DO EXAME NACIONAL DE CURSOS

Jairo Pereira de Araújo1

RESUMO

Um quadro referencial de notas e conceitos foi elaborado para a comparação dos desempenhos dos alunos e cursos de Engenharia Civil no Exame Nacional de Cursos de 2001. Na simulação e geração de notas dos alunos desse quadro, foi utilizado um modelo baseado na distribuição normal. No decorrer do estudo uma ferramenta de auxílio à analise foi desenvolvida na forma de um Diagrama de Desempenho, que permite a visualização conjunta da situação dos conceitos obtidos pelos alunos e cursos. Neste artigo são apresentados os resultados da simulação e exemplos da utilização do Diagrama de Desempenho.

Palavras-chaves: Exame Nacional de Cursos, Classificação, Estatística, Distribuição Normal, Modelagem, Simulação

ABSTRACT

A referencial frame of scores and classifications was developed to compare the performance of Civil Engineering students and courses in the 2001 National Courses Examination. In the simulation and score generation of the students, a model based on the normal distribution was used. During the study an auxiliar analysis tool was developed in the form of a Performance Diagram, that allows a grouped visualization of the classification situation gotten by the students and courses. In this paper the simulation results and Performance Diagram examples are presented.

Key-words: National Courses Examination, Classification, Statistics, Normal Distribution, Modelling; Simulation

INTRODUÇÃO

O Ministério de Educação - MEC, através do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais - INEP, implantou em 1996 o Sistema de Avaliação da Educação Superior que tem entre os seus instrumentos de avaliação e classificação o Exame Nacional de Cursos - ENC, conhecido como Provão.

A cada ano de aplicação desses exames são geradas quantidades consideráveis de dados sobre as notas obtidas pelos alunos e sobre as médias dos cursos, abrangendo várias áreas do conhecimento, que são disponibilizados aos interessados através de relatórios-síntese e relatórios específicos de cada área. Os dados e resultados dos exames permitem o levantamento das características de cada curso e a melhoria da qualidade de ensino e do desempenho dos seus alunos, através do planejamento e aplicação das ações norteadoras necessárias.

Nos exames de 1996 a 2000, a atribuição dos conceitos aos cursos previa a existência de cinco faixas de desempenho, A, B, C, D e E, nas quais deveriam ser enquadrados 12%, 18%,

40%, 18% e 12% dos cursos de cada área, respectivamente, correspondendo, nas fronteiras entre as faixas de conceitos, aos seguintes percentis: P_{88} , P_{70} , P_{30} e P_{12} .

A partir do ENC/2001 um novo critério foi especificado para a atribuição dos conceitos A, B, C, D e E. Nesse critério são consideradas as médias de cada curso (x_{ci}) para a sua classificação relativa, e a média aritmética (x_c) das médias dos cursos como valor de referência posicional para a área do conhecimento, estabelecendo-se o valor do desvio-padrão (s_c) das médias dos cursos como base para a fixação dos valores delimitadores das faixas de atribuição dos conceitos, conforme está apresentado no Tabela 1.

Os percentis relativos às fronteiras das faixas de notas dos conceitos, no critério atual, não podem ser estabelecidos previamente, pois dependem dos valores da média dos cursos (média das médias) e do respectivo desvio padrão e da distribuição de freqüência relativa das médias dos cursos.

Apesar de ser clara a intenção principal de se avaliar a qualidade do ensino oferecido pelos cursos, os desempenhos dos alunos nos exames são apresentados através do enquadramento das suas

¹ Mestre, Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Mogi das Cruzes - UMC, Av. Dr. Cândido Xavier de Almeida Souza, 200, Centro Cívico, CEP 08780-911, Mogi das Cruzes, SP. Fone: (11) 4798-7000. E-mail: jairopa@osite.com.br ou jairopa@octane.com.br

Tabela 1. Conceitos: Critério do ENC/2001

Conceito	Faixa
A	$(x_c + s_c) \le x_{ci}$
В	$(x_c + 0.5s_c) \le x_{ci} < (x_c + s_c)$
C	$(x_c - 0.5s_c) < x_{ci} < (x_c + 0.5s_c)$
D	$(x_c - s_c) < x_{ci} \le (x_c - 0.5s_c)$
Е	$x_{ci} \leq (x_c - s_c)$

notas nos quartis inferior (1°), medianos (2° e 3°) e superior (4°), delimitados pelos percentis P_0 , P_{25} , P_{50} , P_{75} e P_{100} , referentes à distribuição relativa das notas de todos os alunos da área avaliada no Brasil. Esse enquadramento não permite uma análise comparativa imediata entre o conceito obtido por um curso e as porcentagens de alunos desse curso com notas enquadradas nos referidos quartis.

Para superar as limitações impostas pela forma de apresentação das informações sobre os resultados obtidos pelos alunos e propiciar meios para a realização de uma análise comparativa conjunta do desempenho de um curso e dos seus alunos, um estudo sobre o tema foi realizado com base em um modelo de distribuição das notas dos alunos, segundo a curva de freqüência normal, seguido da aplicação de um critério de enquadramento das notas dos alunos, similar ao adotado no enquadramento dos cursos, e de simulação numérica com o uso de planilha eletrônica.

A MODELAGEM COM A DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Neste estudo, o modelo representativo da freqüência da ocorrência das notas dos alunos foi elaborado com base na função de densidade de probabilidade normal e com definições acerca do tamanho da população (número total de alunos de uma área de conhecimento), do tamanho das amostras (número de alunos de cada curso), dos valores estimados dos parâmetros essenciais da distribuição normal para a população e amostras.

A expressão matemática da função de densidade da probabilidade normal corresponde a uma função de variável contínua que se ajusta adequadamente a muitas distribuições de freqüência de medidas experimentais e de outras ocorrências mensuráveis. Essa função é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-1/2} x^{-1/2}$$

onde:

x - valor da variável aleatória contínua, $e - \infty < x < + \infty$

μ - média aritmética da população

σ - desvio padrão da população

A função de distribuição de frequência correspondente é obtida em termos da probabilidade (P) de se obter um certo valor de x em um dado intervalop:

$$P(x_a \ x \ x_b) \ \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{x_a}^{x_b} e^{-1/2 \ x_a} / e^{-2}$$

Para as verificações usuais, utiliza-se:

$$x_a = -\infty$$

Dessa forma obtém-se a probabilidade *P*, que, quando apresentada em porcentagem, corresponde a um certo percentil na distribuição de freqüência normal acumulada.

O uso das equações (1) e (2) foi feito indiretamente, através das funções de distribuição normal disponíveis nas planilhas eletrônicas.

CARACTERÍSTICAS DO MODELO

Com a intenção de se elaborar um espaço amostral de estudo comparável aos que realmente ocorrem, foram definidos, para uma área do conhecimento fictícia, os seguintes parâmetros e restrições:

- Número de cursos: $n_c = 100$.
- Número de alunos por curso: $n_{ac} = 50$.
- Número de alunos da área do conhecimento: $n_a = 5000$.
- Notas dos alunos (x_a) variando de 0 a 100.
- Média (x_{ac}) de cada curso (média aritmética das notas dos alunos de cada curso) situando-se no intervalo de 0 a 100.
- Média aritmética das notas dos alunos da área do conhecimento: x = 50.
- Desvio padrão das notas dos alunos da área do conhecimento: $s_z = 16$.
- Média dos cursos (média aritmética das médias dos cursos): $x_c = 50$.
 - Desvio padrão das médias dos cursos: $s_c = 10$.
 - Notas dos alunos de um curso classificadas crescentemente.
- Médias dos cursos classificadas crescentemente na área do conhecimento.
- Truncamento dos valores das notas geradas pela distribuição normal, para o campo amostral, quando inferiores a zero ou superiores a cem, atribuindo-se nestas ocorrências as notas zero e cem, respectivamente.

O estabelecimento de uma média das notas dos alunos da área igual a 50 se deu pelo reconhecimento de que, nos casos de adequação das provas às populações normais submetidas aos exames, este seria o valor mais provável. A utilização mais geral dos resultados deste estudo também orientou as decisões nesse sentido.

O desvio padrão das notas dos alunos da área foi estabelecido, conforme prática usual na Estatística, considerando que este valor é, aproximadamente, igual a um sexto da amplitude total dessas notas, abrangendo cerca de 99,7% das notas geradas, de forma que:

$$s_a = \frac{100 \quad 0}{6} = 16,7$$

Esse valor foi arredondado para 16, permitindo-se assim um pequeno aumento da quantidade de notas 0 e 100 no espaço amostral do modelo.

Como, no modelo, o número de alunos por curso é igual em todos cursos (amostras de mesmo tamanho), a média dos cursos (x_c) será igual à média das notas dos alunos da área (x_a) . O valor do desvio padrão das notas dos alunos de cada curso (s_{ac}) , conseqüência dos outros parâmetros definidos, foi mantido o mesmo em todos os cursos. Estas características do modelo não ocorrem na prática, pois os cursos reais possuem diferentes números de alunos com diferentes dispersões, apesar disso, os resultados assim obtidos permitirão constatar o quanto se afastam das distribuições normais os cursos avaliados nos exames nacionais, em decorrência dessas características.

Para o desvio padrão das médias dos cursos (s_c) , que deve ser inferior ao desvio padrão das notas dos alunos da área (s_a) , foi atribuído o valor 10, consoante com os resultados reais de alguns exames nacionais para cursos da área de engenharia. Esse parâmetro não poderia ser estimado de maneira mais formal considerando que, os cursos no modelo e também na prática, não são constituídos por elementos (notas dos alunos) colhidos aleatoriamente no espaço amostral.

A SISTEMATIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Os conceitos foram atribuídos aos cursos conforme os critérios definidores das faixas indicadas no Tabela 1, e aos alunos da área com critério análogo, no qual utilizou-se a média das notas dos alunos da área e o respectivo desvio padrão.

Os valores das notas das fronteiras entre os conceitos para os cursos, calculados segundo os critérios apresentados, estão indicados na Tabela 2 e os referentes aos alunos na Tabela 3.

Após o enquadramento dos cursos e alunos nas faixas dos conceitos, foram levantadas as quantidades de alunos e cursos do campo amostral enquadrados em cada faixa. Foram elaborados os gráficos da distribuição das notas, percentis e

Tabela 2. Faixas dos conceitos para os cursos

Conceito	Faixa
A	$60 \le x_{ci}$
В	$55 \le x_{ci} < 60$
С	$45 < x_{ci} < 55$
D	$40 < x_{ci} \le 45$
Е	$x_{ci} \leq 40$

Tabela 3. Faixas dos conceitos para os alunos

Conceito	Faixa
A	66 ≤ <i>x</i> _{ai}
В	$58 \le x_{ai} < 66$
С	$42 < x_{ai} < 58$
D	$34 < x_{ai} \le 42$
Е	$x_{ai} \leq 34$

conceitos no campo amostral e os representativos das densidades de probabilidade (ou freqüência relativa) e das distribuições de freqüência (ou freqüência relativa acumulada), em porcentagem, referentes à notas obtidas pelos alunos e cursos da área do conhecimento.

OS RESULTADOS

Através da Figura 1(a) ilustra-se a distribuição das notas dos alunos no espaço amostral, onde se percebe que as notas dos alunos dos cursos distribuem-se de forma assimétrica à medida que se afastam da região central. O mesmo ocorre com os percentis e conceitos (Figura 1(b) e (c)).

Para permitir a verificação e comparação dessas ocorrências, estão presentes na Tabela 4 os resultados de alguns cursos da simulação.

Os resultados globais relativos aos alunos e cursos, obtidos na simulação com o uso da distribuição normal, considerando-se as restrições mencionadas, podem ser observados na Tabela 5. Nestes resultados há uma evidência clara da influência da distribuição normal na formação dos parâmetros estatísticos essenciais e na distribuição dos conceitos, como era previsível e desejável na concepção do

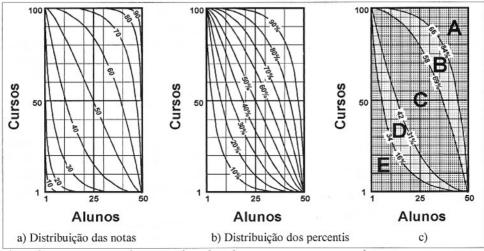


Figura 1. Distribuição das notas, percentis e conceitos dos alunos no campo amostral

Tabela 4. Resultados obtidos pelos cursos de nº 3, 50 e 98 na simulação

Curso nº	3	50	98	
Média	30,5	49,9	69,5	
D. P.	12,7	12,7	12,7	
Conceito	E	С	A	
Alunos	% de alunos no curso			
A	0	10	60	
В	2	16	22	
С	16	48	16	
D	22	16	2	
E	60	10	0	

Tabela 5. Resumo dos resultados globais

	Curs (tode		Alunos (todos)		
Média		50,0		50,0	
D.P.		10,0		16,0	
Conceito	Nº de cursos	% de cursos	N° de alunos	% de alunos	
A	16	16	806	16,12	
В	15	15	750	15,00	
С	38	38	1888	37,76	
D	15	15	750	15,00	
Е	16	16	806	16,12	
Total	100	100,00			
Média das n alunos de ca		ES Misumoe		variável	
Desvio padr	12.7				

modelo, tanto na população (total de alunos) quanto nas amostras (cursos), apesar das assimetrias constatadas nos cursos com desempenhos extremos.

Esses resultados também são apresentados graficamente nas Figuras 2 e 3, nos quais as notas exibem uma distribuição simétrica em relação ao valor da média, com as conhecidas formas das curvas de probabilidade normal parcial e acumulada.

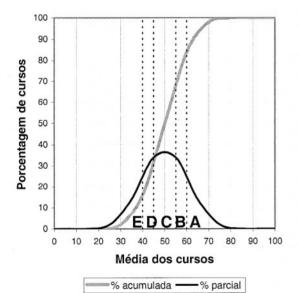


Figura 2. Distribuição das médias dos cursos

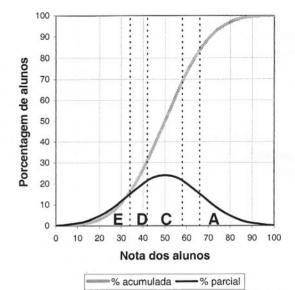


Figura 3. Distribuição das notas dos alunos

A CORRELAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO DOS ALUNOS E O DOS CURSOS NA SIMULAÇÃO

Quando os dados estatísticos apresentam valores decorrentes da relação de variáveis é possível que estas relações sejam bem definidas ou não existam. A procura pela existência dessas relações e a sua expressão na forma matemática constituem tarefas importantes no estudo e compreensão dos fatos e fenômenos geradores dos dados.

A variável fundamental do exame é a *média do curso*, que é transformada em "conceito" após o enquadramento dessa média no *intervalo de notas*, que depende da *média geral dos cursos* e o respectivo *desvio padrão*. Assim sendo, é natural que se procure correlações entre os "conceitos", uma vez que estes representam a conjunção dos demais parâmetros estatísticos.

Uma sugestão interessante nesse sentido foi apresentada por Caetano (2000), em trabalho sobre os resultados do ENC, onde apresenta uma análise detalhada sobre a correlação entre a quantidade de cursos com conceitos "A" e "E" das universidades. Essa correlação, entre outras, é aqui retomada em uma forma simplificada, mas não é aplicada na comparação do número de conceitos dos cursos das universidades, e sim aos percentuais de alunos de cada curso da simulação com determinado conceito, conforme as faixas de enquadramento dos alunos, indicadas na Tabela 3.

O estudo de correlações é feito, na maioria das vezes, com pares de variáveis, o que levaria a análise de cinco conceitos combinados dois a dois, resultando em 10 combinações. As combinações dos percentuais dos conceitos não simétricos em relação à média dos cursos não apresentaram, na simulação, relações unívocas bem definidas e, por isso, foram descartadas.

As correlações entre os percentuais de alunos de cada curso com conceitos simétricos "A e E" e "B e D", estão graficamente representadas na Figura 4. Cada ponto dos gráficos dessa figura corresponde a um curso da simulação. Percebe-se nitidamente que a correlação entre os percentuais de alunos com conceitos A e E é a que apresenta a função com melhor definição. Essa correlação não é linear e está relacionada com a função da distribuição normal utilizada na geração das notas dos alunos na simulação.

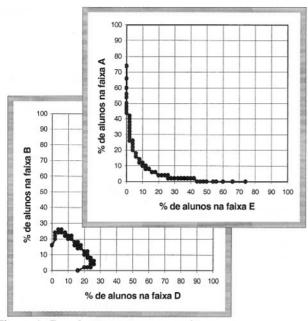


Figura 4. Correlações entre os conceitos

A CRIAÇÃO DO DIAGRAMA DE DESEMPENHO

Após o reconhecimento da existência de uma boa correlação entre os percentuais de alunos nas faixas A e E dos cursos na simulação, o gráfico correspondente foi incrementado com a adição das curvas representativas das fronteiras entre os conceitos dos cursos e da curva limite.

No estabelecimento da curva limite, o total de alunos da área de conhecimento foi considerado como um único e hipotético curso, o que corresponderia à amostra única de maior tamanho possível. As porcentagens de alunos enquadrados em cada faixa de conceito foram calculadas através da atribuição de valores para a média desse curso e determinando-se, para cada média, o percentil de alunos em cada fronteira de conceito, com o uso da função de distribuição de freqüência normal acumulada.

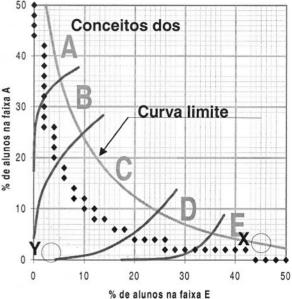
Na Tabela 6 estão presentes, como exemplo, alguns resultados referentes à curva limite nos pontos correspondentes às fronteiras dos conceitos dos cursos.

O gráfico contendo as curvas das fronteira entre os conceitos dos cursos e a curva limite constituirá o Diagrama de Desempenho, que será abordado adiante.

Os cursos, constituindo amostras de menor tamanho, deveriam, teoricamente, ter os seus pontos representativos abaixo da curva limite. Isto é o que ocorre com os cursos da simulação, como pode ser visto no diagrama de desempenho apresentado na Figura 5.

Tabela 6. Valores da curva limite (exemplo)

Nota	Distribuição das notas dos alunos						
dos	Média do curso (amostra única)						
alunos	25,94 40,00 45,00 50,00 55,00 60,00 74,07 % acumulada de alunos no curso					74,07	
33,99	69,3	35,4	24,6	15,9	9,5	5,2	0,6
66,01	99,4	94,8	90,5	84,1	75,4	64,6	30,7
Conc.	% de alunos enquadrados na faixa de conceito						
Α	0,6	5,2	9,5	15,9	24,6	35,4	69,3
E	69,3	35,4	24,6	15,9	9,5	5,2	0,6



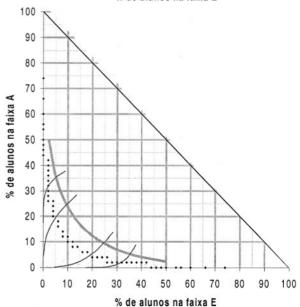


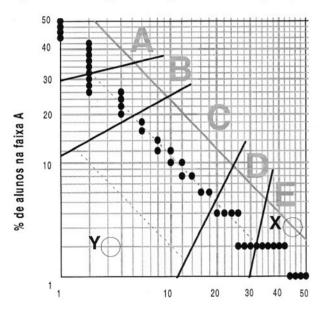
Figura 5. Diagrama de desempenho

Tomando um curso X, enquadrado na faixa do conceito E, com 45% de alunos na faixa E e 3% na A, como exemplo de utilização desse diagrama, verifica-se que, para a melhoria do desempenho do curso, é necessário reduzir o número de alunos com notas na faixa E, com medidas pedagógicas

adequadas, deslocando o ponto representativo desse curso para a esquerda, situando-o em uma região do diagrama onde a curva limite não impeça a obtenção de melhor conceito para o curso, através de ações pedagógicas adicionais aplicadas a todos os alunos do curso.

Um outro exemplo é representado pelo curso Y, classificado como C, com 3 % de alunos E e 2% de alunos A. Trata-se de um grupo de alunos homogêneo no desempenho, com a maioria dos alunos nas faixas dos conceitos centrais, B, C e D, e as ações de melhoria de desempenho devem ser aplicadas a todos os alunos, visando a elevação da média geral do curso.

As posições dos pontos representativos dos cursos da simulação e dos exemplos, também podem ser observados no Diagrama de Desempenho da Figura 6. Neste diagrama, com





% de alunos na faixa E
Figura 6. Diagrama de desempenho (eixos em escalas de distribuição normal)

os eixos em escala de distribuição normal, as fronteiras das faixas de conceito e a curva limite estão representadas por retas. Os pontos relativos aos cursos da simulação distribuemse, com alguma dispersão, em toda a sua extensão, em torno de uma reta com a ocorrência desvios nas extremidades devidos ao truncamento na distribuição de notas dos alunos ($0 \le nota \le 100$).

Assim deveria ocorrer com os cursos reais se a distribuição das notas dos alunos e dos cursos fossem "normais".

APLICAÇÃO AOS CURSOS DE ENGENHARIA CIVIL

No Exame Nacional de Cursos de 2001 para a área de Engenharia Civil os valores dos parâmetros estatísticos obtidos foram os seguintes:

- Número de alunos: $n_a = 5.958$
- Média dos alunos: $x_a = 27.9$
- Desvio padrão das notas dos alunos: $s_a = 16,1$
- Nota mínima: $x_{amin} = 0$
- Nota máxima: $x_{amáx} = 100$
- Número de cursos da área: $n_c = 125$
- Média dos cursos da área (estimada): $x_c = 26.9$
- Desvio padrão das médias dos cursos: $s_c = 9.4$

As distribuições das notas dos alunos da área foram enquadradas nos quartis delimitados pelos percentis P_{25} , P_{50} e P_{75} , para cada curso, e obtidas nas planilhas eletrônicas disponibilizadas na *internet*. Na falta dos dados originais, foi necessária a realização de interpolações desse valores para os percentis P_{ED} , P_{DC} , P_{CB} e P_{BA} , correspondentes às fronteiras entre os conceitos relativos aos alunos. Essas interpolações não qualificam esses valores como informações de primeira mão, apesar de serem confiáveis.

As distribuições globais das notas dos alunos e conceitos dos cursos foram obtidas em gráficos e tabelas do Relatório-Síntese do Provão 2001 e extrato do seu volume 7, do INEP.

O modelo utilizado na simulação dos resultados dos capítulos anteriores pode receber a introdução de novos parâmetros estatísticos para a simulação mais ajustada aos resultados da área do conhecimento em estudo.

Neste caso foram estabelecidos para a simulação os parâmetros da Engenharia Civil, resumidos nos seguintes valores:

- Média dos alunos igual à media dos cursos, exigência do modelo: $x_1 = x_2 = 26.9$
 - Desvio padrão das notas dos alunos: $s_a = 16,1$
 - Desvio padrão das médias dos cursos: $s_c = 9,4$
- Desvio padrão das notas dos alunos de cada curso (valor estimado): $s_{ac} = 13,1$

Na Figura 7 estão presentes os resultados dos cursos de Engenharia Civil no Brasil e os obtidos na simulação.

Nota-se que, apesar da dispersão dos resultados, poucos cursos situam-se acima da curva limite teórica, cerca de 12% do total dos cursos da área.

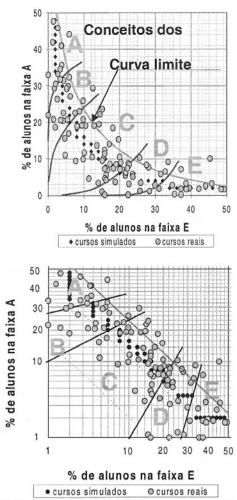


Figura 7. Diagrama de desempenho Cursos de Engenharia Civil - Brasil

Com vistas a quantificação da correlação entre os dados exibidos na Figura 7, calculou-se o coeficiente de correlação r com a seguinte equação:

$$\begin{array}{ccc} r & \frac{varia\~{c}\~{a}o \, explicada}{varia\~{c}\~{a}o \, total} \\ \\ r & \frac{A_{est}}{A_{real}} \frac{A_m}{A_m}^{\frac{2}{2}} \end{array}$$

onde:

r - coeficiente de correlação.

 $\boldsymbol{A}_{\text{est}}\,$ - valor estimado da porcentagem de alunos de cada curso com conceito $\boldsymbol{A}.$

 $A_{est} - f(E_{real})$

E_{real} - valor constatado da porcentagem real de alunos de cada curso com conceito E.

f - função de distribuição normal.

 ${\rm A_{real}}$ - valor da porcentagem real de alunos com conceito A, constatada em cada curso.

 $\rm A_m$ - média das porcentagens reais de alunos com conceito A, constatadas nos cursos.

A verificação da correlação entre os percentuais de alunos na faixa E e A, de cada curso, foi realizada tendo como referência a função de distribuição normal, considerando-a como geradora dos valores estimativos dos percentuais de alunos na faixa A (A_{est}) correspondentes aos percentuais reais dos alunos na faixa E (E_{real}), constatados nos cursos de Engenharia Civil, obtendo-se, com o uso da equação (3), um coeficiente de correlação não linear igual a 0,96, em módulo, referidos à curva de ajuste apresentada na Figura 8. Esse valor indica uma forte correlação não linear entre os referidos percentuais.

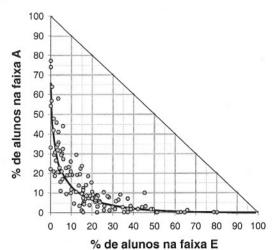
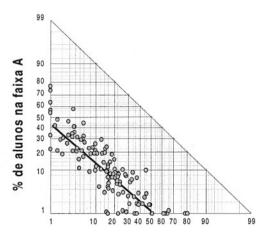


Figura 8. Cursos de Engenharia Civil Brasil - Curva de ajuste

A curva de ajuste normal aparece linearizada na Figura 9, conforme previsto nos resultados das simulações.



% de alunos na faixa E Figura 9. Cursos de Engenharia Civil Brasil - Reta de ajuste em gráfico di-normal

APLICAÇÃO ÀS OUTRAS ÁREAS DO CONHECIMENTO

Os usos da modelagem e simulação e do Diagrama de Desempenho, aqui apresentados, são extensíveis às outras áreas do conhecimento, ressaltando-se que haverá um diagrama para cada área diferenciando-se dos demais nas

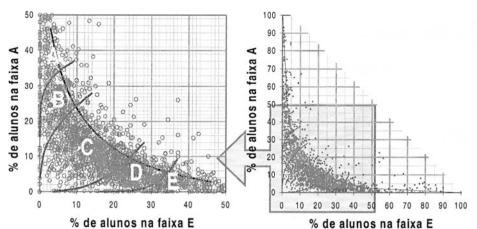


Figura 10. Diagrama do desempenho de todos os cursos do Estado de São Paulo de 1999 a 2001 (2254 resultados)

amplitudes das faixas dos conceitos dos cursos, em conformidade com as respectivas médias e desvios padrões obtidos nos exames nacionais.

Apenas para ilustração de aplicação do diagrama de desempenho, foram representados na Figura 10 os resultados obtidos pelos cursos superiores de São Paulo avaliados nos exames nacionais de 1999 a 2001. Observa-se que a maioria dos pontos representativos do desempenho dos cursos estão distribuídos longo e abaixo da curva do limite teórico superior, confirmando as expectativas das distribuições normais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As simulações realizadas neste estudo mostraram-se adequadas aos propósitos de análise dos resultados dos Exames Nacionais de Cursos promovidos no Brasil pelo Ministério de Educação - MEC.

Os valores obtidos com a aplicação da distribuição normal, conjugados com os critérios normatizadores das faixas de classificação, consubstanciaram a realização de uma representação gráfica dos resultados, aqui denominada de Diagrama de Desempenho, que permite uma visão ampla da influência dos grupos de alunos, com desempenhos extremamente opostos, na classificação dos cursos.

A utilização dos meios aqui utilizados, associados com outros instrumentos de análise específicos de cada área do conhecimento, permitirá a percepção e compreensão dos fatores essenciais subjacentes aos valores das médias e dos conceitos obtidos.

Entende-se claramente que o processo de avaliação das habilidades, competências e níveis de desempenho dos graduandos de Engenharia Civil não estão restritos ao ENC, entretanto este já se estabeleceu como um elemento essencial

para assegurar um conjunto mínimo de requisitos a serem oferecidos pela educação superior em Engenharia.

É nesse sentido que os modelos e simulações poderão contribuir efetivamente para aperfeiçoamento do Exame Nacional de Cursos, tornando-o um instrumento adequado, em forma e conteúdo, à avaliação dos atributos genéricos e essenciais do engenheiro moderno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROSO, C. B.; et al. Cálculo numérico (com aplicações), 2ª ed. São Paulo: Harbra, 1987.

CAETANO, M. A. L. Provão - Fotografia estatística do ensino superior. Disponível em: http://www.estadao.com.br/ext/educação/provao/estudo/index.htm. Acessado em 19/01/ 2001.

INEP. Exame Nacional de Cursos - Relatório-síntese 2001, v.1.
Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais,
Brasília, 501p, 2001.

INEP. Exame Nacional de Cursos - Relatório-síntese 2001, extrato v.7. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais, 70p, 2001.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. Estatística. Teoria e aplicações usando o Microsoft® Excel. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

NGUYEN, D. Q. The essential skills and attributes of an Engineer: a comparative study of academics, industry personnel and engineering students. Global Journal of Engineering Education, v. 2, n. 1, 1998, p.65-75.

SPIEGEL, M. R. Estatística. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil,

SPIEGEL, M. R. Probabilidade e estatística. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



Jairo Pereira de Araújo

Engenheiro Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes (1983). Mestre em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1996). Professor do Curso de Engenharia Civil da UMC. Áreas de interesse: Ensino de engenharia, engenharia de solos,

recursos hídricos e saneamento básico.

O USO DO COMPUTADOR NO ENSINO DE MATEMÁTICA DOS CURSOS DE ENGENHARIA

João Bosco Laudares1 & Jonas Lachini2

RESUMO

Este artigo apresenta o resultado de uma pesquisa realizada com estudantes e professores da PUCMINAS, para avaliar a eficiência da educação em engenharia com o uso do computador. A contribuição do computador é investigada no ensino de Matemática para estudantes de engenharia.

Palavras-chave: Computador, ensino, matemática, curso de engenharia.

ABSTRACT

This paper presents a result from a survey carried out among students and teachers, to evaluate the eficciency of engineering education with the use of computers. The contribution of the computer in teaching Mathematics to engineering students is investigated.

Key-words: Computer, education, mathematics, engineering course

INTRODUÇÃO

A procura da produtividade em educação e da eficiência nos processos de ensino suscita a necessidade de se definir uma nova pedagogia distinta da tradicional, modelo este que privilegia a exposição verticalizada de um saber pronto e acabado, estabelecendo uma relação hierarquizada entre professor e aluno. O repensar da ação acadêmica aponta para a emergência de novas bases sobre as quais possa ser apoiada e reformulada a conduta do docente, não mais como agente ativo e exclusivo da transmissão do saber mas, como coordenador e facilitador de múltiplas atividades na construção do conhecimento, uma nova postura que abre espaço para o diálogo, para a efetividade de um processo didático, no qual professor e aluno são atores.

Nos vários momentos da ação educativa – planejamento, realização de atividades, avaliação, replanejamento - o professor é o elemento mobilizador de um grupo que, fazendo uso de certa metodologia disciplinativa, se dedica à exploração de algum conteúdo, uma matéria do currículo.

A transmissão da informação não pode ocupar sozinha o centro do processo de ensino-aprendizagem e nem pode ser tomada como único parâmetro norteador dos serviços oferecidos pela escola. Olhar o ensino-aprendizagem como um processo de aquisição, reelaboração ou construção é, para os autores, a maneira de abrir o trabalho escolar para o tratamento da informação, para a compreensão de conceitos,

para o pensar de modo sistematizado e com mobilidade. É também a forma de instituir os sujeitos do processo: muda a postura – não a posição – tanto do professor quanto do aluno. Ambos se tornam construtores e re-construtores do conhecimento. A mudança de professores e alunos provoca substancial revolução na escola, que passa a ser um espaço de trabalho, resultado de um movimento de interação entre sujeitos que lidam com a informação, seguem determinada metodologia e buscam resultados significativos.

Uma pedagogia crítica dos conteúdos só se efetiva em espaço acadêmico de reflexão, o que faz emergir nova estrutura curricular, privilegiando a formação do estudante – aprendiz do ofício de estudar. A sala de aula seja ela a sala de aula propriamente dita ou o laboratório, é transformada em local de trabalho com o conhecimento, espaço de construção de habilidades e competências tanto do educando quanto do educador.

Na mediação entre o saber e os métodos de estudo, estão os materiais e artefatos tecnológicos, que os professores utilizam para viabilizar a didática. Equivocadamente, a pedagogia tecnicista se deixa trair por um reducionismo perigoso quando coloca como centro de eficiência o material didático e, com isto, deixa em segundo plano a ação de alunos e professores no processo ensino-aprendizagem. Os meios, isto é, as ferramentas tecnológicas, nas mãos dos agentes, se tornam instrumentos para obtenção de resultados. A ferramenta – o computador, não tem inteligência, sensibilidade,

¹ Professor, Doutor, Depto. de Matemática e Estatística da PUCMINAS e do Mestrado em Educação Tecnológica do CEFET-MG, laudaresjb@dppg.cefetmg.br

² Professor, Mestre, Depto. de Matemática e Estatística da PUCMINAS, dlachini@globo.com

emoção e nem intuição, características próprias dos sujeitos; somente quando usada por um sujeito é que a ferramenta se torna instrumento que pode explicitar as muitas qualidades de quem a manuseia.

Foi a partir dessas premissas que, através do Programa de Desenvolvimento das Engenharias - PRODENGE, os Institutos Politécnicos propuseram projetos voltados para a reengenharia do ensino, bem como para a geração de uma rede cooperativa de pesquisas. Este Programa, apoiado pelo CNPq, FINEP, entre outros órgãos governamentais de fomento à pesquisa e desenvolvimento de projetos da educação, procurou a modernização das Escolas de Engenharia pela implementação de inovações nas metodologias de ensino, assim como pela cooperação entre os profissionais da educação tecnológica, na geração de uma nova engenharia para o país.

A PUC-MG, contemplada por este Programa com aprovação de planos para informatização computacional de seu ensino básico, optou pela implantação de um laboratório para o estudo de Cálculo Diferencial e Integral. Até então, o ensino de Cálculo era feito de forma tradicional, quase que exclusivamente por meio de aulas expositivas e teóricas. O Departamento de Matemática e Estatística- DME, de posse dos recursos para aquisição de computadores, instalou, em 1997, o laboratório para aulas práticas de Cálculo (LABCAL – Laboratório de Cálculo): são trinta microcomputadores ligados em rede e disponibilizando o aplicativo Maple V para o trabalho com Cálculo.

A implantação do LABCAL foi motivo de preocupações e de discussões entre os quarenta e sete professores de matemática do departamento, trazendo certa ansiedade e alimentando expectativas entre os mesmos. Dentre os muitos questionamentos levantados, os autores citam como relevantes: Qual o papel do computador no ensino do Cálculo Diferencial e Integral? O computador substitui o professor? Que razões tornam o computador uma ferramenta necessária para o estudo da matemática? Quais são as contribuições que o computador traz para a eficiência e eficácia do ensino? Que valores o computador traz para a didática e o que acrescenta às técnicas de ensino? Neste contexto, e a partir destes questionamentos, os autores apresentaram a proposta de uma investigação na área da informática educativa, pesquisando o uso do computador como instrumento da metodologia no ensino da matemática na graduação.

Um dos objetivos dos autores desta investigação era instaurar entre os professores o debate a respeito da reformulação da didática e da definição de uma nova metodologia para o ensino da matemática na PUC/MG, procurando responder, de uma forma científica, às questões levantadas pelo corpo docente, quando da instalação do LABCAL, ainda que as mesmas trouxessem mais a expressão de sentimentos e palpites do que de argumentos e opiniões fundamentadas.

Sem maiores interrogações, o grupo de professores já aceitava e utilizava o computador no Cálculo Numérico ou na Estatística como ferramenta para a simplificação e realização mecânica de cálculos. Entretanto, colocar o computador na

mediação entre o objeto de estudo da matemática – no caso, Cálculo Diferencial e Integral - e o estudante, como ferramenta metodológica, trazia muita inquietação: o grupo de professores desconhecia o uso da ferramenta e se sentia inseguro; a implementação do uso do computador na prática educativa demandava tempo e estudo. Como operacionalizar esta técnica de ensino numa disciplina teórica ou, melhor dizendo, numa disciplina que exige a compreensão de conceitos um tanto abstratos e a aplicação dos mesmos em problemas dos mais diversos campos do saber?

REFERENCIAL TEÓRICO

O processo educativo se realiza, para muitos educadores, a partir da experiência e dos saberes acumulados a serem transmitidos da geração mais velha para a mais nova. A transmissão da informação e do conhecimento, pronto e acabado, é a essência da pedagogia dita tradicional ou de uma "Pedagogia Bancária". É o que constata FREIRE(1987, 58b): "A educação se torna um ato de depositar em que os educandos são os depositários e o educador o depositante. Em lugar de comunicar-se, o educador faz "comunicados" e depósitos que os educandos, meras incidências, recebem pacientemente, memorizam e repetem. Eis a concepção "bancária" da educação, em que a única margem de ação que se oferece aos educandos é a de receberem os depósitos, guardá-los e arquivá-los."

Em contraposição a esta pedagogia, DEWEY (1971) propõe que se fomente uma didática concretizada em estudos através de projetos, estatuindo o pensamento científico como centro da ação educativa. O modelo didático de DEWEY leva a uma reengenharia da pedagogia tradicional, dando ênfase a uma mudança radical do método de ensino, que passa a ser visto como processo no qual o conhecimento é constantemente construído e re-construído. O saber é adquirido através de uma situação problemática. A solução de problemas se traduz no cumprimento de etapas, com formulação de hipóteses colocadas à prova no desenvolvimento processual, para se chegar a uma conclusão. Para DEWEY, a centralidade da didática não mais se restringe ao professor mas está direcionada para a atitude reflexiva do estudante.

A urbanização acelerada, consequência da industrialização, fez surgir uma outra visão de escola: a Pedagogia Tecnicista, colocando no centro do processo escolar a organização e a utilização racional dos meios.

Demerval SAVIANI (1991,24) faz uma demarcação clara destas Escolas: "Se na pedagogia tradicional a iniciativa cabia ao professor que era, ao mesmo tempo, o sujeito do processo, o elemento decisivo e decisório; se na pedagogia nova a iniciativa desloca-se para o aluno, situando-se o nervo da ação educativa na relação professor-aluno, portanto, relação interpessoal, intersubjetiva — na pedagogia tecnicista, o elemento principal passa a ser a organização racional dos meios, ocupando professor e aluno posição secundária, relegados que são à condição de

executores de um processo cuja concepção, planejamento, coordenação e controle ficam a cargo de especialistas, supostamente habilitados, neutros, objetivos, imparciais."

Nenhuma destas três Escolas, independentemente e isoladamente, consegue dar uma resposta adequada às demandas didáticas do processo educativo. Fazer a interação das mesmas, por meio do que Paulo FREIRE (1986,121b) denomina de "método dialógico de ensino", define uma nova pedagogia que privilegia o diálogo, a crítica e a reflexão na iluminação do saber. Professor e aluno se transformam em sujeitos cognitivos e, dessa forma, cria-se uma teia de comunicação no ambiente escolar, com a utilização dos instrumentos à disposição como o livro, o computador, o vídeo e a televisão, entre outros. "O diálogo não existe num vácuo político. Não é um "espaço livre" onde se possa fazer o que quiser. O diálogo se dá dentro de algum tipo de programa e contexto. Esses fatores condicionantes criam uma tensão para alcançar os objetivos que estabelecemos para a educação dialógica."

Pierre Lévy também traz um embasamento para as atividades de investigação. Lévy (1996,12) marca seu campo de estudo ao dar ênfase a uma abordagem humanista da técnica. "Não existe uma "técnica" por trás da técnica, nem "sistema técnico" sob o movimento da indústria, mas apenas indivíduos concretos, situáveis e datáveis. Também não existe um "Cálculo", uma "Metafísica", uma "Racionalidade acidental", nem mesmo um "Método" que possam explicar a crescente importância das ciências e das técnicas na vida coletiva."

A técnica é apenas a dimensão das estratégias que o homem utiliza pelas formas possíveis de entidades e forças humanas tais como a máquina, energia, elétrons, animais, plantas, a natureza em geral. Lévy, ao descrever as possibilidades interativas e sociais que vão emergindo ao longo da vida dos homens, separa a evolução comunicativa em três tempos históricos: o da oralidade primária, o da escrita e, neste século, o da informática.

Nos nossos dias, quando atingimos o terceiro tempo do espírito (o primeiro foi da linguagem oral, o segundo da escrita) - o da informática, a comunicação tem como instrumento principal o computador que amplia e alavanca as telecomunicações e outras tecnologias qual imensa máquina integradora. De acordo com Lévy (1996,101): "Um computador concreto é constituído por uma infinidade de dispositivos materiais e de camadas de programas que se recobrem e interfaceiam umas com as outras. Grande número de inovações importantes no domínio da informática provêm de outras técnicas: eletrônicas, telecomunicações, laser...ou de outras ciências: matemática, lógica, psicologia cognitiva, neurobiologia. Cada casca sucessiva vem do exterior, é heterogênea em relação à rede de interfaces que recobre, mas acaba por tornar-se parte integrante da máquina." E o mesmo autor define uma nova via para a construção do conhecimento - a via da simulação, que não se assemelha ao saber teórico, nem à experiência prática e nem tampouco à acumulação cultural da tradição oral ou escrita.

HIPÓTESE

A partir da análise da prática docente do DME, baseada em aulas tradicionais, e da observação das reações de professores e alunos quando da implantação de um laboratório computacional para o ensino do Cálculo I, os pesquisadores levantaram a seguinte hipótese: certamente, o computador pode ser usado como uma ferramenta metodológica eficiente e eficaz para o ensino/aprendizagem da matemática.

A hipótese formulada pela equipe sugeria que o uso do computador como ferramenta metodológica deveria provocar uma mudança da postura do professor de matemática na graduação e possibilitaria desenvolver o processo ensino/aprendizagem com maior envolvimento do aluno nas atividades acadêmicas. O uso do computador aparecia como estratégia adequada para transformar a sala de aula - até então, lugar de atividade do professor - em espaço de trabalho do aluno e do professor; devolvendo à Universidade uma de suas características definidoras - ser o lugar onde se reúnem aqueles que se dedicam ao estudo, onde professores e alunos desenvolvem o ofício de estudar.

A implementação do uso do computador no estudo de cálculo criaria condições propícias para que cada professor pudesse reavaliar sua competência docente e se considerasse não apenas como repassador do conhecimento pronto, mas se descobrisse, a partir do uso da informática e, em especial, do computador, como reelaborador de saberes.

METODOLOGIA

A primeira atividade realizada foi uma pesquisa bibliográfica para a identificação da produção acadêmica e das instituições que já estavam utilizando o computador no ensino do Cálculo Diferencial e Integral. Via INTERNET — meio que facilitou sobremaneira o trabalho, foram selecionadas algumas obras a respeito do tema estudado (livros, artigos, textos, teses, dissertações). Uma segunda atividade se desenvolveu através de debates entre os pesquisadores, tendo como objetivo a identificação de parâmetros ou categorias que definiriam o tipo de observação que se pretendia fazer. Estas discussões, ainda preliminares, culminaram com a elaboração de uma proposta de atividades e o estabelecimento de um cronograma (anexo 1).

O grupo escolheu como ações a serem cumpridas:

- entrevistas com os professores do DME;
- seminários com todos professores do DME e participação de alunos;
 - observação das aulas teóricas de Cálculo I;
 - observação das aulas desenvolvidas no LABCAL;
 - aplicação de questionário a todos alunos;
 - entrevistas com alunos de Cálculo I;
- entrevistas com professores que trabalham com Cálculo I no LABCAL;
- pesquisa, via Internet, a respeito do trabalho desenvolvido pelas Escolas de Engenharia que já informatizaram o Cálculo.

A pesquisa foi realizada entre fevereiro e dezembro de 1999. Neste trabalho, são apresentadas apenas algumas das ações desenvolvidas neste período. Para maiores detalhes, o leitor poderá consultar o relatório de 118 páginas que consta do acervo da biblioteca da PUC Minas.

A equipe de pesquisadores quer deixar expresso o seu sentimento de limitação e declarar que aqui aparece a leitura por ela feita de um rico material que, por certo, contém muitas outras informações que um estudo mais cuidadoso e um olhar mais apurado poderão captar.

INFORMAÇÕES OBTIDAS: A REALIDADE DO USO DO COMPUTADOR NO ENSINO DE CÁLCULO

Entrevistas realizadas com professores do DME

A amostra foi constituída por 15(quinze) professores que atuam em três diferentes áreas da matemática: Cálculo Diferencial e Integral, Geometria Analítica, Estatística e Cálculo Numérico.

O texto que vem a seguir é constituído de uma síntese do discurso dos professores, entremeada pela transcrição de trechos das falas dos mesmos. Foi elaborado com os dados recolhidos através de entrevistas semi-estruturadas, gravadas em fita cassete e transcritas em disquete.

Sobre a formação e a qualificação profissional: Na graduação, a Licenciatura em Matemática é o nível que prevalece. Isto significa que a maioria dos professores entrevistados, 73,33%, têm uma preparação profissional direcionada para o exercício da atividade docente. Na pós-graduação, a especialização e o mestrado são os níveis que predominam, cada um deles com 10 incidências. Apenas 01 dos entrevistados tem doutorado. À exceção de dois destes cursos que têm como área de concentração a metodologia de ensino ou a tecnologia da educação, os estudos pós-graduados foram feitos na área de conteúdo técnico de Matemática, de Estatística ou de Engenharia.

Para doze dos entrevistados, uma expressiva maioria, a graduação não prepara o professor para a prática docente e sua inserção no contexto escolar. Nela é dada pouca ou nenhuma importância para a compreensão dos processos de ensino e aprendizagem. É com um embasamento quase que só conteudístico que a graduação prepara o professor para o início de sua ação na escola.

Os professores entrevistados alertam para o fato de que a graduação é apenas necessária para que docente tenha habilitação profissional e para a sua inserção no mercado. Há necessidade, como comprovam os que buscaram uma intensificação do seu saber, de o professor realizar algum curso de especialização em Matemática, participar de programas de capacitação docente, fazer cursos de pósgraduação e ser um estudioso da matemática.

Os professores entrevistados declaram que seu curso de graduação foi ministrado de forma tradicional, centrado no repasse de informações, sem uso de nenhuma tecnologia -

computador, vídeo ou televisão. Defendem a necessidade de sua própria atualização tecnológica para que possam utilizar os recursos da informática na sala de aula. Segundo os entrevistados, a não utilização de recursos, como a calculadora ou o computador, se deve a uma carência de formação e à dificuldade que têm de inserir o uso da máquina no cotidiano do processo didático-pedagógico. Quatro dos entrevistados defendem que a requalificação docente deve passar obrigatoriamente pela busca da compreensão do processo pedagógico e, em conseqüência, pelo estudo da didática e da metodologia para o ensino da matemática.

De como é tratado o conhecimento: Para construir, há necessidade de uma base. Desta forma, três professores declaram que a construção do conhecimento pode e deve ser realizada juntamente com o repasse de informações; é sobre este conteúdo de informações que se constrói o conhecimento. Embora o aluno chegue à escola com muitas informações, é preciso que passe pelo processo de disciplinamento exigido pelo trabalho escolar, conseguido por meio da organização e da sistematização de conteúdos.

Cinco dos entrevistados chamam a atenção para o fato de os cursos de graduação serem profissionalizantes e, desta forma, não há como negar a necessidade de uma abordagem utilitária e pragmática do saber curricular. Nestes cursos, a construção do conhecimento é motivada pela sua aplicação. No dizer destes professores, não resta dúvida de que a aquisição do conhecimento passa pela aquisição de conteúdos – o conhecimento é visto como uma organização de informações, e que o processo de imitação – a repetição está na base do aprendizado - traz benefício na assimilação dos saberes.

Os entrevistados reconhecem que é através do tratamento dado ao trabalho de transmissão do conhecimento que o professor abre oportunidades para que o aluno possa desenvolver habilidades: criatividade, espirito crítico, sistematização da busca do conhecimento, utilização da memória, uso da linguagem. O professor é visto como um facilitador no processo ensino-aprendizagem.

O estudo da matemática, na graduação, não é tratado como um processo, reconhecem os entrevistados. Não há, nos cursos, uma integração de disciplinas; em geral, o professor é um trabalhador isolado e auto suficiente. A integração de conteúdos tem como base a compreensão; ela só se efetiva a medida que é trabalhado o entendimento, por parte do aluno e do professor, de conceitos, de definições e da teoria; sem esta teorização não há como efetivar a integração de conteúdos e o estudo da matemática nada mais é do que um estudo de casos, a resolução de problemas já resolvidos. O professor deve se familiarizar com os fundamentos do curso no qual trabalha. Os professores lembram a necessidade de se trabalhar a matemática como disciplina básica, como um método científico que facilita a criação de modelos nas outras áreas do saber. "A matemática não pode ser vista só como um conjunto de técnicas de cálculo; ela é uma ciência suporte para a formação de profissionais das mais diversas áreas e, em particular, da engenharia. A matemática é mais do que um conjunto de técnicas, ela é uma maneira de raciocinar, um jeito de pensar de forma organizada, um modo de conhecimento mais abrangente do que a mera execução de cálculos de integrais ou de limites. Ela é um método científico que, além de apresentar modelos, sugere modos de resolução de problemas. Diante de um problema, o estudante busca fazer um modelamento da situação e passa a procurar estratégias para a sua resolução." (Trecho da fala de um professor)

Embora considerem ser a matemática uma ciência suporte para outras disciplinas da engenharia, os professores admitem que a ligação entre os vários campos do saber não se efetiva ao longo do curso. Um dos entrevistados apela para uma metáfora que elucida bem o que se passa: "é como se construir o alicerce de um edifício num lugar e o restante da edificação em um lote vizinho".

Sobre a utilização do computador: Das falas dos entrevistados vem à idéia da máquina executando atividades repetitivas e mecânicas, ações antes realizadas pelo professor, com considerável consumo de tempo e de energia. Em contraposição, quando se pensa na mediação entre o aluno e o objeto de conhecimento, o sentimento é outro: com base na crença de que a aula não é simples repasse de informações, os docentes sustentam que a máquina não substitui o professor, uma vez que "ele é o elo de ligação entre o aprendiz e a ciência". Esta percepção vem confirmada por aqueles que pensam que não se deve utilizar o tempo dedicado a aulas teóricas para o aprendizado assistido por computador; o trabalho no laboratório deveria ser uma complementação, um adicional da aula expositiva. Sob este prisma, o uso do computador no ensino deveria se restringir às atividades de verificação ou fixação da aprendizagem, de simulação de modelos matemáticos ou à realização de cálculos muito trabalhosos.

O computador e a ação do professor: Se considerarmos o professor como um mero copiador do conteúdo livresco para dentro da sala de aula ou se o considerarmos como um simples instrutor, como se ele fosse um manual de instruções para você usar o cálculo, o computador substitui o professor, com vantagem. No entanto, se o conhecimento é entendido como uma construção social, a escola um lugar onde as pessoas se reúnem para trabalhar com saberes construídos, a ação do professor é insubstituível, porque é nesse trabalho e através dele que acontece a educação. Em outras palavras, uma visão do conhecimento como algo pronto, acabado e estático, preconiza a substituição do professor pelo computador; caso se perceba o conhecimento como algo em construção, como algo em movimento, como algo que nunca está acabado, não tem nada que substitua a ação do professor. Esta é a crença dos entrevistados. "Acredito que o computador desenvolve várias habilidades do estudante. A primeira delas é ele aprender a utilizar um instrumento de cálculo, ele agiliza o aprendizado de algoritmos, de como resolver problemas ou questões a partir de modelos já feitos. Outra habilidade que ele desenvolve no usuário é o saber buscar informações, capacidade decisiva no uso do computador. Uma terceira habilidade que ele desenvolve é o aprender a trabalhar com a informação. Outra é o uso correto da linguagem, ele desenvolve a habilidade sintática das pessoas, pois o computador só obedece a comandos se a sintaxe desses comandos for correta; desta forma, ele serve para disciplinar o usuário. O computador é um professor de linguagem para o aluno. O aluno ao mesmo tempo em que aprende uma linguagem para o computador também desenvolve uma linguagem própria para poder se expressar." (Trecho da fala de um professor)

Os professores entrevistados, à exceção de quatro, declararam ter pouca experiência de trabalho com o computador. Suas colocações vieram de leituras realizadas, da sua prática educativa e de acompanhamento da implementação de programas em escolas, que trabalham ou trabalharam com a implantação de metodologia computacional e, principalmente, do trabalho inicial do LABCAL (laboratório de cálculo do Departamento de Matemática e Estatística da PUC MINAS).

Observação de aulas expositivas

Na sala de aula, a fala é dominada pelo professor. Em vez de diálogo, pode-se observar um monólogo. Quando o professor se dirige aos alunos e faz perguntas, tem pressa em obter a resposta, não aguarda que o aluno responda e, via de regra, a sua resposta é sempre melhor que a do aluno. Na sala de aula, a tarefa do aluno é copiar a matéria que o professor copia no quadro negro; são os professores e alunos copistas, no dizer de Pedro Demo em sua obra "Educar pela pesquisa" (1997). Quando outra forma de participação do aluno é solicitada, apenas uma minoria tenta responder à questão proposta; alguns dormem, outros conversam e uma grande parte fica à espera da solução elaborada pelo professor. É freqüente a saída de alunos da sala de aula para ir ao banheiro, atender celular, o que evidencia falta de concentração no trabalho.

Observação de aulas no laboratório

O LABCAL é composto de três salas com 10(dez) máquinas em cada uma delas. Os alunos trabalham em duplas ou individualmente, com um computador. O conteúdo é apresentado de duas maneiras: primeiro, o professor faz uma explanação resumida da teoria e apresenta a resolução de exercícios de aplicação; depois, os alunos devem executar uma série de exercícios, a título de treinamento. Esta segunda atividade exige o aprendizado do uso do software Maple V. Um aluno que trabalha sozinho digita os dados do problema, aciona o comando para resolução e lê na tela a resposta; por não ter domínio do conteúdo da matemática, não sabe se a resposta está certa; ele, então, confere o resultado com um colega de sala e, sem nada questionar, prossegue na resolução de novo exercício. Ele mostra ter dificuldade não só na manipulação da máquina como também parece não entender o significado do resultado que o computador apresenta, após a execução dos comandos.

Para quem trabalha em dupla, a primeira dificuldade é conseguir entrar no sistema e achar o arquivo com a matéria e as atividades, apesar de já estar no terceiro mês de aula. Um dos componentes da dupla digita os dados do problema, enquanto o outro apenas acompanha a atividade. Quando chamado para atender dúvidas, o monitor se limita a informar que "a teoria deve ser aprendida em sala de aula; a atividade no LABCAL é somente para calcular, usando corretamente os comandos". Embora conversem bastante sobre a atividade que estão executando, os alunos mostram não perceber quais os objetivos do que estão fazendo, além das seguidas dificuldades quanto ao uso dos comandos.

De um modo geral, as duplas são as mesmas em todas as aulas. A atividade realizada não é a mesma para todos, pois alguns estão atrasados em relação ao cronograma estabelecido no início do período letivo e, neste caso, preferem executar ou completar atividades anteriores. A velocidade com que os alunos executam as tarefas é muito diferenciada; dificilmente, duplas ou alunos distintos, em determinado momento, executam a mesma das atividades propostas da aula programada para o dia. As dúvidas que surgem são, em geral, relativas ao uso do software. São raríssimas as perguntas que dizem respeito ao conteúdo de cálculo e inexistem os pedidos de esclarecimentos sobre os conceitos utilizados nos problemas propostos; no laboratório, prevalece o uso do computador como máquina de calcular. As intervenções do monitor reforçam a idéia do computador como substituto do papel e como meio de fazer contas mais depressa: "calcular no computador é a mesma coisa que no papel, com a diferença de que no computador o cálculo é feito através de comandos; para resolver os problemas é só aprender os comandos que o resultado aparece com uma rapidez incrível". Suas explicações se restringem ao como fazer. Há um descompasso entre as aulas teóricas e as práticas, fato que contribui para transformar as atividades do laboratório em treinamento para manuseio do computador. Em muitas duplas apenas o aluno encarregado da digitação se concentra na atividade; o outro fica disperso, desligado do trabalho a ser realizado. Durante a aula, não há troca de funções entre os elementos de uma mesma dupla. O professor é muito solicitado para esclarecimentos pontuais, desligados do contexto da disciplina. Os alunos manifestam interesse em ter respostas prontas e se mostram avessos ao esforço de procurar soluções, bem como às tentativas de erro/acerto. No decorrer da aula, à medida que os alunos executam atividades, aumenta o nível de conversa e, às vezes, surge um grande interesse na execução da atividade; são momentos que criam no laboratório um ambiente de trabalho. A permanência no laboratório é ótima, com poucas saídas ou deslocamentos de alunos. A disciplina é excelente, não há brincadeiras ou perturbações da ordem. A 15(quinze) minutos do término da aula, há uma movimentação maior e começa a saída dos alunos, mas, em fluxo constante. O laboratório não representa nenhuma inovação no processo de ensinoaprendizagem; ele nada mais é do que uma transformação conservadora.

CONCLUSÕES

O computador como uma máquina de calcular

No discurso dos alunos e dos professores o computador é considerado e definido como uma máquina de calcular. De acordo com os entrevistados, a finalidade precípua do software é facilitar "a mão de obra", ou ainda, "fazer o trabalho braçal"; o computador é utilizado apenas como operador, caracterizado como instrumento processador descartável quando o problema não demandar inúmeras operações numéricas.

Ao afirmarem enfaticamente ser imprescindível a aula teórica antes da prática, tanto alunos quanto professores insistem na necessidade de aprender os conceitos, antes de operar com o computador, sendo este apenas um verificador de resultados. O laboratório não representa nenhuma inovação no processo de ensino-aprendizagem; ele nada mais é do que uma modernização conservadora.

A linguagem computacional e o conteúdo específico do conhecimento

O estudante, quando no LABCAL, depara-se com dois tipos de saberes. Um é a linguagem computacional a ser aprendida através do domínio do uso do sistema informatizado. O segundo é a linguagem do Cálculo, considerada necessária para a aprendizagem das idéias do cálculo e de suas múltiplas aplicações na engenharia.

A formação do professor ou sua requalificação na prática educativa

O computador, como qualquer outro aparato tecnológico, é considerado como elemento integrador do homem ao seu meio sócio-cutural. A máquina, obra humana objetivada, depositária do trabalho humano morto, não pode ser concebida como objeto estranhado e alienante do homem. Assim, é inevitável a aliança tecnológica com o trabalho, em todos os redutos sociais; uma nova postura metodológica decorre da definição de uma política para a escola e para formação do professor. O professor precisa estar imbuído da necessidade de uma imersão não somente na verticalidade epistemológica do saber especializado e técnico, mas deve, na horizontalidade da abordagem didática, sair do centro propulsor e responsável do processo ensino aprendizagem para se tornar um facilitador, um animador, um estudante pronto a romper, a transgredir e a lançar desafios.

A aula como ambiente de trabalho

No LABCAL há mais movimento. Esta mobilização deveria ser fator de maior integração dos estudantes e deles com o professor. Os dados levantados no questionário mostram que o LABCAL não melhora a relação dos alunos com os professores, ele melhora somente a relação entre duplas de estudantes.

Ao indagarmos sobre a natureza do conhecimento ou de seu tratamento metodológico, constatamos um forte reducionismo: o de tentar entender a teoria e praticar exercícios, sem uma problematização ou uma interdisciplinaridade. As questões em interação multidisciplinar com aplicação da modelagem matemática às outras áreas de conhecimentos têm sua abordagem localizada apenas em poucos momentos do programa curricular. Não há um continuado tratamento interdisciplinar do conteúdo de matemática.

Aula expositiva, em sala de aula x aula prática, no laboratório

Ao compararmos a aula expositiva com a aula prática no LABCAL encontramos algumas semelhanças que tornam sem efeitos significativos no processo de ensino-aprendizagem a estratégia de separar aulas teóricas e aulas práticas. Na sala de aula o aluno copia do quadro; no laboratório ele copia (digita) os exercícios propostos. Em sala, o professor se apressa para cumprir o plano de aula e o currículo; no laboratório o aluno deve cumprir uma atividade prédeterminada, no tempo previsto. Na aula, embora não ocorra a compreensão da matéria, a cópia da síntese que o professor escreve no quadro é um ganho, declaram os alunos; esta síntese passa a ser o conteúdo a ser estudado às vésperas da prova; ele objetiva a matéria dada e, na prova, o professor só pode cobrar o que deu em aula. No laboratório, o interessante é digitar corretamente, obedecer aos comandos, atingir o resultado correto e cumprir a tarefa proposta; é isto que vale nota, e nota é o valor pretendido.

Para finalizar, os autores consideram necessário e inadiável estabelecer na escola uma pedagogia da pergunta, ou seja, uma pedagogia dialógica. Dar ao estudante a chance de simular, de perguntar, de investigar. Fazer um estudo pela pesquisa. Cabe ao professor o papel de organizador, de acompanhante do estudante na assimilação e reelaboração do conteúdo, mostrando-lhe as limitações, os recortes, as variáveis de suas simulações. Disponibilizar ao aluno o ferramental para seu caminho heurístico. Mais do que a memorização de comandos no LABCAL e adestramentos em exercícios na aula expositiva, a pedagogia situada de Paulo Freire (1986) vem dar um referencial teórico a embasar o projeto pedagógico da escola, re-significando sistemicamente os conteúdos. Fugir de uma formalização tradicional conservadora acadêmica em direção ao entendimento

conceitual a contemplar a gênese do conhecimento e os desenvolvimentos dos conteúdos na sua crítica e reelaboração contextual, transdisciplinar e cultural.

A reengenharia da pedagogia tradicional e a construção de uma nova escola só vai acontecer com o envolvimento dos dois atores principais da prática educativa – o professor e o aluno. Entre os docentes há um consenso em torno do esgotamento do método exclusivista da aula expositiva. Mas, não há um modelo ainda desenhado para a sua substituição. O LABCAL é uma alternativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, Heitor Garcia de. Computadores nas escolas: comentando algumas objeções. Tecnologia Educacional. Rio de Janeiro. ABT, v. 14, n. 62, p. 16–24, jan/fev.1985.

DEWEY, John. **Experiência e educação.** São Paulo, Nacional, 1971.

DEWEY, John. **Como pensamos.** São Paulo. Pioneira, 1991. FREIRE, Paulo. **Medo e Ousadia.** Rio de Janeiro. Paz e Terra. 1986.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro. Paz e Terra. 1987.

GONÇALVES, Irlen Antônio. Informática e Educação: um diálogo com a produção Intelectual brasileira dos últimos vinte anos. Dissertação de Mestrado.CEFET-MG. 1999

GONÇALVES, Irlen Antônio. Computador na sala de aula: lugar e implicações. Trabalho e Educação, Belo Horizonte, n.2, p.69-82, ago./dez. 1997.

LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência**. Rio de Janeiro; Ed.34, 1993.

MARINHO, Simão Pedro. Educação na era da informação: os desafios da incorporação do computador à Escola. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Educação da PUC/SP.1998.

MOREIRA, Daniel A. **Didática do Ensino Superior: Técnicas** e **Tendências.** São Paulo: Pioneira. 1997.

OLIVEIRA, Ramon de. **Informática educativa.** Campinas, São Paulo: Papirus, 1997.

SAVIANI, Demerval. Escola e Democracia. São Paulo: Cortez. 1991.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



João Bosco Laudares

Mestre em Educação Tecnológica pelo CEFET-MG (1992) e Doutor em História e Filosofia da Educação pela PUC-SP (1998). Professor do Instituto Politécnico da PUC-MINAS e do Mestrado em Tecnologia do CEFET-MG na área de concentração em

Educação Tecnológica.



Jonas Lachini

Mestre em Educação pela PUC-MINAS. Professor de Matemática do Departamento de Matemática e Estatística da PUC-MINAS e do Centro Universitário- União de Negócios em disciplinas da área de Ciências Humanas e Sociais.

O ENGENHEIRO E A CRONOBIOLOGIA: A BUSCA PELA EFICIÊNCIA NO TEMPO

Tabajara Lucas de Almeida¹, Robert Betito² & Cleuza I.R. de Almeida³

RESUMO

Na formação dos engenheiros enfatizam-se as percepções espaciais usadas no cotidiano profissional. Com relação às exigências de aumento na produção, desconsidera-se por muitas vezes a biologia do ser humano na busca por eficiência, não se levando em conta a natureza dos ritmos biológicos naturais, campo de estudo da Cronobiologia. São dados alguns exemplos discutidos à luz da obtenção de uma melhor qualidade de vida do trabalhador, de acordo com as responsabilidades de planejamento dos engenheiros. A participação multifacetada da Engenharia é cada vez mais solícita na aventura humana, seja na manufatura de bens para a evolução das sociedades, seja na exploração de ambientes inóspitos à nossa sobrevivência. Seria conveniente para a formação interdisciplinar do engenheiro moderno que aí se incluíssem conhecimentos básicos de Biologia, com sua ordem temporal, possibilitando que a Tecnologia desenvolvida atenda adequadamente às adaptações requeridas pelos humanos, de ambos os sexos, na execução de suas tarefas.

Palavras-chave: Cronobiologia, Interdisciplinaridade, Engenharia

ABSTRACT

The engineers' formation emphasizes space perceptions used in the professional daily. In order to increase demands in production, in their search for efficiency, the engineers disrespected frequently the human being biology, not taking into account the nature of the natural biological rhythms, which is the study field of Chronobiology. To obtain a better worker's life quality, aiming the responsibilities of engineers' planning, here we give and discuss some examples of how Chronobiology can aid the engineers formation. The multiple faced participation of Engineering is increasingly solicited in the human adventure, be in the manufacture of goods for the evolution of societies; be in the exploration of inhospitable atmospheres to our survival. It would be convenient for the modern interdisciplinar engineer's formation if it includes there basic knowledge of Biology, with its temporary order, making possible that the developed technology assists appropriately the adaptations requested by the humans of both sexes in the execution of their tasks.

Key-words: Chronobiology, Interdisciplinarity, Engineering

INTRODUÇÃO

Uma das principais características psicológicas incluídas no ensino das engenharias é a objetividade do pensamento e a praticidade na execução das tarefas. Estas características são tão marcantes que muitas vezes pode-se, observando algum equipamento ou estrutura, identificar a cultura e o método de ensino empregado em sua elaboração. Trabalhando com diferentes materiais e texturas, dando-lhes as mais diversificadas formas e usos, os professores de Engenharia tendem a enfatizar as percepções espaciais que seus estudantes irão enfrentar em seu cotidiano profissional.

Neste domínio, ensina-se como otimizar os fluxogramas de atividades para um aumento na eficiência de produção. Estes planejamentos, no entanto, são dinâmicos, sendo necessário levar em conta a variável "tempo de execução" de cada etapa. Explica-se então como elaborar os cronogramas, organizações temporais cuja finalidade é atender as necessidades das empresas na obtenção de um maior rendimento custobenefício, estando elas limitadas pelas regras trabalhistas.

Em geral, desconsidera-se no processo ensinoaprendizagem a biologia do elemento humano nesta busca por eficiência, não se levando em conta a natureza dos ritmos biológicos naturais, determinantes de sua capacidade de

Professor, Doutor. Departamento de Matemática, Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Caixa Postal 474, Av. Itália Km 8, Campus Carreiros, Rio Grande, RS. E-mail: taba@mikrus.com.br

² Professor, Doutor. Departamento de Oceanografia, Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG). E-mail: docbetit@furg.br

³ Professora, Mestre. Departamento de Materiais e Construção, Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG). E-mail: cleuza@dmc.furg.br

produção ao longo do tempo, seja em curto ou em longo prazo. Este é o campo de estudo da Cronobiologia, disciplina moderna que avalia como a dimensão tempo foi incorporada nas funções vitais biológicas e quais suas conseqüências na estruturação dos comportamentos dos indivíduos. O objetivo deste trabalho é apresentar os princípios desta ciência, abordando questões como a variação do desempenho humano (diário e sazonal), o trabalho em turnos, a influência dos horários de verão, a prevenção de acidentes em situações de alto risco, discutidos a luz da obtenção de uma melhor qualidade de vida, para ambos os sexos, em todas as idades, de acordo com as responsabilidades de planejamento e execução que os engenheiros têm para com a sociedade.

O "TEMPO"

O termo "tempo" nas línguas neolatinas pode significar algo relacionado ao clima ou sobre a atividade de um relógio, enquanto que para as línguas anglo-saxônicas há diferença entre weather e time (respectivamente, wetter e zeit em alemão) (MARQUES et al., 1997). Derivações deste termo, como temporal, podem significar em português tanto uma tempestade como o antônimo de atemporal. A Cronobiologia (de chronos – tempo) preocupa-se em como os horários e a dimensão tempo foram incorporados pelos seres vivos. Estes são classificados em Procariontes e Eucariontes (sem e com membrana nuclear na célula, respectivamente) e subdivididos em 5 Reinos (Monera, Protista, Fungos, Vegetais e Animais). Estes grupos caracterizam a Evolução biológica, processo dinâmico ao longo do tempo geológico, de cerca de 4,5 milhões de anos, desde a formação da crosta da Terra.

No decorrer deste processo, os seres vivos desenvolveram diferentes tipos de equipamentos sensoriais que progressivamente se aprimoraram para obter as mais variadas informações físico-químicas do meio ambiente, cujo propósito era ajustar-se melhor (adaptação seletiva) aos locais ocupados (FUTUYMA, 1992). Neste ímpeto por dispersão, característica genética fundamental de qualquer espécie, os organismos invadiram espacialmente ambientes de diversas qualidades, em diferentes latitudes e longitudes, em vários estratos de profundidade ou de altitude, ficando sujeitos às mais diversificadas condições micro climáticas (MARGALEF, 1977). As condições de cada local não permaneceram estáveis ao longo de todo o tempo geológico, de modo que as espécies tiveram que se adequar às perturbações tanto de curto como de longo prazo. Estas variáveis compõem o conjunto de interações estudado pela Biologia, associando a ecologia (relação forma - espaço), a diversidade biológica (relação forma - tempo, evolução) com a distribuição biogeográfica (relação espaço - tempo) (BETITO, 2000).

As espécies, sendo compostas de organismos com expectativa de vida limitada (entidades de ação de curto prazo), repassam as informações de sucesso sobre vida e morte (estratégias de sobrevivência), testadas e selecionadas por cada exemplar, para as gerações futuras por meio da Genética. Assim, as espécies (entidades de ação de longo prazo) também são elementos dinâmicos, sofrendo processos de extinção,

quando os fatores de seleção não são mais apropriados à sobrevivência de um conjunto de organismos em um dado ambiente, ou de especiação, quando novas espécies se originam das pré-existentes, aumentando a biodiversidade (FUTUYMA, 1992). O que muda entre uma situação ou outra é apenas a escala de observação (SNEPPEN *et al.*, 1995).

Os primeiros "organismos" originaram-se no caldo marinho, rico em íons, sob a influência das condições atmosféricas primitivas quando da formação da Terra. Obtinham energia das reações químicas e eram foto-ativados, de modo que seu tempo máximo de "vida" era até o anoitecer. Eles tiveram, portanto, que inovar reações bioquímicas que permitissem sua continuidade durante a fase noturna, equilibrando o potencial de oxi-redução celular, de modo que, uma vez solucionado este problema, eles poderiam sobreviver pelo ciclo de um dia (KRINSKY, 1966; DYSON, 1988). A partir deste evento o que os organismos tem feito é apenas repetir esta solução todas as noites, existindo hoje espécies que podem viver até cerca de 500 anos.

Com a percepção pelos órgãos sensoriais das variáveis do ambiente (temperatura, salinidade, disponibilidade de O₂, pH, luz...) e incorporados ao metabolismo dos organismos, cada espécie pôde sobreviver mais tempo no meio à medida que aprendia a prever os acontecimentos ecológicos periódicos e recorrentes, adaptando suas funções vitais a eles. Surgem daí os ritmos biológicos, auto-organizando este complexo de atividades (BAK, 1997; TOUSSAINT E SCHNEIDER, 1998), tanto na fisiologia (taxa metabólica, freqüência cardíaca e respiratória, peristaltismo, neuro-hormonal, digestão, sono/vigília, etc...) como na ecologia (reprodução, metamorfoses, crescimento, migrações, alimentação, etc...). Existem ritmos bem definidos desde os Procariontes.

Neste processo contínuo de adaptações, onde os interesses de curto prazo se mesclam com os de longo prazo, as espécies incorporaram as informações genéricas dos ciclos geofísicos em suas genéticas. Os ritmos tornam-se assim endógenos, a ponto de não mais precisar dos referenciais geofísicos para se manifestarem, o que pode ser facilmente observado usando-se a técnica do livre curso (CIPOLLANETO et al., 1988). Colocando-se um animal ou vegetal sob condições de luz constante, ele continuará a manifestar seus ritmos naturais, porém agora com uma freqüência própria, próxima daquela exercida sob a influência do fenômeno cíclico.

Esta incorporação genética da dimensão tempo permite duas tarefas, diferentes entre si, porém complementares em suas funções ecológicas: (1) determinar o momento a partir do qual uma atividade deve ser executada e (2) reconhecer o intervalo de tempo entre dois momentos dados.

Estes são os aspectos que interessam na adequação da tecnologia às nossas necessidades de sobrevivência. É fácil reconhecer que nossa percepção do tempo transcorrido é variável ao longo dos diferentes momentos do dia. Quando estamos alegres, fazendo uma tarefa que nos agrada, temos a sensação que "as horas voam", o tempo encurta. Com uma tarefa enfadonha, ou estando depressivos ou tristes, o tempo

que se arrasta, se alonga, "as horas não passam". Por outro lado, quando estamos diante de um semáforo, nos preparamos previamente para a mudança do sinal, como se tivéssemos um cronômetro que avisasse quando isto irá acontecer. Algo semelhante ocorre com as crianças: em época de escola, os pais têm dificuldades de tirá-las da cama no horário apropriado; basta entrar de férias que elas acordam espontaneamente para uma viagem, mesmo que a partida seja de madrugada.

Tais exemplos evidenciam a importância da discussão da dimensão tempo em nossa qualidade de vida, pois as características do ambiente é que nos dão as sensações para nos sentirmos melhor (ALMEIDA *et al.*, 2000). Este talvez seja o principal motivo do sucesso dos "doutores do riso" que lidam com as crianças com câncer em UTIs hospitalares.

A CRONOBIOLOGIA

O primeiro marco da Cronobiologia como ciência moderna foi em 1960 com o simpósio em Cold Spring Harbor (USA). Informações sobre a origem endógena dos ritmos biológicos, no entanto, já vinham sendo obtidas desde que o astrônomo francês J.J. de Marian observou em 1729 que plantas, mantidas em escuridão constante, continuavam a mover-se ciclicamente acompanhando a trajetória solar. Outros pesquisadores preferiram adotar seu próprio organismo como objeto de estudo para evidenciar os ciclos metabólicos. Alguns usaram o método da auto-ritmometria, outros se enfurnaram isolados em cavernas durante meses para registrar a organização temporal de seus comportamentos diários (REINBERG e SMOLENSKY, 1983). Começou a se dar importância a resultados que descreviam a relação entre os comportamentos de desempenho humano e os ritmos, como aqueles em função da temperatura corpórea de trabalhadores em turnos ou de soldados em sua ronda noturna. A partir daí, vários setores, como a Medicina, tem progredido muito respeitando os preceitos cronobiológicos, contribuindo significativamente para a evolução da qualidade de vida de nossas sociedades (CHAPPLE, 1970).

No Brasil, o pioneirismo nesta área cabe ao Grupo Multidisciplinar de Desenvolvimento e Ritmos Biológicos (GMDRB), criado em 1981 no Instituto de Ciências Biomédicas (USP), reunindo interessados em neurofisiologia, comportamento, bioquímica e saúde pública. São os responsáveis por duas obras técnicas (CIPOLLA-NETO *et al.*, 1988; MARQUES *et al.*, 1997) que inter-relacionam este conhecimento com outras ciências.

Os experimentos do fisiologista russo Pavlov sobre reflexos condicionados em cães deram origem a Psicologia Comparada, escola que desencadeou toda uma série de conseqüências baseada no princípio do estímulo – resposta. É freqüente o uso deste princípio pela Engenharia: sinais sonoros ou luminosos como aviso de que uma atividade está por começar ou acabar; automação de tarefas mecânicas (por exemplo, em uma linha de montagem); símbolos e cores de alerta, permissão ou oclusão para ações de diferentes tipos; o uso de setas pintadas no assoalho de bancos ou de metrôs indicando o caminho e os limites de trânsito dos pedestres, dentre muitos outros.

Esta ação reflexa, no entanto, não produz uma resposta invariável, como o senso comum acha, e é aí que reside o problema para um adequado planejamento (ANOKHIN, 1974). Mesmo sem levar em consideração a variação temporal, quando um mesmo estímulo é ministrado seguidas vezes a intervalos curtos e regulares, o receptador reage de forma cada vez mais ineficiente ao estímulo, até não mais lhe causar efeito algum.

Imagine um controlador de qualquer atividade industrial complexa que tenha que prestar atenção simultânea em vários leds e coordenar uma resposta seletiva a cada momento. Dependendo do momento em que ele se encontra em seu ciclo diário ele poderá gerar respostas de diferentes qualidades. No período que lhe confere atenção máxima, quando sua temperatura corpórea está elevada, o tempo de reação ao estímulo luminoso é curto e a resposta é precisa. No período em que o operador está cansado, onde seu metabolismo, temperatura e percepção sensorial estão em baixa e sua atenção é mínima, o tempo de reação ao mesmo estímulo é mais longo e a resposta é frequentemente imprecisa. Esta é provavelmente a causa da grande maioria dos acidentes, onde se qualifica o acidente de "erro humano", como foram os casos do derramamento de óleo do Exxon Valdez, do desastre radioativo na usina termonuclear de Chernobyl, das trombadas de trens expressos na mesma linha férrea e de vários casos de quedas de aviões comerciais. Ora, o trabalhador não é uma máquina, que uma vez ligada quando acorda gera a mesma resposta qualquer que seja o tempo em que permanece em atividade. A falta de previsão das possíveis variações do desempenho humano em função do seu cansaço é a raiz do problema, muitas vezes condicionada a tradições legais que ainda se baseiam na teoria do estímulo - resposta.

Estudando Cronobiologia percebe-se que os indivíduos estão mais preparados a atuar de modo preditivo (pela incorporação das informações adaptativas de longo prazo da espécie) do que de modo reativo (MOORE-EDE, 1986). O modo reativo (de curta duração) é mais de urgência, imediatista, de ação condicionada, de satisfação comportamental perante um estímulo condicionante ou novo, envolve em geral liberação de adrenalina para preparar o organismo a imprevisibilidade do que está por vir. O modo preditivo (de longa duração) sincroniza no sujeito o melhor momento de execução de uma tarefa com a circunstancia ambiental mais favorável, otimizando-a. Muitas vezes não somos conscientes da mudança de humor, de nossos hábitos alimentares, do horário de ir dormir ou de se divertir, ou mesmo de acasalar em função das variações sazonais. Alguns fenômenos são diferentes entre homens e mulheres. As mulheres costumam engordar no inverno e emagrecer no verão, como resultado de uma série evolutiva de adaptações da reprodução que determina este ciclo de reservas de energia para o período de gestação e parto. Como na maioria das fêmeas dos mamíferos, as mulheres procuram parir no momento mais adequado para que elas, e principalmente seus bebês tenham a maior probabilidade de sobrevivência possível (MARGALEF, 1977), tentando inclusive precaver-se de possíveis doenças psíquicas (HALARIS, 1987). Tais conhecimentos de nossa biologia não são levados em conta no planejamento e organização do trabalho, o que interfere na qualidade de vida.

Somos uma espécie de hábitos diurnos, o que significa que estamos evolutivamente adaptados a um ciclo de máxima atividade durante o dia e de descanso durante a noite. O número de horas que cada pessoa precisa para descansar é variável e depende de uma série de fatores genéticos e ambientais. Como em qualquer outra espécie, o que conta é a variabilidade de opções (FUTUYMA, 1992). Dentro desta gama de possibilidades temos humanos matutinos e vespertinos (referente ao horário de ir dormir e acordar), grandes, médios ou pequenos dormidores (referente ao intervalo do período de sono), sendo que estas funções podem variar numa mesma pessoa conforme a idade ou o estágio sexual (HORNE e ÖSTBERG, 1976). Também somos uma espécie social (CHAPPLE, 1970), de modo que para a segurança do grupo de noite era favorável que alguns pudessem permanecer acordados (os vespertinos) enquanto os outros dormiam (os matutinos) e quando estes acordassem, seria o momento dos outros irem dormir, num revezamento funcional e eficaz. Isto implica que, pessoas que coabitam no seio de alguma estrutura social (de família a cidades) podem ter ritmos biológicos e picos de atividades pessoais bem diferentes uns dos outros.

ALGUMAS IMPLICAÇÕES NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DE ENGENHARIA

Atualmente essas diferenças não são adequadamente consideradas. Por razões econômicas, prevalece o interesse em massificar as atividades das pessoas no tempo, ao invés de se buscar situações em que tais atividades seriam executadas de forma mais eficiente, mais rápida e com menor gasto de energia, respeitando o ciclo biológico pessoal de cada um.

Este dilema é vivenciado cotidianamente no processo ensino-aprendizagem. Dentre as qualidades individuais dos estudantes requeridas em cursos de Engenharia estão seu desempenho em Matemática, habilidades gráficas e motoras, visão espacial, raciocínio integrativo, todos em extrema dependência da capacidade de percepção sensorial de cada indivíduo. Estas aptidões são cíclicas e variam a cada hora do dia em função de uma série de parâmetros biológicos pertinentes a cada um: sua genética e fisiologia, a estabilidade de suas emoções e acontecimentos anteriores.

Como o processo ensino-aprendizagem depende de relações interpessoais, de estudantes entre si e entre professores e estudantes, a eficiência de cada atividade acadêmica estaria na dependência dos ciclos de cada um dos diferentes atores do processo.

Imaginemos um professor que deva ministrar a mesma disciplina em diferentes turmas, e como consequência, em diferentes horários. As habilidades do próprio professor estão em questão nestes diferentes momentos, e sua capacidade

de ensinar é alterada ao longo do dia. Considerando o mesmo fato para os estudantes, percebemos o quão complexo é satisfazer as necessidades individuais pensando no coletivo.

Esta situação pode ser um grave fator gerador de injustiça social – pensemos no vestibular, que geralmente é realizado em 5 provas pela manhã – isto favorece os matutinos, que estão em pleno alerta mental neste horário para resolução das provas, enquanto que os vespertinos estarão fazendo o vestibular um tanto sonolentos, com baixa eficácia. Além disso, o horário mais propício para a interpretação e deduções para uma disciplina não é o mesmo para as outras disciplinas (CIPOLLA-NETO et al., 1988). As várias disciplinas nos cursos de Engenharia são ministradas em horários fixos, sem se importar se aquele horário é o mais apropriado para a assimilação daquele conteúdo pelos estudantes ou mesmo se satisfazem às exigências requeridas pelos estudantes matutinos e/ou vespertinos.

Disciplinas como as de Cálculo e Desenho Arquitetônico estariam submetidas à influência da Cronobiologia, uma vez que as aptidões requeridas em cada uma são diferentes ao longo do dia. Além disso, as diferentes modalidades de Engenharia requerem pessoas com diferentes características, pois existem aquelas com preferências para, por exemplo, a Física ou para a Química. Tais preferências estão biologicamente fundamentadas para o padrão de raciocínio de cada uma, exigindo capacidades sensoriais diferenciadas entre elas.

CONSEQÜÊNCIAS PARA A ENGENHARIA

Vejamos agora as implicações em uma sociedade ocidental moderna, especialmente para os problemas de Engenharia. O trabalho tende a padronizar os horários de atividade, independente das preferências biológicas de cada trabalhador. O horário estabelecido das 8:00 às 12:00 e das 14:00 às 18:00 horas satisfaz exigências legais e gera desconforto em muitas pessoas (FISCHER et al., 2000). Suponha um vespertino tendo que acordar às 5:00 horas da manhã em São Paulo ou Rio de Janeiro para chegar no serviço às 8:00 horas. Ou um matutino, que não tem o problema anterior, mas às 3 horas de retorno para casa após o serviço lhe cansam em igual proporção que para o vespertino em sua viagem matutina. Esta situação se complica quando uma indústria não pode parar e seus funcionários são contratados para trabalhos em turnos. Testaram-se várias opções de escalação, mas todas elas apresentam suas vantagens e desvantagens influenciando a qualidade do repouso, o estado físico, mental e emocional dos envolvidos (RUTENFRANZ et al., 1989). Trabalho noturno ou em turnos envolve precauções legais contra acidentes de trabalho e doenças ocupacionais (Brasil, 1997) sendo de âmbito dos estudos ergonômicos (REGIS FILHO, 1998). Respeitando os preceitos da cronofarmacologia (CIPOLLA-NETO et al., 1988), onde são verificadas as variações de susceptibilidade do organismo a fármacos e toxinas em diferentes horários, percebe-se o quanto à indústria química afeta a qualidade de vida de seus funcionários e população circunvizinha (LIEBER, 1991), apesar

de todo um esforço de educação ambiental em contrário (DORST, 1973; LUBCHENCO et al., 1991). Um dos principais inconvenientes que é imposto aos funcionários com este regime de trabalho é a quebra dos elos sociais, com repercussões danosas significativas no panorama familiar, levando muitos ao uso de estimulantes ou antidepressivos, quando não às drogas, vícios de diferentes magnitudes e comportamentos deslocados (HALARIS, 1987).

Algo semelhante ocorre com os médicos em seus plantões de 36 horas ininterruptas. Alguns especialistas afirmam que esta prática é para treinar o médico em situações de emergência, aprender a pensar e a agir de forma competente em condições de urgência, não importa o momento em que esta venha a ocorrer. Por mais bem treinado que um médico seja, ele se cansa e possui um ritmo de atividade próprio e, certamente estará mais propenso a cometer erros quando sua atenção baixar. O esforço repetitivo na execução de seus plantões ao longo de sua vida profissional, no mínimo, afeta a expectativa de vida deste médico. É um paradoxo, pois, aqueles que deveriam zelar por nossa saúde e aumentar nossa qualidade de vida, por imposições econômicas e trabalhistas, sob o ponto de vista da Cronobiologia, não o fazem para si próprios. É de se questionar quantos, em outras profissões, também não são levados a fazer o mesmo por falsas consciências? (BETITO, 2000).

A tecnologia atual dos transportes nos permite vencer grandes distâncias em curtos períodos de tempo, favorecendo a globalização, o que é bom para os negócios ou turismo, mas nem sempre é agradável à nossa biologia. Considerando o sentido de rotação da Terra e para economizar combustível, inicia-se uma viagem no sentido leste-oeste. Dependendo de quantos fusos horários estamos atravessando num intervalo curto de tempo, nosso organismo estará em defasagem com os sincronizadores ambientais do local de chegada, num fenômeno conhecido por "jet lag".

Antes da partida, os diversos ritmos do organismo encontram-se sincronizados entre si (mantendo uma ordem temporal interna) (CIPOLLA-NETO et al., 1988) bem como ao ciclo claro-escuro ambiental. Com a mudança de fuso horário, o organismo tende a sincronizar seus ritmos ao novo padrão claro-escuro. No entanto, cada ritmo tem uma velocidade própria de ajuste ao novo horário e a relação de fase entre os ritmos é modificada provocando uma desordem temporal interna. Após alguns dias ou semanas, dependendo do indivíduo, a ordem temporal interna se restabelece. Enquanto durar a desorganização temporal interna o viajante pode sentir mal-estar, dificuldade para dormir no horário habitual e sonolência diurna, o que aumenta o risco de acidentes, além de provocar alterações de humor e de hábitos alimentares. O mal-estar continua se a viagem de retorno ocorrer logo após o restabelecimento da ordem temporal interna, pois o viajante terá novamente que se reajustar ao novo local de chegada. Isto significa em outras palavras que, após uma viagem de "férias" podemos estar nos sentindo pior do que antes da partida, apesar da sensação de termos aproveitado a viagem e descansarmos dos afazeres do cotidiano. É por este motivo, por exemplo, que na Copa do Mundo as equipes de jogadores

de futebol têm de chegar com uma antecedência programada, para ajustar seus relógios de origem ao fuso do local da competição, para não sentirem os efeitos do "jet lag".

Estas características biológicas geram implicações de desempenho para os aeroviários. Os pilotos devem trabalhar numa escala que respeite suas necessidades de repouso, apesar de poderem estar em curto prazo em lugares de fusos horários completamente diferentes. As aeromoças devem consultar regularmente seus ginecologistas, pois o ciclo menstrual sofre irregularidades quando perde os referenciais do ciclo claro-escuro de um local, o que pode comprometer a capacidade reprodutiva delas. Os aeroportos devem oferecer serviços contínuos, de modo que seus funcionários, responsáveis por inúmeras tarefas, são trabalhadores em turnos.

O mesmo problema se posta quanto ao horário de verão. Este foi adotado no Brasil com o propósito de adequar a janela de tempo do trabalho às horas de luz natural, maior no verão e menor no inverno, tendo como efeito uma redução no consumo de energia. O horário de verão começa no início de outubro (primavera) adiantando-se os relógios em uma hora e termina em meados de fevereiro, quando o horário padrão retorna. Em outros países onde esta medida é adotada pode haver variação nas horas a serem acrescidas no horário padrão dependendo da extensão do país, de quantos fusos horários ele abrange. Deve-se lembrar, no entanto, que um ritmo pode estar sob a influência de mais de um sincronizador, podendo ser afetado por forças de acoplamento diferentes em cada um deles (CIPOLLA-NETO et al., 1988; MARQUES et al., 1997).

Para a população, constituída por uma distribuição normal de variantes genéticas, existem várias possibilidades de resposta ao novo horário. Crianças em idade escolar reagem diferente dos adultos, pois, além do fator claro-escuro, entra em jogo a influência das atividades sociais. O mesmo pode ocorrer entre homens e mulheres de diferentes idades, cujas responsabilidades os fazem interagir em momentos diferentes durante o transcurso de um dia. Cerca de 50% das pessoas queixam-se da qualidade de sono após a implantação do horário e as diferenças entre o antes e depois são mais significativas para pessoas que dormem pouco (os pequenos dormidores). Parece que os vespertinos têm mais facilidade de se adaptar a entrada do horário do que os matutinos e na saída do horário a situação se inverteria, sendo mais fácil para os matutinos do que para os vespertinos, porém esta é uma avaliação teórica, sem comprovação experimental.

Pesquisas feitas no Canadá mostraram que no dia seguinte à implantação do horário ocorreu um aumento de 7% no número de acidentes de trânsito. A situação voltou ao normal somente uma semana após a implantação. No término do horário, quando se atrasa o relógio em uma hora, ocorre uma diminuição do número de acidentes no primeiro dia e um aumento de cerca de 7% uma semana depois da retirada do sistema¹.

http://www.crono.icb.usp.br/cronobr.htm

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diz um ditado que não basta estar no lugar certo, é preciso também estar no momento certo! Esta relação de conhecimento sobre espaço-tempo é fundamental para o conceito de qualidade de vida (BETITO e ALMEIDA, 2001). É no fator tempo que os ritmos e os relógios biológicos (estruturas genético-bioquímicas marcadoras do tempo) exercem sua contribuição. Então, que implicações o conhecimento da Cronobiologia traz para a evolução da humanidade e em particular para a formação dos engenheiros?

Estamos hoje com uma população mundial próxima a 7,5 bilhões de pessoas, alterando os solos, a atmosfera e os oceanos, exaurindo os recursos limitados do planeta, gerando poluição e pobreza, reduzindo a biodiversidade e comprometendo a sobrevivência de muitas espécies, a teia da vida (GAIA), provocando desequilíbrios ambientais irreversíveis com consequências totalmente imprevisíveis (DORST, 1973; LUBCHENCO et al., 1991; BETITO, 2000). Como em qualquer outra espécie, a solução mais plausível é a da dispersão, começar a explorar e colonizar o espaço, outros planetas, ir além do nosso sistema solar. É necessário para isso de tecnologia, num patamar que ainda não atingimos, pois nem sequer começamos a colonizar a lua (a "um passo" de nós) ou uma estação espacial duradoura após todos estes anos de viagens espaciais. Percorrer parsecs de distância (1 parsec = 3,26 x and luz; 1 and luz = 9,5 x 10^{12} Km) sem uma velocidade apropriada implica em uma infindável sequência de gerações nascidas no espaço até que possamos chegar a algum destino adequado. É aí que reside o problema: como adequar a tecnologia às necessidades biológicas humanas (e de toda a infraestrutura orgânica que ele necessita para sobreviver) no espaço, uma vez que lá os referenciais geofísicos terrestres não mais estarão presentes?

O homem fora do seu ambiente, a Terra, leva consigo seu ritmo endógeno (~24.14 ± 0.16 h) que pode ser influenciado por vários fatores de formas ainda desconhecidas. Os experimentos em ambientes ecológicos fechados e controlados, como os da Biosfera I e II, tratam dos sistemas de suporte à vida e técnicas de reciclagem, essencialmente do gás carbônico, oxigênio e água. A meta é de gerar a capacidade de desenvolver plantas e nutrientes em longo prazo, respeitando seus ritmos de crescimento, para o sustento dos astronautas em suas longas viagens, conforme a disponibilidade e armazenamento de energia. Astronautas são selecionados em sua maioria dentre os engenheiros mais qualificados. Estes estarão sujeitos no espaço a condições que eles não foram preparados pela evolução para enfrentar, de modo que os resultados obtidos na Terra com os estudos da Biosfera são apenas iniciais e parciais.

Sabemos, por exemplo, que a ausência de gravidade gera efeitos prejudiciais sobre o tônus muscular, porém ainda não se sabe que efeitos produzem sobre o sono ou sobre o ciclo vigília/sono. Também não sabemos como pode afetar nossa performance de desempenho, já que a sobrevivência no espaço depende dela. Indo à direção de um objetivo perde-se o referencial cíclico claro-escuro solar por não se estar mais em rotação, o que pode gerar algo semelhante ao que acontece com os esquimós nos pólos, quando permanecem 6 meses no

claro após 6 meses de escuro. Como espécie social que somos muitos ritmos são arrastados pelas atividades de convivência, porém a falta de novos elementos humanos, o confinamento, a pressão do trabalho sob situações imprevistas ou de perigo e questões de privacidade são variáveis novas a serem consideradas. Com um número limitado de pessoas e múltiplas responsabilidades a serem executadas, qual seria a tabela de trabalho em turno mais apropriada de ser aplicada para garantir a saúde e o descanso adequado? Em sendo homotérmicos (mantemos uma temperatura estável, com gasto de energia), como o espaço frio e inundado de radiações afetaria o ritmo da temperatura corporal e nossa termoregulação?

O sono médio dos astronautas é de 6 horas/dia, o que resulta numa fadiga crônica por carência de sono. Pode-se minimizar este prejuízo com períodos mais curtos de sono noturno e cochiladas mais longas durante o dia, gerando um efeito semelhante ao sono dos idosos. Distúrbios provocados por esta fadiga podem ser monitorados pela variação do humor, performance neuro-comportamental, eletro-encéfalogramas no sono e ao acordar, temperatura corporal, mobilidade e concentração plasmática dos hormônios do crescimento, melatonina e cortisol.

A equipe de apoio em terra, em esquema de prontidão constante, deve trabalhar em turnos bem coordenados. A iluminação no ambiente de trabalho deve ser boa, fluorescente (luz do dia), com capacidade de estimular a pineal (controladora da melatonina) para manter um estado adequado de alerta. Ao contrário, os astronautas trabalham com luz reduzida, o que em longo prazo pode lhes provocar uma desorganização temporal interna por falta de sincronismo apropriado de seus ritmos.

À medida que nos afastamos da Terra expõem-se progressivamente os astronautas a capacidades adaptativas desconhecidas. Vamos supor o planejamento da missão a Marte, com uma previsão de permanência lá de 2 anos: comparando com a Terra, o espectro luminoso de Marte tende ao vermelho, a luminosidade é fraca, o período de rotação é de 24,62 horas e o campo gravitacional é de 0,38 G. O sistema de temporização circadiano dos mamíferos é mais sensível ao extremo azul-verde do espectro luminoso, precisa de luz intensa e está adaptado para sincronizar-se a um dia de 24 horas. Durante a viagem os astronautas estarão sob influência de comprimento de ondas abaixo de 440 nm e acima de 600 nm, diferente da situação terrestre. Em condições experimentais na Terra podemos simular um dia de período pré-fixado, ou criar um ambiente com um certo espectro luminoso, porém não temos como, em caráter constante, simular um ambiente de 0,38 G ou com radiação cósmica onde pudéssemos pesquisar seus efeitos antes de enviar os astronautas. Há indícios de que o sistema vestibular, responsável pela percepção da posição corporal pelos movimentos da cabeça, é uma via de entrada de informações sensoriais para o sistema circadiano de ritmos, porém ainda não sabemos como se comporta e suas consequências na ausência ou alteração da gravidade2.

http://www.nsbri.org/research/sleepdesc.html

Um dos grandes desafios dos engenheiros é, portanto, inovar tecnologias que simulem na Terra as condições espaciais, além de fazer o inverso, simular condições terrestres no espaço, para que nossos ritmos, nossa organização temporal interna possa manter-se como vem evoluindo para a nossa sobrevivência. Ressalta-se, porém, um fato importante de caráter feminino: ainda não ocorreu uma fecundação seguida de uma gestação e um parto humanos no espaço, fenômenos que são essencialmente regidos e coordenados no tempo. Falta muita inovação tecnológica ainda para superar este acontecimento terrestre tão cotidiano.

Profissionais de Engenharia formados com o conhecimento dos efeitos da Cronobiologia sobre as pessoas terão mais facilidade para entender o próprio comportamento e o de seus subordinados, efetuando com mais precisão, no espaço e no tempo, aquilo que devem executar. Professores da área da Engenharia seriam bastante beneficiados com o conhecimento da Cronobiologia, tanto para o seu desempenho no processo de ensino-aprendizagem, como na formação profissional holística do seus estudantes.

É a ação interdisciplinar entre as diversas áreas do conhecimento humano que poderá trazer solução para muitos problemas na área da Engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, T.L.; BETITO, R.; CURY, H.N. Mapas mentais, Poeira de Cantor e Interdisciplinaridade. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA. 2000. Anais. Ouro Preto, MG, ABENGE, CD-ROM, 2000.
- ANOKHIN, P.K., The biological roots of the conditioned reflex. In: Anokhin, P.K. (ed.) "Biology and neurophysiology of the conditioned reflex and its role in adaptive behavior", Oxford: Pergamon Press, p. 1-24, 1974.
- BAK, P. How nature works: the science of self-organized criticality. Oxford: Univ. Press, 1997.
- BETITO, R.,. Reflexões sobre a proposta da Educação Ambiental. Revista Eletrônica do Mestrado de Educação Ambiental. v.3. (www.furg.br), 2000.
- BETITO, R.; ALMEIDA, T.L., 2001. Qualidade de vida, consciência e utopias: A dependência do 'Eu' do 'Nós'. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DA ENGENHARIA, 2001. Anais. Porto Alegre, RS, EDIPUCRS, CDROM, 2001.
- BRASIL. Segurança e medicina do Trabalho. Manuais de legislação. 38.ed., São Paulo: Atlas, 1997.
- CHAPPLE, E.D. El hombre cultural y el hombre biológico. México: Pax, 1972.

- CIPOLLA-NETO, J.; MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L.S. (eds.),. Introdução ao estudo da Cronobiologia. São Paulo: Ícone, 1988.
- DORST, J. Antes que a Natureza morra: por uma ecologia política. São Paulo: EDUSP, 1973.
- FISCHER, F.M.; CASTRO MORENO, C.R.; BORGES, F.N.S.; LOUZADA, F.M. Implementation of 12-hour shifts in a brazilian petrochemical plant: impact on sleep and alertness. Chronobiology International, 17(4) 521-537, 2000
- DYSON, F. Infinito em todas as direções: do gene à conquista do Universo. São Paulo: Best Seller, 1988.
- FUTUYMA, D.J. Biologia evolutiva. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992.
- HALARIS, A. (ed.). Chronobiology and psychiatric disorders. Elsevier, 1987.
- HORNE, G.R.J.; ÖSTBERG, O. A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness. International Journal of Chronobiology, 4: 97-110.
- KRINSKY, N.J., The role of carotenoid pigment as protective agents against photo-sensitized oxidation in chloroplasts. In: T.W. Goodwin (Ed.), Biochemistry of Chloroplasts, V1, London: Academic Press, p. 423-430, 1966.
- LIEBER, R.R., Trabalho em turnos e riscos químicos: o horário de trabalho como fator interveniente no efeito tóxico. 1991. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LUBCHENCO, J. The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. Ecology, 72(2) 371-412, 1991.
- MARGALEF, R. Ecología. Barcelona: Omega, 2ed., 1977.
- MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L.; GOLOMBEK, D. A. (eds.). Cronobiologia: princípios e aplicações. São Paulo: EDUSP, 1997.
- MOORE-EDE, M.C., Physiology of the circadian timing system: predictive versus reactive homeostasis. American Journal of Physiology, 250 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 19), p 737-752, 1986.
- REGIS FILHO, G.I. Síndrome de maladaptação ao trabalho em turnos: uma abordagem ergonômica. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção), Universidade Federal de Santa Catarina.
- REINBERG, A.; SMOLENSKY, M., Introduction to Chronobiology. In: REINBERG, A. e SMOLENSKY, M. (ed.), Biological rhythms and medicine, Spriger Verlag 1983.
- RUTENFRANZ, J.; KNAUTH, P.; FISCHER, F. M. Trabalho em turnos e noturno. São Paulo: Hucitec, 1989
- SNEPPEN, K.; BAK, P.; FLYVBJERG, H.; JENSEN, M.H. Evolution as a self-organized critical phenomenon. Proc.Natl.Acad.Sci., 92: 5209-5213, 1995.
- TOUSSAINT, O.; SCHNEIDER, E. D. The thermodynamics and evolution of complexity in biological systems. Comp. Biochem. Physiol. 120(1) 3-9. 1998.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Tabajara Lucas de Almeida

Professor Titular do Departamento de Matemática da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG, RS); Graduado em Engenharia Industrial Química pela FURG em 1972; Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria

(UFSM, RS) em 1979; Doutor em Engenharia de Produção pela UFSM em 1999. Áreas de interesse: Probabilidade e Estatística, Psicologia, Educação, Avaliação da Aprendizagem, Interdisciplinaridade.



Robert Betito

Professor Titular do Departamento de Oceanografia da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG); Graduado em Oceanografia Biológica pelo Curso de Oceanologia da FURG em 1976; Mestre em Oceanografia Biológica pela FURG em 1984;

Doutor em Oceanografia Biológica em 1999 pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Áreas de interesse: Cronobiologia, Sistemas Dinâmicos Auto-Organizados, Análise de Ecossistemas, Dinâmica de Populações, Educação Ambiental.



Cleuza I.R. de Almeida

Professora Adjunto IV do Departamento de Materiais e Construção da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG); Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pelotas (UCPel) em 1972; Mestre em Engenharia Civil pela

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 1977. Coordenadora dos Cursos de Engenharia Civil e Engenharia Civil Empresarial da FURG. Áreas de interesse: Resistência dos Materiais, Ensino de Engenharia, Avaliação da Aprendizagem.

APLICAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DA INTEGRAÇÃO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS: CASO ARQUITETURA VERSUS ESTRUTURA

Roberto Machado Corrêa¹

RESUMO

Este artigo apresenta uma aplicação de programa computacional, introduzindo um novo método para o ensino integrado do projeto de edifícios. A aplicação se concentra na etapa de projeto preliminar, onde se inicia a integração gráfica entre os projetos de arquitetura e estrutura, na fase de lançamento da estrutura. A experiência está sendo conduzida na disciplina de "Estruturas de Concreto Armado I" lecionada no curso de graduação de engenharia civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O artigo está estruturado em três partes, explicando inicialmente a natureza dos problemas encontrados nas etapas preliminares do projeto de um edifício, sobretudo o problema de lançamento de estruturas. Em seguida, é feita uma apresentação da técnica computacional escolhida e da adequação de sua escolha para auxílio às etapas preliminares do projeto. Finaliza-se o trabalho apresentando o ambiente computacional desenvolvido para a resolução do problema de lançamento de estruturas, mencionando sobre geração e interpretação de seus dados.

Palavras-chave: gerência de projeto, ensino de engenharia, sistema de apoio à decisão

ABSTRACT

This paper presents a software that introduces a new method for the integrated teaching of building design and a possible application of that software. The software can be applied to the stage of placement of structural members, at the preliminary design level, when the graphical integration of architecture design and structure design begins. The experiment is being carried on with the subject "Armored Concrete Structures I" taught in the civil engineering graduation course of Universidade Federal do Rio de Janeiro. The paper is divided in three parts. First part explains the nature of the problems found in the preliminary stages of building design, giving emphasis to the placement of structural members problem. Second part is a presentation of a chosen computational technique. It also presents the question of whether or not that choice is the right one to assist the preliminary stages of building design. Third part ends the paper not only by presenting the computational environment that was developed to solve the problem of placement of structural members, but also by mentioning the interpretation of the data generated by that computational environment.

Key-words: design management, engineering teaching, decision support systems

INTRODUÇÃO

O lançamento de estruturas de um edifício é o início da integração entre as formas geométricas da arquitetura com as da estrutura. Compreendido na fase de estudo preliminar de estruturas, o lançamento de estruturas necessita, além das plantas arquitetônicas (estudo preliminar de arquitetura), de informações provenientes de levantamentos, programas de necessidades e estudos de viabilidade dos projetos de arquitetura e estrutura (NBR-05679, 1995).

Lançar estruturas para um edifício é uma tarefa competente tanto para o arquiteto como para o engenheiro civil. Porém, existe uma cultura no Brasil onde arquitetos desenvolvem apenas projetos arquitetônicos e engenheiros civis as demais atividades técnicas de projeto. Essa segregação de tarefas tem sido estimulada ao logo dos anos pelo distanciamento dos cursos de arquitetura e engenharia civil, pois as autoridades acadêmicas têm-se preocupado mais com os aspectos de especialização de seus cursos do que os de relacionamento com os demais. Na UFRJ, por exemplo, menos

¹ M.Sc., Engenheiro Civil, Doutorando pelo Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ. Centro de Tecnologia, Sala F-109, Cidade Universitária, Caixa Postal 68507, CEP 21945-970, Rio de Janeiro, RJ. Fone: (21) 2562-7048, Fax: (21) 2590-8817. E-mail: rmcorrea@ig.com.br

de 10% das disciplinas do curso de arquitetura abordam estruturas, enquanto o curso de engenharia civil responde com menos de 10% das disciplinas abordando desenho e estudo espacial. Um dos resultados desse distanciamento é a formação de arquitetos com poucas afinidades em estruturas de edifícios e engenheiros civis com poucas afinidades com a forma e o estudo espacial, provocando um despreparo de ambos profissionais recém-formados para lidar com as interfaces de arquitetura e estrutura (Corrêa, 2001).

A divisão de tarefas estimuladas pelos cursos de arquitetura e engenharia civil induz os projetistas do subsetor de edificações a desenvolverem as atividades em série, ou seja, desenvolve-se primeiro o projeto arquitetônico para depois iniciar o projeto estrutural. Esse procedimento representa altos riscos de retrabalho, pois após um erro arquitetônico ser detectado numa etapa avançada do projeto estrutural poderá implicar na correção de grande quantidade de dados arquitetônicos e estruturais envolvidos, recuando várias posições do cronograma de desenvolvimento do projeto.

Para minimizar a quantidade de retrabalho, convém elaborar as atividades de arquitetura e de estrutura em paralelo, pois os possíveis erros podem ser detectados e corrigidos com facilidade, sem precisar voltar vários passos do projeto. Essa forma de trabalho simultâneo pode ser realizada com sucesso desde que os profissionais envolvidos possuam linguagem e conhecimentos comuns que proporcionem dialogar e solucionar problemas de integração entre os projetos arquitetônico e estrutural.

O lançamento de estruturas é um dos conhecimentos que deve ser comum ao arquiteto e ao engenheiro civil, proporcionando aos dois projetistas ter a mesma linguagem. O mesmo ocorre com o pré-dimensionamento dos elementos estruturais que depende do lançamento de estruturas e influencia diretamente no projeto arquitetônico. O estudo do pré-dimensionamento pode implicar num novo lançamento das estruturas, para que gere elementos estruturais compatíveis com o projeto arquitetônico.

Esse processo de adequação das estruturas à arquitetura é desenvolvido ao longo da experiência profissional do projetista, pois envolve diversos parâmetros que variam de empreendimento para empreendimento. Trazer a realidade dos escritórios de projeto para a sala de aula é bastante complexo, pois os exemplos devem ser simples para quem está aprendendo. Objetivando traduzir e simplificar essa realidade para o ensino, foi elaborado o programa computacional aqui apresentado que procura usar uma linguagem comum aos estudantes de arquitetura e engenharia civil, orientando os alunos a elaborar e integrar projetos preliminares de arquitetura e estrutura, bem como o professor no acompanhamento do aprendizado da turma.

INTEGRANDO ESTUDOS PRELIMINARES

Tanto lançamento de estrutura quanto pré-dimensionamento devem fazer parte do estudo preliminar do projeto de estrutura.

Para que um lançamento de estrutura seja bem realizado, além de seguir regras e normas, deve ser reavaliado com um estudo de pré-dimensionamento dos elementos estruturais mais solicitados.

Através desse estudo será possível saber se os elementos estruturais estão respeitando o projeto arquitetônico. Caso haja algum problema estético ou funcional, fazem-se alterações necessárias no lançamento das estruturas a fim de solucionar as incompatibilidades. Se ainda não for possível resolve-las, então o projeto preliminar de arquitetura deverá ser modificado.

Para evitar que o projeto preliminar de arquitetura seja alterado, é recomendável que o mesmo seja elaborado prevendo o lançamento da estrutura. Por exemplo, num edifício de vários andares, normalmente, inicia-se projetando a arquitetura do pavimento-tipo. Fazendo o lançamento de sua estrutura e o pré-dimensionamento dos elementos estruturais mais solicitados, é possível verificar se a arquitetura do pavimento-tipo será alterada. Havendo compatibilidade entre arquitetura e estrutura do pavimento-tipo, inicia-se o projeto de um novo pavimento e assim continuamente até a finalização do projeto preliminar de arquitetura.

Esses procedimentos para realizar os estudos preliminares de arquitetura e estrutura simultaneamente diminuirão bastante a probabilidade de se encontrar erros em etapas posteriores de projeto que demandem grande quantidade de retrabalho.

Ensinar a realizar estudo preliminar de arquitetura simultaneamente com lançamento de estrutura e prédimensionamento não é tarefa fácil, pois normalmente as pessoas estão acostumadas a iniciar uma tarefa quando outra for finalizada. Esse costume de realizar atividades em série é comumente encontrado nos escritórios de projeto de edifícios. Essa cultura está tão difundida que fica difícil converter os projetistas a desempenhar atividades em paralelo. Porém, no ensino de graduação esse método de trabalho pode ser mais fácil de ser absorvido pelos alunos, pois os mesmos ainda não estão presos a paradigmas e métodos conservadores de se projetar.

A diversidade e a quantidade de fatores que influenciam nas interfaces gráficas entre arquitetura e estrutura são tão grandes que seria bastante complexo equacionar esse problema para se determinar à solução ótima para o lançamento de estrutura do edifício. Porém, podem-se escolher os fatores mais influentes e traduzi-los por parâmetros para que um programa computacional possa equacionar e sugerir soluções.

Obviamente esse programa computacional pode ser dispensável para os projetistas experientes, pois eles já possuem bom senso para solucionar as interfaces entre arquitetura e estrutura de forma adequada, quando fornecido o perfil do empreendimento. Como os alunos ainda são leigos para identificar e relacionar variáveis de projetos para integrálos, uma ferramenta que os auxilie a entender esse processo torna-se interessante.

Módulo CAD

Módulo Integrador + Banco de Dados

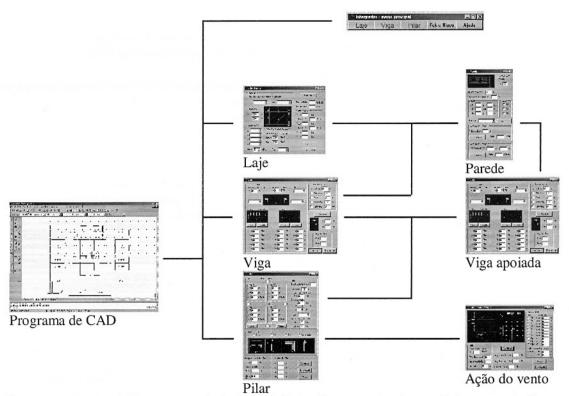


Figura 1. Fluxograma: as setas indicam as transferências de informação entre as janelas e módulos que compõem o programa computacional

INTERFACES DO AMBIENTE COMPUTACIONAL

Além de possuir uma interface amigável, o programa computacional foi desenvolvido para uma plataforma simples, pois os laboratórios de informática dos cursos de graduação são compostos normalmente de computadores lentos. Dessa forma, foi elaborado um programa computacional leve para avaliação da integração a ser usado juntamente com um programa de CAD de livre escolha. Esse conjunto, portanto, forma um programa computacional composto por um módulo CAD e um módulo Integrador com programas de computador independentes, porém cada módulo dependente do outro para o auxílio à integração dos projetos de arquitetura e estrutura.

Para o módulo CAD é possível usar qualquer programa de CAD (computer aided design) aplicando o arquivo "estrutura.dwg" (ou "estrutura.dxf", no caso desse programa não suportar arquivos com a extensão "dwg") que auxilia o lançamento de estrutura graficamente no projeto arquitetônico dado.

O módulo Integrador calcula o pré-dimensionamento e reações das lajes, vigas e pilares, baseando-se nas cargas e nos dados geométricos dos estudos preliminares de arquitetura e de estrutura. O Integrador faz o cálculo de pré-dimensionamento de um elemento estrutural procurando adequar as dimensões desse com o projeto arquitetônico. Caso o Integrador detecte um conflito entre o elemento e a

arquitetura, uma janela com explicações e sugestões é apresentada na tela do computador. Esse módulo se divide em três janelas principais (laje, viga e pilar), duas secundárias (para cálculo de ação do vento em pilares e carga de paredes em lajes e vigas) além de várias outras contendo sugestões, correções e explicações.

O processo de transferência de dados entre janelas ou módulos não é automático, cabendo ao aluno fazê-lo. O motivo é fazer o aluno fixar e entender os passos de cada etapa do lançamento de estrutura para integrar esse ao projeto arquitetônico de um edifício.

Todas as informações sobre valores inseridos ou alterados, janelas e mensagens de auxílio do programa abertas são armazenadas num banco de dados e separadas para uso dos alunos e para uso exclusivo do professor. Essas informações exclusivas permitirão que o professor elabore e aplique um novo exercício, com base no nível de aprendizagem da turma, para auxiliar nas dificuldades dos alunos em integrar os dois projetos.

APLICANDO O AMBIENTE COMPUTACIONAL

Para a aplicação do programa computacional junto aos alunos, convém iniciar com exercícios simples, como lançar a estrutura em concreto armado para um edifício com formas arquitetônicas retangulares. O próprio programa está

capacitado para auxiliar a resolver apenas projetos estruturais rotineiros, de forma a consolidar o aprendizado básico em estruturas de concreto armado convencional. Entende-se por projeto rotineiro como aquele que emprega soluções já existentes. Há também os projetos inovadores e criativos onde as soluções são adaptadas de soluções rotineiras ou completamente novas, respectivamente (Gero, 1990), porém requerem um estudo mais aprofundado que o contido na ementa da disciplina de "Estruturas de Concreto Armado I".

O método de aplicação do programa obedece aos seguintes passos para a resolução dos exercícios em sala de aula:

Lançamento Inicial da Estrutura em CAD

Dada uma planta de pavimento-tipo de um edifício num arquivo em CAD, mudam-se os elementos gráficos dessa planta para uma única camada ("layer") e tranca-se essa camada. Dessa forma os elementos do pavimento-tipo são visualizados e não se alteram quando é realizado o desenho do lançamento da estrutura em uma outra camada, tendo como base esse pavimento.

Para iniciar o lançamento da estrutura, importa-se o arquivo "estrutura.dwg" para o desenho de arquitetura em CAD. Esse arquivo possui blocos que servem para localizar as prumadas dos pilares, bem como dimensionar e posicionar os elementos estruturais (laje, viga e pilar) para elaboração da planta de formas. Caso se decida usar um programa CAD que seja incompatível com arquivos com a extensão "dwg", pode-se importar o arquivo "estrutura.dxf".

Com base no pavimento-tipo, inserem-se os blocos das prumadas dos pilares, lançando-se as posições dos pilares (Figura 2). Esses blocos permitem determinar os vãos teóricos das lajes e vigas através de um comando que informe a medida entre dois pontos (por exemplo, o comando "dist" do AutoCAD). Conhecendo-se os vãos teóricos, dimensões e materiais das paredes, uso e tipo dos pisos das dependências do pavimento é possível fazer os pré-dimensionamentos dos pilares, vigas e lajes.

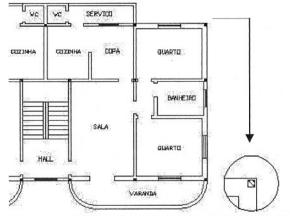


Figura 2. Lançamento das prumadas dos pilares em CAD, baseando-se na planta-baixa do projeto de arquitetura

O módulo Integrador é independente do módulo de CAD e, portanto, pode-se usar qualquer programa CAD nas etapas seguintes, bem como realizá-las com auxílio da planta arquitetônica em papel. Esse recurso é a forma de suprir uma eventual falta de um programa CAD.

Verificação da interface entre arquitetura e estrutura

Antes de iniciar o cálculo do pré-dimensionado de um elemento estrutural, são adicionados os valores dos parâmetros de entrada do programa relativos às condições de contorno estabelecidas pela arquitetura.

Por exemplo, uma viga deve ter uma seção que possa ser embutida numa parede, sendo sua base menor que a espessura da parede e a sua altura não interfira na altura de uma porta ou janela dessa parede. Veja a figura a seguir:

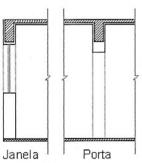


Figura 3. Integração da viga com a arquitetura, vista de um corte longitudinal

No caso de um pilar, as paredes que embutem o mesmo devem ter espessura maior que as dimensões respectivas da seção do pilar, conforme é mostrado na figura abaixo:

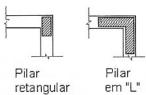


Figura 4. Integração do pilar com a arquitetura, vista em plantabaixa

Dessa forma, ao aplicar os valores às dimensões de paredes, portas e janelas, é possível definir as condições de contorno da arquitetura que vão balizar o pré-dimensionamento do elemento estrutural para que esse esteja em harmonia com o projeto arquitetônico.

Pré-dimensionamento dos elementos estruturais

Para o pré-dimensionamento dos elemen-tos estruturais, é necessário fornecer o tipo de aço e a resistência do concreto.

O pré-dimensionamento dos pilares é feito através do cálculo das áreas de influência. Para isso, é preciso fazer o pré-dimensionamento das lajes vizinhas que influenciam na carga do pilar e, quando necessário, considerar o cálculo da ação do vento. Para as lajes, devem ser consideradas as cargas

devido ao uso, ao tipo de piso e às paredes. As reações das lajes nas vigas são calculadas através do método dos quinhões de carga (Rocha, 1990). Com as reações das lajes vizinhas, carga de parede e cargas concentradas devido a vigas ou pilares apoiados, o momento fletor na viga é calculado para pré-dimensionar a mesma.

O módulo Integrador faz o pré-dimensionamento dos pilares e das vigas com base na verificação das interferências desses elementos no projeto arquitetônico. Após o lançamento da estrutura do pavimento-tipo, elabora-se a planta arquitetônica de mais um pavimento do edifício, respeitando-se as posições dos pilares lançados, procurando usar a mesma estrutura lançada anteriormente.

O processo de projetar cada pavimento com base na estrutura lançada para o pavimento-tipo é menos trabalhoso do que lançar um conjunto estrutural que se integre a todos os pavimentos inicialmente projetados.

GERANDO E INTERPRETANDO DADOS

O processo de cálculo e as respostas geradas pelo módulo Integrador estão baseados na realidade prática de projetar a fim de proporcionar simulações mais precisas dessa prática ao aluno. As mensagens de recomendações de projeto desse módulo aparecem quando o aluno opta por uma solução que afeta as condições de contorno dos dois projetos (aspectos estéticos, técnicos ou econômicos). O uso dessas mensagens com vocabulário apropriado permite configurar uma linguagem estruturada para as etapas do desenvolvimento do raciocínio de quem ensina e de quem está disposto a aprender (Naveiro & Medeiros, 1998).

O módulo Integrador permite gravar os dados do projeto estudado, tais como dimensões e cargas calculadas dos elementos estruturais estudados. Dessa forma, o aluno poderá consultar esses dados para usá-los no pré-dimensionamento de outros elementos.

Cada ação executada pelo aluno com o módulo Integrador é registrada num arquivo de banco de dados. O número de vezes que cada janela foi aberta, que cada valor de parâmetro foi alterado ou que cada dispositivo foi usado para cálculo ou correção, é traduzido por um contador automático que transmite essas informações para esse arquivo. Dessa forma, é possível o professor visualizar e interpretar o conjunto de ações executadas pelos alunos a fim de se conhecer o desempenho e o nível de aprendizagem da turma. Com essas informações, o professor poderá elaborar um novo exercício para complementar ou aprimorar a forma de integrar os projetos pelos alunos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do programa computacional visa facilitar o aluno a entender o processo de lançamento de estrutura e a perceber as interfaces entre arquitetura e estrutura baseadas nas condições estéticas, espaciais e de viabilidade técnica. O entendimento do processo proporcionará ao aluno elaborar

um projeto de estrutura com elementos estruturais ordenados e em harmonia com a arquitetura do edifício.

Lidar com variáveis e condições de contorno pode ser complicado para o aluno, mas simplificar o conjunto de restrições e parâmetros e traduzi-lo para uma interface de programa, sendo intuitiva e fácil de manusear, proporcionará uma aprendizagem mais eficiente do lançamento de estrutura.

Fazer o lançamento de estrutura de um edifício dado seu projeto de arquitetura completo ainda não é a melhor forma de se integrar os dois projetos. É interessante mostrar ao aluno as vantagens de se elaborar os dois projetos simultaneamente, como redução de tempo de elaboração dos projetos e da facilidade em corrigir erros ou fazer modificações nos mesmos.

Implementar um programa computacional para auxiliar o ensino em uma determinada disciplina não é uma tarefa simples, pois envolve dificuldades técnicas e financeiras, além de disponibilidade de espaço apropriado e do interesse de docentes e de pessoal administrativo da instituição. Esse contexto tende a inviabilizar a implementação de programas que demandem computadores rápidos ou infraestrutura e espaços específicos. Dessa forma, como foi explicado anteriormente, deve-se optar por uma plataforma bastante simplificada, mas que atenda aos requisitos de eficiência e eficácia no ensino de qualquer disciplina.

A geração de dados sobre a interação do aluno com o módulo Integrador visa indicar ao professor possíveis aspectos de ensino a serem complementados ou corrigidos, uma vez que as descrições de métodos para o processo de projetar devem ser precisas para quem conduz o processo de aprendizagem (Naveiro & Medeiros, 1998).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte integrante da minha pesquisa de doutorado junto ao Grupo de Ensino e Pesquisa em Gestão Integrada de Projeto de Produtos Industriais (GEPRO) do Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ. A maior parte da pesquisa teve apoio financeiro da CAPES através de bolsa de doutoramento. Colaboram com a pesquisa Dr. Ricardo Manfredi Naveiro (orientador), Dr. Bruno Feijó (co-orientador), Dr. Henrique Innecco Longo (professor da disciplina "Estrutura de Concreto Armado I", disponibilizando sua turma para aplicação do experimento) e Dr. Fernando Rodrigues Lima (chefe do Departamento de Expressão Gráfica, disponibilizando o laboratório de computação gráfica para aplicação do experimento).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR-05679 - Elaboração de projetos de obras de engenharia e arquitetura. ABNT, Rio de Janeiro, 1995.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR-06118 - Projeto e execução de obras de concreto armado. ABNT, Rio de Janeiro, 1980. CORRÊA, R.M. & NAVEIRO, R.M. - Importância do Ensino da Integração dos Projetos de Arquitetura e Estrutura de Edifícios: Fase de Lançamento das Estruturas. CD-ROM do Workshop nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção Civil, Arquitetura EESC-USP, São Carlos, 2001. GERO, J.S. - Design prototypes: a knowledge representation schema for design. AI Magazine, Winter 1990, p.26-36.

NAVEIRO, R.M. & MEDEIROS, L.M.S. - Ensino do projeto de engenharia e projeto no ensino da engenharia: aproximações e distanciamentos. ITOI/PEP/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ROCHA, Aderson Moreira da - Concreto Armado. Vol.1, 25 ed., Editora Nobel, São Paulo, 1990.

· chire

DADOS BIBLIOGRÁFICOS DO AUTOR



Roberto Machado Corrêa

Mestre em Engenharia Civil, 1995, Universidade Federal Fluminense. Doutorando pelo Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ. Professor substituto 40 horas do Departamento de Expressão Gráfica da Escola Politécnica da

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Assuntos de interesse atuais no campo da educação em engenharia: ensino de projeto de edifícios, integração de projetos de edifícios, CAD, desenho técnico e geometria descritiva.

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE DIDÁTICO PARA SÍNTESE DE REDES DE TROCADORES DE CALOR

Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani¹, Aline Priscila da Silva², Fabio Soffa Garcia³, Douglas Castilho Mariani³, Thales Delatorre Nunes³ & Émerson Rabelo⁴

RESUMO

Este trabalho apresenta um programa computacional com interface amigável desenvolvido com fins acadêmicos, para a otimização energética de plantas industriais visando a máxima recuperação de energia e o número mínimo de trocadores de calor. Para a síntese de redes de trocadores de calor empregou-se a Análise Pinch. A elaboração da rede se inicia com a construção da Tabela do Problema, da Cascata de Energia e das Curvas Compostas. Em seguida, a rede de trocadores de calor é sintetizada e otimizada, sendo possível a divisão e junção das correntes e a identificação e quebra de laços de troca térmica. Emprega-se alguns exemplos industriais e da literatura para demonstrar a aplicabilidade do programa desenvolvido. Os resultados obtidos comprovaram a viabilidade da utilização do programa para a obtenção de um número mínimo de trocadores na rede com máxima recuperação de energia.

Palavras-chave: Redes de trocadores de calor, Software didático, Análise Pinch

ABSTRACT

This paper presents an academic software with a friendly interface for energetic optimization of industrial plants aiming at maximum energy recovery and minimum number of heat exchangers. To synthesize the Heat Exchanger Network, Pinch Analysis was used. The heat exchangers network synthesis task begins with the construction of the Problem Table and the Composite Curves. After that, the heat exchangers network is synthesized and optimized, being possible to split or to joint streams and also to identify and break loops. Some examples, industrial and from the literature, were used to show the program applicability. Results proved the viability of the utilization of the program to get the minimum number of heat exchangers in the network with the maximum energy recovery.

Key-words: Heat exchanger networks, Academic software, Pinch Analysis

INTRODUÇÃO

Frente ao atual contexto da sociedade industrial, percebese um aumento na busca de formas de otimização de plantas industriais que minimizem a utilização de energia proveniente da queima de combustíveis. Além disso, deve-se considerar a importância de fatores ambientais, uma vez que minimizandose a queima de combustíveis minimiza-se, como consequência, a emissão de poluentes provenientes dessa queima.

Esse contexto mostra a necessidade da utilização de computadores e software capazes de simular e prever o comportamento de processos e equipamentos, visando a minimização do consumo energético. Assim, justifica-se o notável crescimento do desenvolvimento e uso de programas com esta finalidade por parte da comunidade científica e tecnológica.

Sabe-se que o valor agregado dos produtos é um aspecto imprescindível para a sua produção e comercialização. Portanto, a otimização energética de processos industriais tem sido muito enfatizada nas últimas décadas, como pode ser visto em Smith (1995), Linhoff (1994), Ravagnani (1994) e Linhoff (1993). Observa-se, neste período, o desenvolvimento de vários trabalhos com relação à síntese de redes de trocadores de calor, fazendo uso dos conceitos da Análise Pinch, utilizada no presente trabalho.

¹ Professor, Doutor. Universidade Estadual de Maringá Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, PR. Fone: (44) 261- 4323. email: ravag@deq.uem.br

² Pesquisadora, Engenheira Química Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá

³ Acadêmicos de Graduação do curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá

⁴ Acadêmicos de Graduação do curso de Informática, Universidade Estadual de Maringá

Além disso, no ensino da Engenharia Química e da Engenharia Mecânica, não existem programas que permitam aos alunos conhecer e utilizar estas ferramentas. Fundamentais para a formação do engenheiro pesquisador como para o engenheiro de processos, a disponibilização desta tecnologia a alunos de graduação é ainda incipiente.

Desta forma, foi desenvolvido um programa computacional com interface amigável em ambiente WINDOWS para a otimização energética de plantas industriais. Utilizou-se a linguagem de programação DELPHI, por facilitar a geração de aplicativos para utilização neste ambiente.

O software em questão vem sido desenvolvido há alguns anos e se justifica devido a escassez de programas desse nível no mercado nacional e também pelo alto custo de programas similares de procedência estrangeira. Possui grande utilidade no ensino de graduação nas Engenharias Química e Mecânica, vindo a contribuir para o preenchimento da lacuna existente na formação do engenheiro em otimização de processos e na minimização da emissão de poluentes, nos cursos de graduação em engenharia em nosso país.

METODOLOGIA

Na elaboração dos algoritmos necessários para o desenvolvimento do software foram utilizados os conceitos da Análise Pinch, que utiliza conceitos termodinâmicos e regras heurísticas para integrar energeticamente um processo.

Esta técnica envolve a determinação do consumo mínimo de utilidades quentes e frias, do número mínimo de trocadores de calor, da área mínima de troca térmica e do custo global anual mínimo. Além disso, envolve a síntese da rede, onde são definidos os cruzamentos entre as correntes, o seqüenciamento dos trocadores e a evolução da rede, para que se possam atingir os objetivos previamente definidos.

O programa realiza a construção gráfica das Curvas Compostas Quente e Fria e do diagrama Temperatura *versus* Entalpia. Neste diagrama é possível identificar a temperatura em que ocorre o ponto de estrangulamento energético e as demandas de utilidades quente e fria a serem empregadas. É possível, também, a visualização destes valores na forma de tabela, na cascata de energia.

Por fim, o programa permite que o acadêmico realize a síntese da rede de trocadores de calor, de acordo com os critérios do método do ponto de estrangulamento energético, que faz parte da Análise Pinch, citada anteriormente, tornando possível a construção de uma rede com o consumo mínimo de energia, de acordo com as limitações do processo e a experiência do projetista.

RESULTADOS

O programa desenvolvido permite ao aluno fazer a síntese de redes de trocadores de calor com máxima recuperação de energia e o número mínimo de trocadores de calor. Com a inserção dos dados de entrada (número de correntes, $\Delta T_{\rm min}$ os valores das temperaturas de entrada, saída e CP – produto entre capacidade calorífica e vazão mássica), o software cria a cascata energética, as curvas compostas, realiza o balanço energético e mostra a representação gráfica das curvas compostas envolvendo as correntes quentes e frias, o que possibilita a construção e otimização da rede de trocadores de calor.

Para a aplicação do software desenvolvido, incluindo as etapas descritas anteriormente, foram escolhidos dois exemplos.

O primeiro problema trata-se de um processo apresentado por Trivedi et al. (1989), que possui quatro correntes de processo, sendo duas frias e duas quentes. A Tabela 1 fornece os dados das temperaturas de entrada e saída das correntes quentes e frias, e os respectivos valores de CP.

Tabela 1. Dados de entrada do processo

Correntes	T _{entrada} (°C)	T _{saída} (°C)	CP (kW/°C)
1	280	60	30
2	180	20	45
3	20	160	40
4	120	260	60

Primeiramente, é inserido no programa o número de correntes do problema, como representado na Figura 1.

Em seguida é inserido o valor estimado para o ΔT_{min} , 10°C para este problema, como mostra a Figura 2.

O próximo passo é a inserção do valor das temperaturas de entrada e saída de cada corrente, juntamente com os seus respectivos CPs. Assim, o programa calcula a demanda de utilidades quentes e frias necessárias e as temperaturas quente e fria do Pinch, como apresentado na Figura 3.

Para melhor visualização do problema, o programa apresenta a Cascata Energética, o Balanço de Energia e as Curvas Compostas Quente e Fria. A tela com a Cascata Energética, que representa a transferência do calor disponível em cada intervalo de temperatura ao intervalo posterior, é mostrada na Figura 4. A Figura 5 mostra a tela com a representação do Balanço de Energia.

A Figura 6 apresenta o diagrama TH (temperatura *versus* entalpia), para as correntes quentes e frias. Neste diagrama pode-se verificar o ponto de estrangulamento energético entre as duas curvas. As temperaturas correspondentes às curvas compostas quente e fria no ponto de estrangulamento energético são denominadas respectivamente, temperatura *Pinch* quente e fria, sendo a diferença entre elas igual ao ΔT_{\min} . Verifica-se também a quantidade de calor que deve ser inserida ou retirada do processo por meio de utilidades quentes e frias. Analisando os dados apresentados, pode-se interagir com o programa através da tela apresentada na Figura 7.

Esta tela contém a representação gráfica das correntes que compõem o problema e do ponto de estrangulamento energético, diferenciando as duas regiões do *Pinch*. A construção da rede ocorre ao adicionar os trocadores e as utilidades quentes e frias.

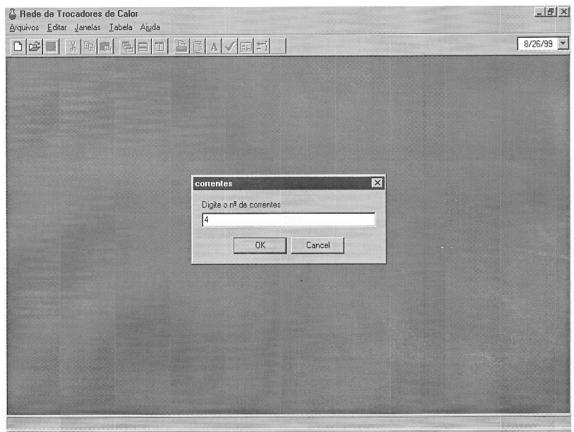


Figura 1. Inserção do número de correntes

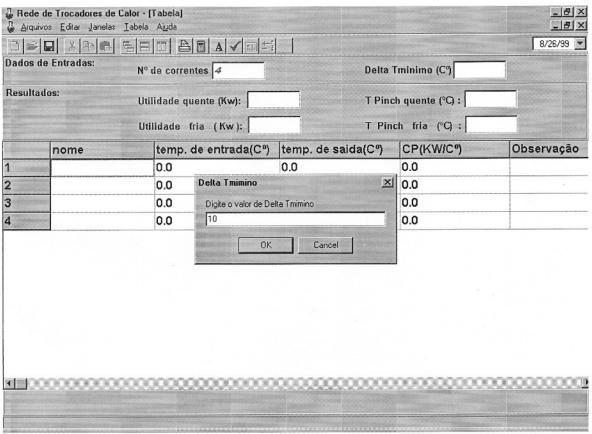


Figura 2. Inserção do valor do ΔT_{min}

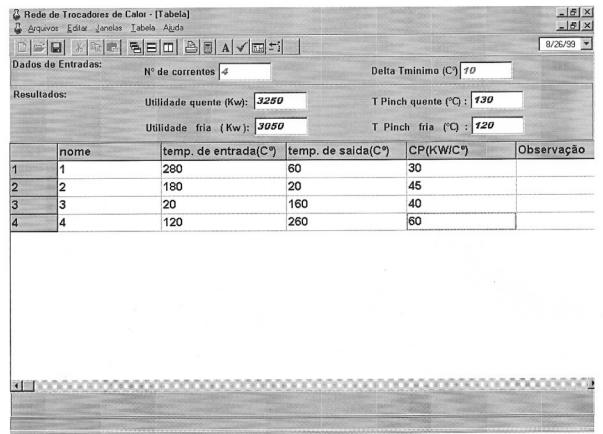


Figura 3. Inserção dos dados das correntes

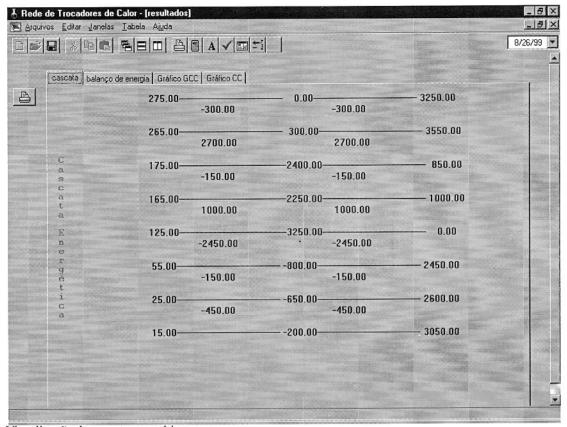


Figura 4. Visualização da cascata energética

Revista de Ensino de Engenharia, v.21, n.1, p.33-41, 2002.

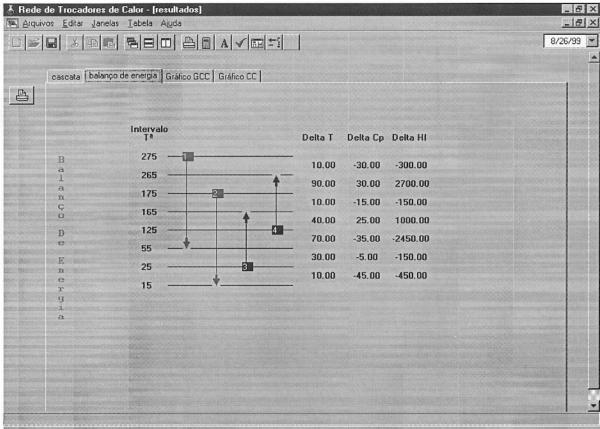


Figura 5. Visualização do balanço energético

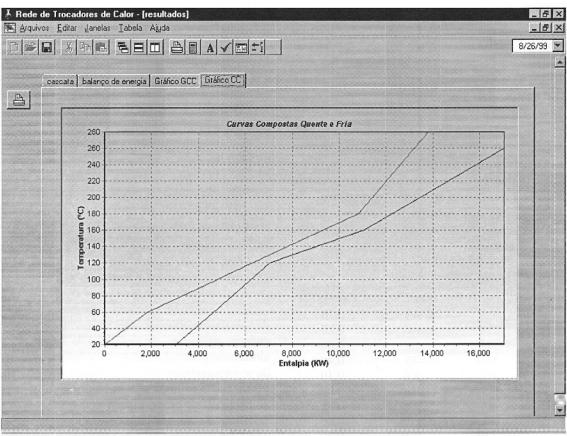


Figura 6. Curvas Compostas Quente e Fria

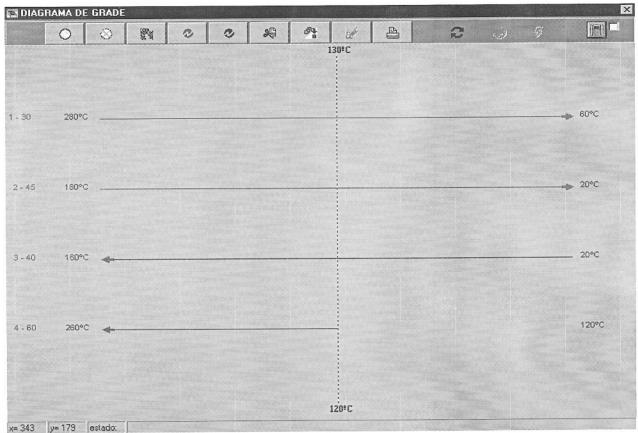


Figura 7. Representação das correntes do problema

Também é possível a remoção dos componentes da rede, bem como a divisão de correntes para a otimização do processo. Sempre que se adiciona um trocador o programa apresenta o diagrama TH para as correntes quente e fria, bem como os dados da troca térmica, e permite a alteração dos mesmos, de acordo com a necessidade do usuário, como apresentado na Figura 8.

A Figura 9 apresenta a rede de trocadores de calor sintetizada com todos os seus equipamentos de troca térmica, incluindo os aquecedores e resfriadores necessários.

O segundo problema, cujos dados estão apresentado na Tabela 2, trata-se de uma planta industrial de aromáticos, e foi inicialmente apresentado na literatura por Linnhoff et al. (1982). |Neste processo, tem-se nove correntes, sendo cinco delas frias e quatro quentes.

Tabela 2. Dados de entrada do processo

Correntes	Tentrada (°C)	T _{safda} (°C)	CP (kW/°C)
1	327	40	0,10
2	220	160	0,16
3	220	60	0,06
4	160	45	0,40
5	100	300	0,10
6	35	164	0,07
7	85	138	0,35
8	60	170	0,06
9	140	300	0,20

Para a resolução deste problema, utilizam-se os mesmos passos descritos no exemplo anterior.

A Figura 10 apresenta a tela com os dados das correntes do problema. Neste caso, o valor escolhido para o $\Delta T_{\rm min}$ foi 22°C. A demanda de utilidades quentes e frias mínimas necessárias é também apresentada nesta figura.

A Figura 11 apresenta a rede de trocadores de calor sintetizada para o problema.

Deve-se salientar que as redes apresentadas para ambos os problemas não são as únicas possíveis de serem sintetizadas com a mesma recuperação de energia. A configuração da rede depende da experiência do projetista e do seu conhecimento do processo. Além disso, podem ser otimizadas através da identificação e quebra de laços de troca térmica, levando aos objetivos previamente estabelecidos.

CONCLUSÕES

Para o desenvolvimento do programa visando a síntese de redes de trocadores de calor com a máxima recuperação de energia, utilizou-se dos conceitos da Análise Pinch. Fez-se ainda uma análise de algoritmos, a fim de minimizar o tempo de processamento e otimizar linhas de código. O programa é interativo na integração energética entre as correntes, competindo ao usuário determinar quais correntes devem trocar calor e quanto calor deve ser trocado entre elas, bem como em qual delas deve-se acrescentar utilidades. Também

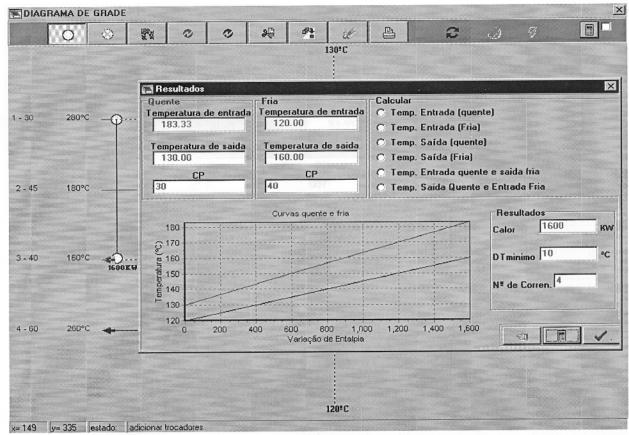


Figura 8. Dados do trocador de calor

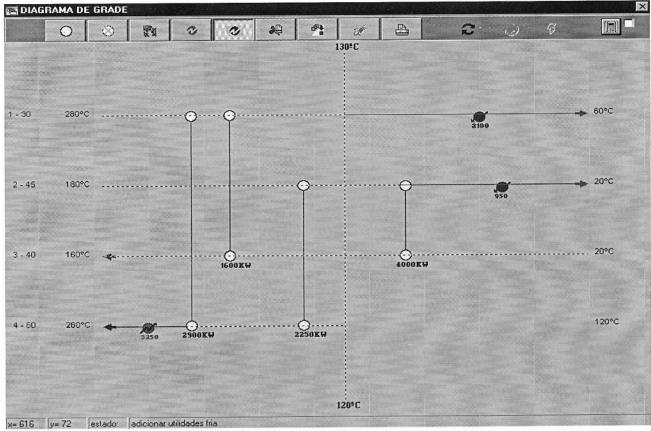


Figura 9. Rede sintetizada

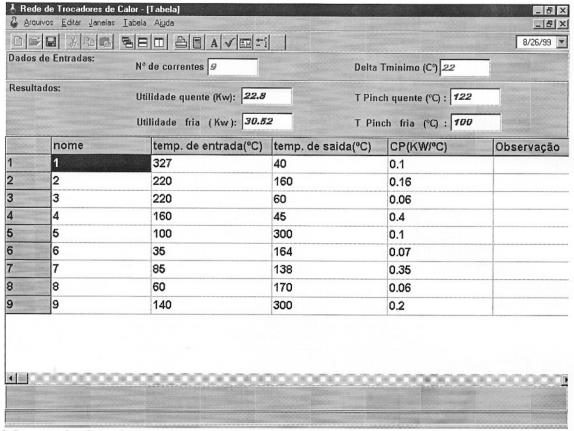


Figura 10. Inserção dos dados das correntes (Segundo exemplo)

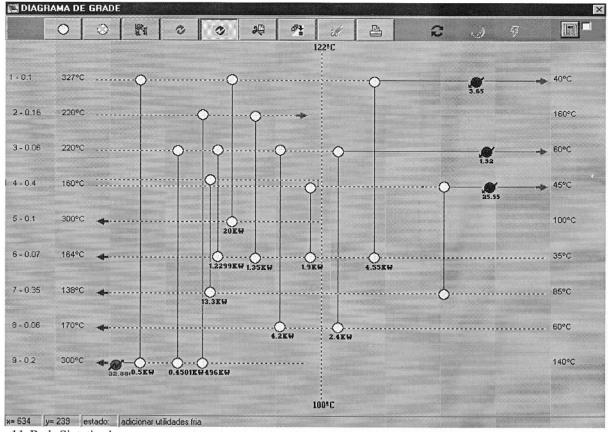


Figura 11. Rede Sintetizada

Revista de Ensino de Engenharia, v.21, n.1, p.33-41, 2002.

compete ao usuário decidir se uma corrente deve ou não ser dividida, e se há necessidade de juntar os ramos da divisão cujas necessidades energéticas (déficit ou superávit) não foram completamente supridas.

Os testes realizados mostram que o programa fornece resultados consistentes para a síntese da rede. Portanto, conclui-se que é viável a utilização do programa para a solução de problemas de integração energética. Como resultados pode-se chegar à máxima recuperação de energia com um número mínimo de unidades de troca térmica para a otimização da rede.

Desta forma, este trabalho vem contribuir para melhorar a formação do aluno de engenharia, dando-lhe condições de, além de ter um conhecimento mais aprofundado na otimização de processos, também se familiarizar com o problema da minimização da emissão de poluentes.

Por ser interativo, o programa permite o desenvolvimento do espírito crítico no aluno, dando-lhe perfeitas condições para fazer as escolhas que achar mais convenientes no projeto de redes de trocadores de calor, visando a otimização econômica com compromisso com o meio ambiente, pontos estes fundamentais para a formação do engenheiro do futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LINHOFF, B. (1993), Pinch analysis – a state of the art overview. *Transactions of the IchemE*, Vol. 71. Part A. p.503 – 522.

LINHOFF, B. (1994), Use Pinch analysis to knock down capital costs and emissions. *Chemical Engineering*, pp. 32 - 57.

RAVAGNANI, M. A. S. S. (1994), Projeto e otimização de redes de trocadores de calor. Tese de doutorado, FEQ/UNICAMP.

SMITH, Robin (1995), Chemical process design. New York: McGraw-Hill.

TRIVEDI, K. K., WOOD, R. M., O'NEALL B. K., and ROACH, J. R., (1989), Energy relaxation in the heat exchanger networks. *Computers and Chemical Engineering*.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani

Natural de Maringá (PR), graduado em Engenharia Química pela UEM - Universidade Estadual de Maringá (1986), mestre (1989) e doutor (1994) em Engenharia Química pela Unicamp. Professor da UEM desde 1990, atualmente é professor Associado e ministra

aulas e orienta alunos nos cursos de graduação em Engenharia Química e Engenharia Mecânica e no Programa de Pós-graduação em Engenharia Química nos níveis mestrado e doutorado. É coordenador do Curso de Especialização em Automação Industrial. Foi diretor do Centro de Tecnologia da UEM (1996 – 2000). Atualmente é coordenador do colegiado do curso de graduação em Engenharia Mecânica.



Aline Priscila da Silva

Natural de Maringá (PR), graduada em Engenharia Química pela UEM - Universidade Estadual de Maringá (1998), mestranda em Engenharia Química pela UEM. Engenheira Química responsável pelo Laboratório de Projeto, Simulação e Controle de Processos

do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá desde 1999.



Fabio Soffa Garcia

Natural de Umuarama (PR), é graduando em Engenharia Química pela UEM (1999 – 2003), aluno de iniciação científica (PIBIC/CNPq). É Diretor Executivo de Finanças da Consultoria Júnior para Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (Conspem).



Émerson Rabelo

Natural de Maringá (PR), é graduando em Informática pela UEM (1998 - 2002), aluno de iniciação científica (PIBIC/CNPq).



Douglas Castilho Mariani

Natural de Maringá (PR), é graduando em Engenharia Química pela UEM (2000 - 2005) aluno de iniciação científica (PIBIC/CNPq).



Thales Delatorre Nunes

Natural de São Paulo (SP), é graduando em Engenharia Química pela UEM (1999 – 2003), aluno de iniciação científica (PIBIC/CNPq). É Diretor Executivo de Projetos da Consultoria Júnior para Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (Conspem).

EXPERIMENTOS SIMPLES NA ÁREA DE CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO

Eduardo Krüger¹

RESUMO

Este artigo procura mostrar, através da descrição de experimentos simples, passíveis de ser realizados por graduandos em Engenharia ou Arquitetura, alguns exemplos de aplicação de conhecimentos da área de conforto e desempenho térmico em edificações. A área de investigação discutida nos procedimentos apresentados está relacionada ao tripé: Homem, Clima e Arquitetura. No presente artigo, esses três elementos serão tratados de forma integrada. Assim, na primeira parte são levantadas temperaturas de conforto que refletem a interação existente entre o homem e as características do clima; na segunda parte, é descrita uma maneira de se estimar a evolução de temperaturas em determinado ambiente a partir de poucas informações climáticas; e, na terceira parte, é apresentada uma forma de avaliação do ambiente construído, que reflete como a arquitetura interage com o clima.

Palavras-chave: experimentação, conforto térmico, desempenho térmico

ABSTRACT

In this paper, simple experiments are described which could be conducted by undergraduate students in Engineering or Architecture, related to the area of thermal comfort and thermal performance of buildings. This area of interest is three-fold: Man, Climate and Architecture. These three aspects are dealt with in an integrated manner in the description of the experiments. In the first part, the assessment of comfort temperatures, which reflect Man's response to climatic influences; in the second part, the prediction of thermal behavior from few climatic information; and in part three, the thermal evaluation of buildings, showing the building's response to local climate.

Key-words: experimentation, thermal comfort, thermal performance of buildings

INTRODUÇÃO

Reconhecendo-se a diferença entre ciência-disciplina e ciência-processo (FREIRE-MAIA, 1990), enquanto a primeira passivamente relata os conhecimentos adquiridos por outrem, muitas vezes de forma dogmática, a segunda forma de fazer ciência favorece a geração de novos conhecimentos, tornando claro que a ciência nunca deve ser vista como algo definitivo e dogmático.

A área de investigação de conforto e desempenho térmico em edificações envolve o estudo dos processos térmicos que ocorrem no interior de edificações. Através destes conhecimentos, o engenheiro, arquiteto ou projetista pode atuar diretamente no consumo de energia para condicionamento artificial de ambientes ainda antes do uso do edifício, podendo isto representar uma redução de insumos

energéticos no setor da construção civil, complementando ainda a função primordial de uma habitação, que é a de abrigar seus ocupantes, protegendo-os das intempéries (MARKUS & MORRIS, 1980). Este assunto, bem como a sua importância, foram discutidos pelo autor na edição de dezembro de 1999 deste periódico (KRÜGER, 1999).

O presente artigo procura mostrar, através da descrição de experimentos simples, passíveis de ser realizados por graduandos em Engenharia ou Arquitetura, alguns exemplos de aplicação na área de conforto e desempenho térmico em edificações.

Parte-se do lema "learning by doing" ou "learning by experience", reconhecendo-se a relevância de experimentações na sedimentação e avanço do conhecimento teórico. Uma outra característica fundamental dos experimentos propostos referese ao seu baixo custo. Considera-se a possibilidade de alunos

¹ Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Professor do Departamento de Construção Civil. CEFET-PR Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 CEP 80230-901, Curitiba, PR. Fone: (41) 310-4723, Fax: (41) 310-4712. E-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

de graduação com, no máximo, bolsa de iniciação científica, serem os potenciais executores/pesquisadores dos experimentos sugeridos.

A simplicidade e o baixo custo de execução, no entanto, não devem ser vistos como indicativos da falta de seriedade de determinada pesquisa. Conforme apontado por Sheldrake (1994), é impressionante como pesquisas fundamentais podem ser realizadas na quase total ausência de custos. O autor exemplifica isso com sua experiência em Cambridge, quando dividia o laboratório com Robin Hill, expoente na área de fotossíntese, cujos experimentos custavam menos que os gastos médios alocados a alunos de primeiro ano.

A área de investigação discutida nos procedimentos apresentados a seguir está relacionada a três elementos distintos que compõem o título da obra de referência Man, Climate and Architecture (GIVONI, 1969): Homem, Clima e Arquitetura. No presente artigo, esses três elementos serão tratados de forma integrada. Assim, na primeira parte (Estimando uma temperatura de neutralidade térmica), são levantadas temperaturas de conforto que refletem a interação existente entre o homem e as características do clima; na segunda parte (Traçando uma curva de evolução de temperatura para determinado ambiente), é descrita uma maneira de se estimar a evolução de temperaturas em determinado ambiente a partir de poucas informações climáticas; e, na terceira parte (Análise do desempenho térmico de ambientes a partir de curvas senoidais de evolução de temperatura), é apresentada uma forma de avaliação do ambiente construído, que reflete como a arquitetura interage com o clima.

ESTIMANDO UMA TEMPERATURA DE NEUTRALIDADE TÉRMICA

A neutralidade térmica é uma das condições definidoras do conforto térmico, expressando sensação de bem-estar físico e mental de um indivíduo em determinado ambiente térmico (ASHRAE, 1981). Os estudos relacionados à sensação de conforto térmico abrangem a consideração de diversos parâmetros (subjetivos e ambientais), sendo a temperatura ambiente um deles. A definição de uma faixa ideal de temperatura associada às demais variáveis ambientais como a temperatura radiante média, a velocidade e a umidade do ar, definem a zona de conforto térmico, visualizada em nomogramas ou em cartas psicrométricas. O que se propõe aqui é o estabelecimento de uma temperatura média de neutralidade térmica que possa ser considerada como referência inicial para verificações de desempenho térmico, restritas a determinada localidade.

Procedimento

Uma estimativa inicial da temperatura neutra de uma amostra de indivíduos pode ser feita adotando-se metodologia sugerida por Nicol, citada em Xavier & Lamberts (1997). As etapas desse estudo envolvem os seguintes itens:

1. aplicação de questionários de sensações de conforto térmico, segundo uma escala de sete pontos, que vai de -3

(muito frio) a +3 (muito calor) (Tabela 1) e registro simultâneo dos dados físicos do ambiente: medições de temperatura e umidade relativa, sob a forma de temperatura de bulbo seco (TBS) e temperatura de bulbo úmido (TBU);

- determinação de uma equação de regressão para a série de dados, relacionando temperatura ambiente e sensação térmica (baseada na resposta de cada indivíduo em termos da escala de sete pontos adotada);
- 3. obtenção da temperatura neutra para a série de dados, atribuindo-se Y=0 (conforto).

Tabela 1. Escala de voto de sensação térmica

-3		Muito frio		
	-2	Frio		
	-1	Levemente frio		
	0	Neutro, conforto		
	+1	Levemente quente		
	+2	Quente		
	+3	Muito quente		

Tomando-se como exemplo uma amostra composta por 41 indivíduos, se obteve os resultados representados na Figura 1, na qual estão relacionadas as sensações térmicas relatadas por cada indivíduo e as temperaturas ambientes vigentes quando da aplicação do questionário.

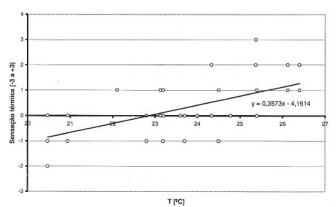


Figura 1. Sensação térmica e temperatura ambiente

O ponto onde a reta de regressão corta o eixo das abscissas corresponde ao valor obtido, atribuindo-se à equação obtida por meio de análise de regressão o valor Y=0. Neste caso, o valor obtido foi de 22,84°C.

Recomendações

Para esse tipo de estudo, uma verificação inicial da consistência dos resultados seria dada pela determinação do coeficiente estatístico de determinação (R²). Uma boa correlação entre os resultados obtidos e a reta de regressão, de característica preditiva, deve apresentar um valor de R² próximo à unidade. Outras verificações poderão ainda serem feitas, em função da riqueza de informações contidas no questionário aplicado. Neste sentido, deve-se atentar para as seguintes recomendações:

- a variação da temperatura ambiente é de fundamental importância, sendo recomendável que sejam aplicados os

questionários com respectivas medições *in loco* em períodos de grande variabilidade térmica;

- as umidades relacionadas a cada medição de temperatura podem ser agrupadas por faixas, havendo assim uma maior homogeneização deste parâmetro, o mesmo podendo ser feito com diferentes taxas de ventilação e exposição solar (orientação da fachada). Desta forma, pode-se "fixar" algumas variáveis que influirão na sensação de conforto térmico, tornando mais apurada a regressão linear em favor da temperatura;

- o mesmo pode ser feito com alguns parâmetros individuais, tais como: vestimenta, sexo, idade, peso etc.

A temperatura neutra obtida poderia, ainda, ser comparada às resultantes de alguns algoritmos existentes, como os de Humphreys e de Auliciems. Humphreys correlacionou temperaturas neutras resultantes de mais de 60 estudos de conforto, cuja variação era de 17°C a 31°C, às temperaturas externas locais (SZOKOLAY, 1985). A equação de Humphreys, para edificações não-climatizadas, é dada pela seguinte expressão:

$$T_n = 11.9 + 0.543T_{\text{média ext}}$$

Auliciems acrescentou mais dados aos de Humphreys, incluindo 52 outros estudos e 250.000 votos individuais de sensação de conforto térmico. A equação resultante é a seguinte:

$$T_n = 17.6 + 0.31534T_{média ext}$$

Pode-se aplicar a temperatura média externa, obtida, por exemplo, da estação climatológica mais próxima, relativa ao período de aplicação dos questionários, comparando-se ambos os resultados.

TRAÇANDO UMA CURVA DE EVOLUÇÃO DE TEMPERATURA PARA DETERMINADO AMBIENTE

A avaliação do desempenho térmico de edificações parte em geral de medições *in loco*, a partir das quais são analisados períodos determinados correspondentes a dias típicos e/ou situações de inverno ou verão. As medições são feitas interna e externamente de forma simultânea, sendo recomendável que sejam horárias e contínuas para o período considerado. Estando nem sempre disponíveis aparelhos armazenadores da temperatura ambiente, pode-se recorrer a medições pontuais, com termômetros de bulbo seco (TBS), gerando-se curvas de evolução da temperatura interna segundo uma equação senoidal.

Procedimento

As etapas deste estudo envolvem os seguintes itens:

1. levantamento dos horários de ocorrência das temperaturas mínimas e máximas diárias para o período de medição: isso

pode ser feito junto à estação climatológica mais próxima, levando-se em consideração os dados mais recentes –últimos dias:

 medições in loco da temperatura ambiente, próximas aos horários prováveis de ocorrência das temperaturas mínimas e máximas;

3. traçado de curvas de evolução da temperatura ambiente segundo equações senoidais:

$$\begin{array}{l} T_{\rm i} \!\!=\!\! (T_{\rm m\acute{a}x} \!\!+\! T_{\rm m\acute{n}})/2 + [(T_{\rm m\acute{a}x} \!\!+\! T_{\rm m\acute{n}})/2 - T_{\rm m\acute{n}}] \\ \times \cos{[2\pi/24} \!\times\! (t_{\rm i} \!-\! t_{\rm m\acute{n}})] \end{array}$$

e

$$\begin{array}{l} T_{\rm i} \!\! = \!\! (T_{\rm m\acute{a}x} \! + \! T_{\rm m\acute{n}n}) \! / 2 + \! [T_{\rm m\acute{a}x} \! - (T_{\rm m\acute{a}x} \! + \! T_{\rm m\acute{n}n}) \! / 2] \\ \times \cos \left[(2\pi \! / \! 24 \! \times (t_{\rm i} \! - \! t_{\rm m\acute{a}x})] \right] \end{array}$$

onde:

Γ_i - temperatura em um dado instante;

 $T_{\mbox{\tiny máx}}$ - temperatura máxima medida no período de 24 horas;

T_{min} - temperatura mínima medida no período de 24 horas;

- instante considerado;

t_{min} - horário de ocorrência da temperatura mínima diária;

 $t_{máx}$ - horário de ocorrência da temperatura máxima diária.

Exemplificando, poderíamos ter, para uma série de cinco dias de monitoramento contínuo da temperatura ambiente, a curva senoidal apresentada no gráfico da Fig. 2, traçada a partir dos valores mínimos e máximos da temperatura e de seus horários de ocorrência, adotando-se a Eq. 4. O coeficiente estatístico de determinação é de R²=0,87.

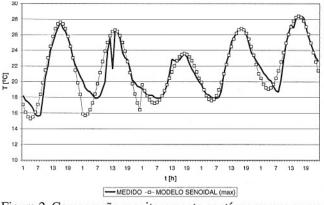


Figura 2. Comparação monitoramento contínuo versus curva de evolução senoidal

A Fig. 2 mostra que o modelo numérico aproxima-se com boa correspondência dos dados monitorados, quando os valores estão próximos à temperatura máxima, já que a variação senoidal a toma como referência. Há, entretanto, alguma imprecisão quanto às temperaturas mínimas. Além disso, como se parte de um modelo senoidal, por natureza matemático, "ajustado" pelos quatro valores mencionados ($T_{máx}$, $T_{mín}$, $t_{mín}$ e $t_{máx}$), podem ocorrer descontinuidades no gráfico, como no início do terceiro dia. A Fig. 3 mostra curvas senoidais traçadas

a partir da temperatura máxima e da mínima, para três dias consecutivos.

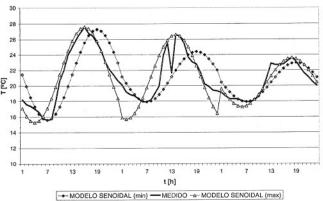


Figura 3. Comparação monitoramento contínuo versus curvas de evolução senoidal (obtidas a partir da mínima e máxima diárias)

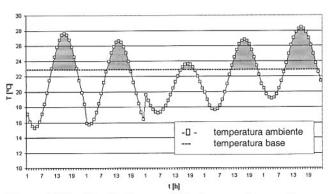


Figura 4. Visualização do somatório de graus-hora verão

Nota-se uma maior correspondência das mínimas, quando se utiliza a Eq. 3 e uma maior correspondência das máximas, quando se utiliza a Eq. 4. Na ocorrência de variações bruscas da temperatura real, o modelo senoidal obviamente apresentará erros, fato já mencionado anteriormente, quanto às descontinuidades no gráfico. Porém, adotando-se uma ou outra equação, é possível que se obtenha alguma precisão quando próximo aos respectivos horários dos valores de referência ($T_{máx}$ e $t_{máx}$, $T_{mín}$ e $t_{mín}$). Assim, pode-se adotar um ou outro modelo segundo o objetivo da análise, qual seja, desconforto por calor ou desconforto por frio.

Recomendações

Algumas recomendações quanto ao procedimento de medições pontuais devem ser feitas:

- preferencialmente as medições deverão ser feitas em dias de céu claro, nos quais a possibilidade de haver quedas bruscas de temperatura durante o dia é baixa;
- as medições deverão ser realizadas no centro do ambiente, à meia altura entre o piso e o teto, de modo a se garantir uma temperatura média mais coerente;
- conforme mencionado, para análise de desempenho de inverno, seria interessante que se utilizassem curvas senoidais

obtidas a partir das mínimas, sendo o inverso indicado para o verão

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE AMBIENTES A PARTIR DE CURVAS SENOIDAIS DE EVOLUÇÃO DE TEMPERATURA

Tendo sido realizadas as duas etapas descritas anteriormente, ou seja, a definição de uma temperatura de neutralidade térmica para uma amostra de indivíduos e uma estimativa da evolução da temperatura de um ambiente para determinado período de monitoramento pontual de temperatura (com tomadas próximas aos horários de ocorrência da máxima e mínima diária), pode-se utilizar desses resultados, avaliando-se o desempenho térmico do ambiente monitorado, tomando-se por base a temperatura de conforto obtida.

Procedimento

Existem diversos métodos de avaliação de desempenho térmico de edificações. Adota-se aqui o índice denominado somatório de graus-hora, que não apenas exprime o tempo total em que a temperatura ambiente se situa acima ou abaixo de uma temperatura de referência (temperatura base), o que traduziria o grau de desconforto obtido em horas ou porcentagem de horas, mas que também apresenta a intensidade desse desconforto em relação a essa temperatura de referência, em termos de diferenciais de temperatura.

O procedimento para obtenção do somatório de graushora para determinado ambiente deverá contemplar as seguintes etapas:

- 1. Definição de uma ou mais temperaturas base (propõe-se aqui que se utilize a temperatura neutra obtida empiricamente no primeiro item: Estimando uma temperatura de neutralidade térmica).
- 2. Definição do tipo de análise a ser realizado: verão, com desconforto por calor, ou inverno, com desconforto por frio (a temperatura base, em instalações de ar-condicionado, é a temperatura adotada no termostato).
- 3. O somatório de graus-hora corresponde à soma das diferenças da temperatura ambiente em relação a essa temperatura base, sendo as mesmas consideradas da seguinte forma:

a. análise de verão:
$$\Delta T = T_i - T_{base}$$

b. análise de inverno: $\Delta T = T_{base} - T_i$

Se adotarmos a temperatura de 22,84°C como base, para a estimativa de evolução da temperatura ambiente a partir da curva senoidal da temperatura máxima (Fig.2), o somatório de graus-hora equivalerá às áreas compreendidas acima da reta correspondente a essa temperatura base, como mostra a Fig.4.

Para o exemplo apresentado, o somatório de graus-hora acima da temperatura base de 22,84°C, adotando-se a curva senoidal obtida a partir das máximas diárias, foi de 58. Utilizando-se a curva senoidal obtida a partir das mínimas

diárias, o somatório de graus-hora abaixo da temperatura base de 22,84°C resultou em 169 graus-hora. Deste exemplo, podese concluir que o principal desconforto apresentado pelo ambiente, para aquela temperatura de referência, foi devido ao frio.

Usualmente, a comparação que se faz é em relação às temperaturas externas. Em termos de somatório de graus-hora de ambas as situações, pode-se avaliar se o ambiente construído oferece maior ou menor grau de desconforto que o exterior. Complementarmente, podem ser realizadas medições em outros ambientes, para o mesmo período e segundo os mesmos procedimentos, o que poderia viabilizar análises comparativas, levando-se em conta seus desempenhos térmicos, as tipologias e materiais empregados nos diversos casos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os experimentos propostos constituem procedimentos simples que não envolvem maiores custos. Através deles, estudantes de graduação poderão ter uma noção das interrelações existentes entre Homem, Clima e Arquitetura. Desta forma, poder-se-á contribuir para o aprofundamento prático, de maneira empírica, dos conhecimentos adquiridos em sala de aula, motivando o aluno a aplicar o método científico em tarefas relativamente simples. Assim, pode-se contribuir para uma maior percepção das referidas inter-relações por parte de graduandos de Engenharia, minimizando-se, ainda, a probabilidade de ocorrência de problemas relacionados ao alto consumo energético durante o uso da edificação ou ao simples desconforto térmico no ambiente construído, quando da atuação profissional do egresso.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



Eduardo Krüger

Engenheiro Civil, Mestre pela COPPE/UFRJ em Planejamento Energético, Doutor em Arquitetura pela Universidade de Hannover, República Federal da Alemanha, Professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e do Curso de Engenharia da Produção Civil,

CEFET-PR Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Áreas de Interesse: Uso Adequado de Energia e Novas Fontes; Conforto Ambiental.

Os experimentos poderiam, ainda, ser replicados em diversos centros universitários, analisando-se, por exemplo, o desempenho térmico de salas de aula em diferentes regiões climáticas e montando-se um banco de dados que favoreceria o intercâmbio de informações entre as diversas instituições envolvidas, contribuindo-se assim para uma maior adequação climática de ambientes escolares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ANSI/ASHRAE Standard, 1981.

FREIRE-MAIA, N. *A Ciência por dentro*. Petrópolis: Vozes, 1990.

GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture.* Amsterdam: Elsevier, 1969.

KRÜGER, E.L. Eficiência energética em edificações. *Revista de Ensino de Engenharia - ABENGE*. Vol.18, N.1, Dezembro 1999. p.9-12.

MARKUS, T.A. & MORRIS, E.N. Buildings, Climate and Energy. London: Pitman, 1980.

SHELDRAKE, R. Seven experiments that could change the world. London: Fourth estate, 1994.

SZOKOLAY, S.V. Thermal Comfort and Passive Design. Advances in Solar Energy - an Annual Review of Research and Development, v.2, 1985, p.257-296.

XAVIER, A.A.P.; LAMBERTS, R. Temperatura interna de conforto e percentagem de insatisfeitos para atividade escolar: diferenças entre a teoria e a prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: ANTAC, 1997. (CD-ROM)

INTERNET E INTERATIVIDADE NO ENSINO DE ENGENHARIA

Washington Braga¹

RESUMO

O uso acadêmico dos recursos da Internet é já uma realidade para os alunos de inúmeros programas de graduação em Engenharia no País, ainda que esteja acontecendo de forma, em geral, pouco integrada com a sala de aula ou laboratórios. Há, certamente, inúmeras questões, como por exemplo, o que utilizar, como utilizar, como avaliar os resultados, que, como não estão resolvidas, dificultam novas experiências e talvez uma utilização mais efetiva deste tipo de tecnologia nas aulas. A procura destas respostas é relevante e pode ser facilitada por uma descrição, ainda que de forma simplificada, de experiências feitas. O presente trabalho descreve a metodologia bem como alguns resultados e conclusões recentes obtidos no Programa para a Melhora da Qualidade do Ensino de Engenharia, do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Os resultados até agora obtidos são encorajadores, sinalizando os benefícios de uma maior participação do alunado na construção do seu próprio conhecimento, feito de forma interativa quer em sala de aula presencial ou pela Internet.

Palavras-chave: Ensino de Engenharia, Metodologia Interativa, Internet

ABSTRACT

Using Internet is increasingly common in many Engineering Departments in Brazil, at least if you considers it as a delivery system, not integrated to the classroom or laboratories. Due to many unanswered questions, such as what to use, how to do it, how to assess and evaluate results and others, new experiments are not been made and perhaps Internet still is not being effectively used. Naturally, it is quite important to look for those answers and the quest may be most certainly facilitaded by the description of other experiments. This paper presents the methodology as well as new results and general conclusions recently obtained at the Enhancing Engineering Education Program at the Mechanical Engineering Department of PUC-Rio. The results so far obtained are quite encouraging, indicating that enhancing students participation on their own knowledge construction, either onsite or online, using the Internet, may be quite interesting.

Key-words: Engineering Education, Interactive Methodology, Internet

INTRODUÇÃO

As questões acadêmicas ou tecnológicas associadas ao ensino de Engenharia preocupam constantemente os professores que, firmemente engajados na formação dos futuros profissionais, consideram-se educadores e não transmissores de conteúdos, por mais sofisticados que estes possam ser. Isto se dá face às suas responsabilidades não só para com os alunos e respectivas famílias, mas também para o País, que precisa como nunca de profissionais bem educados (isto é, bem formados profissional e humanamente) e aptos a enfrentar e resolver, com o devido enfoque humano e tecnológico dentro das suas áreas de atuação, as gigantescas desigualdades sociais que existem. Assim, é sempre atual a

busca de melhores e mais eficientes métodos para se oferecer um ambiente desafiador e motivador aos jovens estudantes, capaz de propiciar o despertar do aprendizado. A leitura dos Anais dos diversos congressos focados exclusivamente em Educação em Engenharia, sejam eles nacionais, como o COBENGE, ou internacionais, como os encontros anuais da ASEE, Frontiers in Education, ICEE, oferece uma confirmação disto.

Entre as inúmeras questões que preocupam hoje os educadores, seguramente, muitas delas envolvem o uso da Internet, quer pela novidade quer pela grande divulgação feita pelos seus defensores, propiciando interessantes discussões, e.g. McNaught (1998), que apresenta várias delas. De um lado, posicionam-se professores de formação e/ou de

Professor Associado. PhD. Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio. Rua Marquês de São Vicente, 225, CEP 22453-900, Rio de Janeiro, RJ. Fone: (21) 3114-1169, Fax: (21): 3114-1165. E-mail: wbraga@mec.puc-rio.br

índole mais formais, que defendem os modos tradicionais de ensino, nos quais o professor é o dono da informação e que, de forma centralizada, a distribui aos interessados, os alunos, que tudo absorvem (ou deveriam). Alguns defensores desta abordagem entendem que o único lugar de aprendizado possível é a escola, supervalorizando o aprendizado em sala de aula. Nesta situação, o professor pretende entregar o conhecimento pronto para os alunos. Claro, isto independe de qual tecnologia se esteja usando, seja ela salas de aula presenciais ou a Internet. Em qualquer caso, ela é "só" um instrumento de entrega de informação, de conteúdo. Entretanto, como nenhuma tecnologia é neutra, sua simples existência já é suficiente para transformar o processo educativo.

Becker (1999) argumenta que há aqueles professores que adotam uma filosofia de ensino que favorece a participação dos alunos nas aulas. Segundo o autor, são estes que mais provavelmente irão usar a Internet em sala de aula de forma efetiva, pois vêem inúmeras vantagens para a educação do alunado se recursos da Tecnologia da Informação forem utilizados em um ambiente interativo, seja ele em sala presencial ou não. Nesta última abordagem, o papel do professor passa a ser o do motivador, capaz de orientar o estudo, o maestro e não o solista. Naturalmente, ambos os enfoques, com suas qualidades e seus defeitos, convivem nas nossas universidades, gerando conflitos sistemáticos, normalmente saudáveis.

Um dos últimos embates refere-se à questão das vantagens e desvantagens do ensino à distância face o presencial. Freqüentemente, argumenta-se nestas discussões que a primeira modalidade de ensino irá substituir a segunda, que o professor será substituído pelo computador, que a educação à distância pode contemplar o ensino simultâneo de um grande número de alunos, não elitista, etc. No meu entender, estes são argumentos pouco objetivos. Entretanto, é notório que a falta de avaliações sistemáticas do uso participativo da Internet e de uma adequada análise dos resultados obtidos contribuem para as dúvidas, como têm sido freqüentemente citado na literatura especializada.

Trabalhando em questões desde tipo há algum tempo, tenho procurado oferecer algum suporte teórico e mesmo uma análise de resultados da metodologia empregada, Braga (2000a, 2001), visando mostrar as vántagens e desvantagens do uso da Internet como ferramenta de incremento da qualidade do ensino de engenharia. No presente trabalho, pretendo descrever parte desta experiência, com o objetivo de motivar outros professores a interagir mais de perto com esta importante tecnologia, quer pelos resultados obtidos quer pelo fato dela estar transformando a realidade da sociedade como um todo.

O ENSINO EXPOSITIVO

A formação da maioria dos professores universitários atuais é basicamente a mesma. Somos em grande maioria pesquisadores e/ou profissionais de engenharia, tendo pelo comum, pouca ou nenhuma formação formal em educação.

Este fato tem por conseqüência um outro: desconsiderando a relevante competência e a criatividade individual, a maioria dos professores procura ministrar seus cursos repetindo as mesmas metodologias de seus antigos professores favoritos, comportando-se em sala de aula como era comum no passado, ainda que por vezes, recente. Como o perfil do alunado de hoje é significativamente diferente do perfil das gerações passadas e também, claro, o momento histórico, a conseqüência final é um tipo de aula expositiva que é freqüentemente vista como longa e monótona. A passividade, tantas vezes resultante, é contrastante com o fato deles estarem acostumados a interagir intensamente com o mundo ao seu redor.

Esta didática, na qual a regularidade e a repetição são padrões, tem a sua metodologia bastante testada o que a torna bastante confortável e, portanto, extremamente atraente aos novos professores. As tecnologias mais usadas são o quadro-negro, o giz e o apagador. Eventualmente, usa-se um retroprojetor ou um data-show que reduzem o uso do quadronegro, mas mantém o controle do professor na condução do seu espetáculo, qual seja: a sua aula. A função dos alunos é copiar o exposto no quadro ou na tela para os respectivos cadernos, atividade na qual os alunos são treinados desde os cursos fundamentais, infelizmente. Quando não há o que copiar, a desatenção cresce.

Deve ser mencionado, contudo, que este tipo de aula expositiva funciona bem para um determinado perfil de alunos: aqueles brilhantes e independentes que, estando intrinsecamente motivados com o curso, independem do ambiente de estudo para a sua progressão acadêmica. Pelo comum, estes são tipicamente alunos dos cursos de pósgraduação. Naturalmente, este ambiente poderá funcionar muito bem dependendo ainda dos talentos pessoais de comunicação do professor encarregado.

Uma outra maneira bastante utilizada por alguns educadores no ensino de diversas disciplinas de engenharia envolve o uso de simuladores computacionais. Com relativa freqüência, programas deste tipo aparecem nos congressos e literatura especializada. Utilizam soluções numéricas aproximadas ou exatas para o estudo de casos considerados relevantes e de interesse do aluno. Com interfaces amigáveis e bastante interessantes, estes programas possibilitam que o alunado desenvolva suas aptidões resolvendo problemas que contemplam as dificuldades percebidas pelos professores. Podem fazer sucesso entre os alunos, pois cálculos extensos e freqüentemente complexos são eliminados, e permitem sua aplicação a situações definidas genericamente como "mais práticas", como se o ensino de engenharia fosse apenas o ensino de tecnologia, isto é, de aplicações.

São, muitas vezes, tutoriais que não avaliam criticamente as respostas e os resultados obtidos pelo estudante. São freqüentemente propostos de forma independente ao andamento do curso, pela falta de uma metodologia de uso que os integre efetivamente ao programa acadêmico. A interatividade é pequena, freqüentemente reduzida à seleção de algumas opções, Primo e Cassol (2001) e Sims (2002). Podem ser classificados como de interação técnica, isto é, com o

computador, pois não permitem a consulta direta ao instrutor, por exemplo. Uma tentativa de aumentar a interação com este tipo de programa foi proposta em Braga (2000b), estando disponível para consultas on-line.

O ENSINO INTERATIVO

De acordo com P. Barker, citado por Sims (2002), a aquisição de conhecimento é beneficiada quando a troca de informações, isto é, a interatividade é incentivada. Ao final destas trocas, tem-se um aumento no nível de informação de professor e alunos, decorrente da construção deste conhecimento.

Antes de prosseguir, cabe uma breve apresentação sobre o conceito da interatividade. Segundo Primo e Cassol (2001), esta questão, que é bastante abrangente, parece estar hoje intrinsecamente ligada à informática, em especial ao binômio computador-Internet. Lemos (1997) argumenta que a interatividade é uma nova forma de interação técnica. Propõe dois tipos de interação: técnica, com o equipamento (computador, no caso) e social, que acontece em função dos demais participantes. A interação técnica acontece em várias atividades humanas, não necessariamente associadas à educação via Internet.

É, contudo, na interação social, envolvendo todos os parceiros, que o aprendizado pode surpreender, como será comentado a seguir. Não é gratuito o fato que uma das "leis da Internet", proposta por Robert Metcalf, um dos inventores da tecnologia Ethernet, refere-se ao valor de uma rede. Este valor depende do número de usuários ou terminais que ela pode suportar. Em uma rede com n usuários conectados, cada um pode se conectar a cada um dos outros n-1 usuários. Desta forma, tem-se n(n-1)/2 conexões distintas. Ou seja, o valor dela é muito grande e isto gera a realidade da Internet: uma rede mundial onde as interações acontecem o tempo todo, promovendo o aumento da produtividade em vários níveis. A relevância destes comentários no Ensino de Engenharia será visto em seguida.

AUMENTANDO A INTERAÇÃO

Em uma sala de aula, o aluno pode ou não interagir com a informação disponibilizada pelo professor. Se não houver interação, prejudica-se a necessária absorção do conhecimento que depende da capacidade do alunado associar novas informações com informações e dados já conhecidos. Alunos inteligentes e motivados requerem pouco tempo de residência para a necessária transformação da informação em conhecimento, enquanto alunos, menos brilhantes e/ou menos motivados podem requerer maiores tempos para o amadurecimento.

A questão que se coloca, então, é como fazer para aumentar o tempo de exposição, envolvimento e reflexão do aluno com a matéria?

No meu entender, a Internet é uma excelente candidata para servir de meio para isto. O tempo dedicado pelos alunos à discussão do tópico pode ser aumentado pelo uso de páginas web, tutoriais escritos, por exemplo, em linguagem JAVA, exercícios resolvidos, provas passadas, testes de autoavaliação e outros aplicativos disponibilizados on-line, que podem ser facilmente implementados, Braga (2002a). Deve ficar evidente, contudo, que estes mecanismos de interação todos essencialmente técnicos, independentemente. Entretanto, a Internet oferece algo ainda mais interessante, com seu espaço para listas de discussão e fóruns eletrônicos onde desafios mensais sobre temas de interesse do curso e projetos que facilitam o aprendizado baseado na discussão e solução de problemas - problem based learning - Edvardsson et al. (1998), podem conviver, aumentando a interação com o material do curso. Com esta diversidade de opções, a integração entre os participantes, a já comentada interação social, é incentivada, possibilitando uma situação na qual todos agem na construção do conhecimento de todos. É muito compensador para o professor acompanhar os progressos de seus alunos neste aspecto.

Naturalmente, nem todo tipo de interação técnico-social será eficiente neste objetivo. Em muitos casos, cuidados devem ser tomados. Isto será melhor comentado na próxima seção.

REQUISITOS PARA A INTERAÇÃO SOCIAL

Certamente, a Internet oferece grandes oportunidades para a interação social, como já comentado. Entretanto, nem todas as suas possibilidades propiciam o ambiente necessário para a aquisição do conhecimento. Se existem de um lado as listas de discussão, assíncronas, que possibilitam vários tipos de acompanhamento, há também os "chats", conferências eletrônicas em tempo real, síncronas, que são normalmente caóticos e desorganizados. Na minha experiência, as modalidades de interação social de relevância ao aprendizado e desenvolvimento de aptidões exigem um mínimo de estruturação. Desta forma, "chats" e todas as atividades feitas de forma muito liberal não são, pelo comum, recomendados.

Vê-se claramente que há um limite na comunicação, ou seia, não é porque um curso usa a Internet que ele será interativo e que tal interação será adequada à construção do conhecimento. A experiência tem demonstrado que o aumento na participação dos alunos nas aulas presenciais e também na Internet é extremamente salutar por aumentar o tempo de residência da informação na mente dos alunos. Entretanto, deve-se ter em mente que esta participação deve ser contabilizada para efeitos da avaliação do desempenho dos alunos, tendo em vista que o conhecimento adquirido é mais facilmente incorporado ao alunado se obtido após intensas discussões com seus pares que é o que se pretende avaliar com testes e outras formas de avaliação, embora isto não seja uma atividade trivial. Ou seja, embora os critérios acadêmicos de avaliação baseados em testes e provas devam continuar existindo, cabe um critério híbrido, levando em conta os benefícios obtidos. Um destes mecanismos de avaliação incorporando exames escritos, participação em sala de aula e na Internet, trabalhos em grupo e individuais foi proposto recentemente em Braga (2002b).

MATERIAL ACADÊMICO

Todos os materiais didáticos de avaliação (exercícios, tutoriais, projetos e exames) foram desenvolvidos para atender a classificação proposta por Bloom (1956), bastante utilizada nos cursos intermediados pela Internet. Embora possa ser limitante, parece-me interessante ter um suporte pedagógico para o desenvolvimento de materiais acadêmicos. Bloom classificou o conhecimento em 3 grandes categorias:

- Conhecimento;
- Compreensão;
- Processamento complexo, que envolve:
- Aplicação;
- Análise;
- Síntese;
- Avaliação.

Como comentado por McNaught (1998), saber um determinado assunto (técnico ou não) envolve os talentos de conhecimento (memorização e identificação imediata) e o de compreensão (onde as relações entre as peças de informação são reconhecidas e onde o contexto do conhecimento pode ser descrito). Porém, ser um profissional competente em determinado assunto envolve ainda ter (ou obter) os talentos do processamento complexo. É neste ambiente que o ensino à distância e o ensino presencial, mediados pela Internet, podem fazer a grande diferença entre sucesso e fracasso.

Não foi muito difícil concluir que a criação e a manutenção de páginas Web, ainda que apresentando um projeto gráfico simples, são tarefas que exigem grande dedicação e tempo. Após ter desenvolvido um conjunto de páginas, ou um portal, com conteúdo acadêmico de Transmissão de Calor, observei que seu uso (medido, por exemplo, pelo número de hits às páginas), por parte dos alunos, era bastante insipiente. Apesar de todo o esforço de desenvolvimento, a sua disponibilidade a qualquer hora e a partir de qualquer lugar não eram fatores considerados pelos alunos como atraentes e com isto os recursos não foram eficientes para incrementar a participação dos alunos. Uma possível explicação pode ser que naqueles momentos, apenas versões textuais do material didático e outras notas de aula estavam disponíveis on-line. Como muitos deverão concordar, ler texto em telas de computador ainda não é uma experiência agradável, apesar dos monitores mais recentes de melhor qualidade e maior tamanho. Em consequência, pareceu óbvio que os alunos não estavam se beneficiando das páginas web, provavelmente como consequência da limitada interatividade, o que foi superado a partir do desenvolvimento de materiais interativos. Uma breve discussão sobre o uso destes será apresentada em seguida.

Na Internet, interação tem vários significados, desde interfaces até chats de conversação. De um ponto de vista educacional, entretanto, interação requer ação entre o aprendiz independente e o computador (primeira etapa) e mais importante, ação entre todos os aprendizes, conectados ou não via computadores. O primeiro passo foi administrado após o desenvolvimento dos primeiros programas interativos. Neste

momento, diversos programas, tutoriais, planilhas, testes de auto-avaliação com questões com grau crescente de dificuldade, arquivos contendo perguntas freqüentemente formuladas (como questões e respostas formuladas por alunos de períodos anteriores), etc. já estão disponíveis aos usuários das páginas de Transmissão de Calor, Braga (2002a). A implementação destes e de outros recursos similares resultou em um inquestionável aumento na participação dos alunos.

A Figura 1 mostra um dos applets desenvolvidos por estudantes sobre o entendimento de balanços de energia em problemas unidimensionais simples. Como sugerido pela teoria construtivista, o questionamento é à base do aprendizado, Brooks (1993). Assim, os estudantes são inicialmente exigidos que investiguem questões objetivas como a influência dos parâmetros na troca térmica e subjetivas, como a eficiência desta troca.

O uso destes aplicativos envolve a etapa de experimentação e a etapa de análise, dentro da classificação de Bloom. Após terem utilizado este e outros recursos semelhantes, os estudantes devem se preparar para modelálos matematicamente e a resolver tais situações analiticamente. Pretende-se que após esta etapa, as questões concretas do processo de aprendizado possam estar já equacionadas pelos alunos, fornecendo o tempo necessário para a abordagem construtivista, que demanda tempo e maior envolvimento pessoal. Após terem realizado tais experimentos unidimensionais relativamente simples, outros mais sofisticados podem ser sugeridos aos alunos, como aqueles que envolvem a análise da resistência térmica de contato e a sua influência na troca de calor entre duas placas.

Como pode ser visto, o desenvolvimento de aplicativos é grandemente facilitado pelo uso de moldes (templates), permitindo maximizar os recursos para investi-los em outros aspectos. Assim, para cada aplicativo, uma seqüência de questões sempre mais complicada pode ser formulada. Todos estes experimentos terminam com o requisito do desenvolvimento de um modelo matemático para cada situação. A experiência obtida com as versões mais sofisticadas destes aplicativos indica que os alunos em muito se beneficiam da existência de uma série de questões que os desafiam para a superação das dificuldades.

Outros aplicativos estão disponíveis na Internet, alguns deles desenvolvidos como tutoriais (veja a Figura 2). Naturalmente, os alunos podem utilizar estes tutoriais na freqüência desejada. Em alguns casos, pode-se sugerir que um pequeno relatório de acompanhamento seja entregue.

Nestes tutoriais, o usuário define inicialmente o problema específico a ser analisado, selecionando fontes térmicas internas, materiais, geometrias, fluidos ambientes e outros parâmetros. Isto é feito através de uma interface semelhante à da Figura 1. Em seguida, ele deverá fornecer suas respostas. O tutorial mostra tanto as respostas consideradas "certas" quanto àquelas fornecidas pelo usuário, para análise de erro e dá uma nota com um breve comentário sobre o desempenho. Em seguida, o usuário pode selecionar a opção "Análise das Respostas" para obter uma avaliação mais extensa do que ele fez. Considerando as diferenças encontradas para as

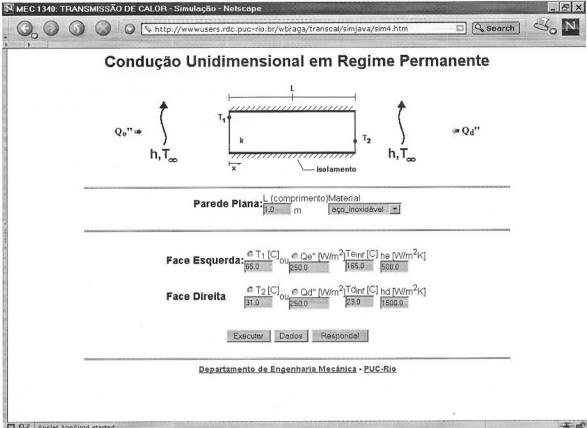


Figura 1. Aplicativo para Troca 1D de Calor, disponível em http://www.users.rdc.puc-rio.br/wbraga/transcal/simjava/sim4.htm

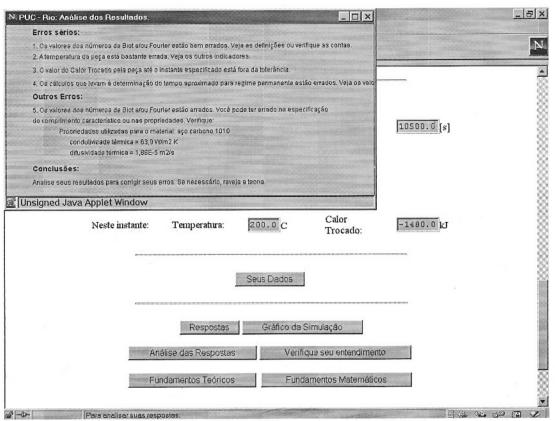


Figura 2. Tela indicativa da opção Análise dos Resultados para o Tutorial de Parâmetros Concentrados, disponível em http://www.users.rdc.puc-rio.br/wbraga/transcal/tutor/tutor.htm

propriedades térmicas dos materiais, por exemplo, devido à especificação dos mesmos, variação com a temperatura, correlações empíricas para os coeficientes de troca de calor por convecção e outras fontes de diferenças nos resultados, o tutorial foi desenvolvido para aceitar respostas que estejam na faixa de 10 a 30% de variação, dependendo da situação. Em algumas situações, o tutorial indica o conjunto de dados utilizado internamente, para provocar a curiosidade dos estudantes e demonstrar que não existe uma resposta "certa" e sim a resposta "certa" para um conjunto de fatores. Há ainda uma opção para oferecer questões mais complexas e desafiadoras sobre o mesmo material, que exigem um conhecimento mais sofisticado sobre o assunto.

A qualquer momento, links para as páginas referenciais do curso, incluindo recursos de matemática e outros estão disponíveis. Ainda que não esteja plenamente operacional, uma opção para se gerar problemas supostamente aleatórios está disponível. Embora esta opção não seja tão sofisticada quanto os sistemas propostos por Schulze (2000) ou Zahorian et al. (2001), o que foi implementado aqui oferece uma resposta mais rápida, além de ser referido a questões específícas de Transmissão de Calor.

METODOLOGIA

Após alguns anos testando diferentes abordagens para a condução do curso, estou razoavelmente convencido que a chave da implementação eficiente da Internet em salas de aula envolve o desenvolvimento de recursos, tecnológicos ou não, que propiciem a interação entre o alunado. Este é o objetivo primeiro e neste sentido, uma metodologia foi desenvolvida e já apresentada em outros trabalhos, Braga (1999, 2001). Aqui, alguns dos recursos interativos utilizados e uma breve análise sobre as suas funcionalidades serão comentados, no objetivo de transmitir parte da experiência já adquirida e, talvez, motivar outros professores a se aventurarem na área. Essencialmente serão três os aspectos a serem discutidos: o sistema de conferências via e-mail, o uso de projetos colaborativos e problemas desafiadores.

Conferência via Internet

Com a criação do sistema de Boletins Eletrônicos (Bulletin Board Systems ou BBS), introduziu-se um sistema privado de comunicações do tipo "um para muitos", totalmente intermediado pelos computadores, possibilitando intensas discussões e a troca rápida e eficaz de idéias. As redes de aprendizado hoje em dia utilizam maciçamente tais sistemas de comunicação que têm um gigantesco potencial acadêmico bastante conhecido por todos os envolvidos com Ensino à Distância intermediado pela Internet, e.g. Harassin (1996).

Após ter usado uma conferência e uma lista de discussão, ambas desenvolvidas para o ambiente UNIX, descobri os benefícios de um serviço da Internet, como o disponível no endereço http://br.groups.yahoo.com, bastante mais simples de ser usada (um requisito bastante importante) e fácil de se administrar. Sendo um professor de Engenharia Mecânica com relativo pouco tempo e recursos financeiros escassos para

investir em recursos de tecnologia da informação mais sofisticados, o serviço oferecido por este provedor tem sido suficiente para os meus presentes propósitos. Matricular alunos na conferência, retirá-los ao final do período, baixar arquivos para serem compartilhados e mais alguns outros serviços são atividades simples, ainda que demandem algum tempo útil para a sua preparação. Na verdade, descobri que é importante não impor o uso destes recursos junto aos alunos, sendo mais interessante que o convite seja feito e que eles decidam se querem ou não participar. Uma breve nota introdutória é enviada, mas a decisão final é deles. Felizmente, a grande maioria deles opta por participar, resultando em uma conferência bastante intensa.

Evidentemente, o correio eletrônico ainda é um dos serviços mais importantes da Internet e, no meu entender, vai permanecer assim durante muito tempo, quer pela facilidade de uso quer pelo grande potencial de comunicação. Entretanto, seu uso como ferramenta de apoio ao ensino de engenharia para as aulas virtuais é ainda pouco explorado, sendo, pelo comum, limitado às comunicações de eventos, como datas de provas, etc. Entretanto, minha experiência gerenciando uma conferência eletrônica sem grandes sofisticações, como a anteriormente citada, tem sinalizado seu imenso potencial como ferramenta de construção de conhecimento, desde que alguns cuidados básicos sejam tomados. Por exemplo, no último período (2001.2), contando com 25 alunos matriculados, cerca de 1084 e-mails foram trocados entre os participantes. Entretanto, menos de 800 deles foram considerados relevantes para o curso. Ou seja, por conta de alunos (e de professor) prolixos, cerca de 30% dos e-mails trocados foram ignorados por não serem pertinentes a um curso de graduação de Transmissão de Calor. O perfil das respostas foi:

- número de e-mails do sistema (avisos): 40 ou 5,1% do total válido;
- número de e-mails do instrutor: 88 ou 11,3 % do total válido;
- número de e-mails dos estudantes: 649 ou 83,5% do total válido;
- número de e-mails do mais participativo: 73 ou 9,4% do total válido.

A importância destas discussões fora do espaço tradicional de aula ficou evidente quando percebi que os alunos traziam contribuições de todos os tipos, desde da radiação solar, do efeito estufa, cobertura térmica de piscinas até o sistema de arrefecimento dos freios a discos. Embora muitos destes assuntos não estejam exatamente dentro do programa de Transmissão de Calor, é inegável a sua pertinência, pois permite que uma série de conexões sejam feitas entre o material acadêmico discutido no curso e a vida pessoal deles, ajudando a substituir o bom senso pela maturidade profissional. Estes encontros virtuais, assíncronos evidentemente, permitem um tempo extra para o amadurecimento de diversas questões, indicando que o aprendizado reflexivo é também importante. Uma vez mais, os alunos sentem-se co-responsáveis pelo curso. Duas das

contribuições dos alunos para o tópico Radiação Térmica são descritas abaixo. Estas perguntas exigem um tipo mais sofisticado de questionamento, característico do estágio de processamento complexo da informação, (análise).

- O poder emissivo máximo do Sol ocorre no entorno de 0,5 microns, de acordo com a lei de Wien. Este comprimento de onda corresponde à cor verde, ao invés do amarelo. Por que as crianças desenham o sol amarelo e não verde?
- Estava na praia em um dia parcialmente nublado. Será que as nuvens podem ser um exemplo de uma blindagem térmica de radiação?

De forma análoga ao que acontece nas salas convencionais de aula, nem todos os estudantes participam das discussões com a mesma intensidade e alguns deles não participam de forma alguma. Por exemplo, no último período, 17 alunos (68% da turma) enviaram mais de 16 e-mails cada durante o período, mas apenas 4 deles (16%) enviaram mais de 39. Considerando que um período tenha 16 semanas, isto significa em apenas um e-mail por semana para cada daqueles 17 alunos, o que não é uma grande média. Devo mencionar, contudo, que cerca de 20% dos meus alunos se declaram "tímidos" e por isto não tem o hábito ou não gostam de fazer perguntas em sala. Em muitos casos, uma boa conversa pessoal, onde as vantagens da troca de informações é salientada e uma certa massagem nos egos é feita, resulta em uma maior participação virtual, tornando-os contumazes e importantes participantes das discussões virtuais. Aparentemente, muitos destes estudantes envergonhados são mais facilmente convencidos das vantagens da colaboração virtual do que a presencial.

Notando que o desvio padrão é ainda muito grande, o que certamente limita o trabalho colaborativo da turma, tenho agora procurado passar maiores informações aos alunos sobre o potencial destas discussões, especialmente nas primeiras semanas do curso. Em todo o caso, apesar das inúmeras razões para isto, por exemplo, muitos cursos, muitos trabalhos, etc, fato é que preciso acompanhar isto melhor, pois muitos alunos claramente precisam de mais tempo para entender melhor materiais mais avançados. Mas deve ficar claro que a permanente disponibilidade do correio eletrônico é muito interessante, permitindo estudantes participar de muitos lugares diferentes no horário da conveniência deles claro, mas mesmo assim, participando, discutindo e potencialmente aprendendo. Este aspecto é bastante apreciado pelos estudantes, muitos deles com carga de outros cursos, compromissos e claro, estágios.

De todo o modo, a experiência sugere que a intervenção do instrutor se faz necessária por pelo menos três razões:

- muitos alunos não percebem que a aula virtual é apenas um outro tipo de espaço para a discussão da matéria e por vezes, a discussão se perde em detalhes ou para longe dos tópicos principais de discussão, freqüentemente sugeridos pelos próprios alunos.
- de uma maneira geral, a coletividade atuante de alunos é capaz de responder à grande maioria das perguntas por eles formuladas, ainda que por partes ou após inúmeras

contribuições (réplicas). Entretanto, notei que com alguma freqüência os alunos não percebem a construção do conhecimento e não notam que aquela determinada pergunta já foi respondida. Assim, convém que o instrutor intervenha e mostre o conhecimento adquirido. Este aspecto foi proposto por um aluno do curso, há alguns períodos.

- por alguma razão não bem conhecida, algumas das perguntas propostas pelos alunos são ignoradas no meio de tantas outras. Embora este aparente descaso aconteça de forma totalmente involuntária, fato é que os alunos que as formularam sentem-se decepcionados se suas questões são ignoradas, o que é um sentimento real, embora desagradável. Como a experiência sugere que todas as perguntas sejam respondidas, cabe ao professor tal tarefa. É interessante notar que, não raro, após a minha intervenção, a discussão aparece.

Em todo o caso, deve-se ficar alerta, pois o número de e-mails no meu curso tem crescido rapidamente. Na primeira vez que eu usei tal opção, em 1999, o número de e-mails trocados ao final do período era aproximadamente 300. No período 2001.2, este número ultrapassou 1000, como já mencionado. Entendo isto como razoável, apesar das dificuldades adicionais de gerência, pois gradualmente as notícias se espalham entre os estudantes, a cada novo termo, e então eles iniciam o período já sabendo dos benefícios e vantagens da participação pela Rede. Naturalmente, o número de e-mails desvinculados com o curso tem aumentado proporcionalmente.

Projetos Colaborativos

Durante a última rodada de discussões entre os professores do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio, há alguns anos, decidiu-se que os instrutores de cursos de graduação deveriam incentivar o envolvimento dos alunos em pequenos projetos. Naturalmente, para um curso de análise como é o MEC 1340: Transmissão de Calor (um curso básico e não de projetos), a complexidade de tais projetos deve ser limitada, evitando-se a seleção de projetos muito sofisticados, mas que exigem muito tempo dos alunos. Embora durante as discussões não tenhamos nos envolvido com o suporte acadêmico para tais projetos, há uma extensa literatura sobre o assunto, e.g. Tyson (1998), que em muito ajudou o meu entendimento desta técnica. Após alguns períodos com o uso de aprendizado baseado em problemas (ou problem based learning, pbl), pude tirar algumas conclusões:

- Projetos de curta duração (tipicamente um mês) e em maior número funcionam melhor que um único projeto, especialmente para aqueles alunos que trabalham ou fazem estágio.
- Trabalho em grupo deve ser encorajado em todos os momentos, mas os grupos devem ser formados pelos próprios alunos.
- Relatórios escritos são bastante importantes, mas as apresentações orais são excelentes para desenvolver as habilidades de comunicação dos alunos. É recomendável que as apresentações sejam tratadas formalmente.

- Tendo em vista o pouco tempo disponível e a importância de se cobrir o material acadêmico do curso, as atividades colaborativas devem sempre ocorrer simultaneamente às aulas presenciais e pela Internet, indicando que os projetos são apenas mais uma maneira de se aprender.

Durante o período de 2001.2, algumas novas características foram implementadas com sucesso, quer na avaliação dos alunos quanto na minha. Por exemplo:

- O tema do primeiro projeto não é mais proposto por mim e sim por cada grupo. A decisão final é ainda minha, para evitar disparidades. Um cronograma bem ajustado de eventos é proposto, para evitar problemas de gerência de tempo, muito comum como sabemos, que acabam por prejudicar o desenvolvimento dos projetos. Para o período 2002.1, associei pontos a cada um destes eventos, evitando que relatórios apressados sejam possíveis.
- Cada grupo deve fazer duas apresentações: uma preliminar, na qual o grupo expõe suas idéias e/ou dificuldades, relacionadas a qualquer etapa do projeto, como modelagem, construção do protótipo, análise matemática, calibração de termopares, etc, ao resto da turma. Os demais alunos participam com sugestões, críticas e comentários que podem ou não serem usados pelo grupo apresentador em seu projeto. Nenhuma nota é dada.
- Durante a apresentação final de cada grupo, dois comitês de alunos (outros grupos, por exemplo) que receberam previamente cópias do relatório do grupo apresentador e tiveram tempo de ler o mesmo e preparar perguntas, conduzem a argüição. Ao final da mesma, estes grupos devem dar uma nota que é composta com a minha (50%) e o grau resultante é fornecido. O trabalho de argüição recebe também uma nota. As argüições são conduzidas usando um formulário semelhante ao apresentado por Pappas e Hendricks (2000), modificado pelos estudantes e/ou para atender as características de cada projeto.

No último período, os alunos escolheram os seguintes projetos (entre outros):

- piscinas térmicas
- análise de eficiência do sistema de condicionamento de automóveis instalado em oficina
 - modelagem da troca de calor em um poço de petróleo
 - isolantes térmicos para aplicações especiais

Neste período, entre outros, foram propostos:

- uso do insufilme para redução da troca térmica em automóveis
 - um novo projeto para um chuveiro elétrico mais eficiente
- medição do coeficiente de troca de calor em situações de parâmetros concentrados
 - troca de calor em aparelhos celulares

Problemas Desafiadores

Muitos alunos interessam-se por desenvolver estudos mais avançados sobre determinados assuntos. Assim, no objetivo de desenvolver uma metodologia de curso capaz de atender diversos interesses e aptidões, bem como despertar novas vocações para a pesquisa, tenho proposto com freqüência problemas sem solução fechada, isto é, única e bem definida, preparadas para o estudo de casos. Tais problemas são propostos para serem trabalhados em grupos de dois ou de três alunos e, em geral, são problemas práticos, oriundos de pequenas consultorias, consultas técnicas, etc. Exemplos destes problemas:

- 1. Suponha que uma pizza seja entregue por engano na Secretaria do Departamento de Engenharia Mecânica. Ela deveria ter sido entregue no Depto. de Química, localizado no outro lado do corredor. Ela será entregue pelo portador que caminha com velocidade constante, sem acelerações. Entretanto, ao ser entregue, alguém descobre que um pedaço grande da pizza foi retirado e o suspeito é um dos professores do Depto. de Engenharia Mecânica, cujos escritórios estão localizados ao longo do corredor. A turma do curso de Transmissão de Calor é chamada para identificar o responsável. Isto pode ser feito?
- 2. Considere uma xícara de café com uma colher nela. O café está a uns 80 C enquanto que a temperatura ambiente é 28 C. Qual é a influência do comprimento submerso da colher no resfriamento do café? Para maximizar o resfriamento, qual deverá ser o comprimento submerso?

Naturalmente, a discussão destes problemas não é obrigatória, pois eles exigem um grau de envolvimento maior do que o adequado para um aluno médio, mas todos os alunos podem participar das discussões preliminares. Freqüentemente, o estudo de casos envolve o uso de pacotes como MathCad, Maple, etc. Como já mencionado, os melhores alunos costumam aproveitar tais chances para avaliar o seu entendimento operacional dos conceitos e pelos bons resultados, melhorar suas notas.

Avaliação da Metodologia

A metodologia de uso é simples e pelo comum bastante eficiente. Cada aula teórica tem seu material disponibilizado na Internet e também em livro, Braga (2002). Para cada aula, um aluno é voluntário para preparar um resumo dos assuntos a serem discutidos em sala e também propor duas questões sobre o mesmo. Este material é divulgado pela Internet na parte da manhã do dia anterior à aula. Os demais alunos devem responder às questões e trabalhar nos exercícios de preparação, também disponibilizados como antes. Estes exercícios devem ser entregues no início da respectiva aula. Ao final da mesma, o mesmo aluno voluntário deverá colocar duas outras questões na Internet, envolvendo agora os assuntos discutidos na sala. Em sala de aula, nos últimos 5/ 10 minutos, um outro aluno pode ser convidado a fazer um resumo do que foi discutido, propiciando um excelente momento de avaliação do que foi discutido e potencialmente aprendido, ainda que individualmente. Todas estas participações são contabilizadas, para efeitos da nota de participação. O critério de aprovação é proposto de forma a contemplar 50% da nota do aluno sendo oriunda de testes e provas e o restante vindo de projetos colaborativos e participação em sala e na Internet (Braga, 2002d).

Tabela I. Resultados do Curso

	Número de	%	%	%		Desvio
Período	Alunos	Aprovados I	Aprovados II	Reprovados	Média	Padrão
1998.1	34	15,0%	68,0%	32,0%	5,2	1,0
1998.2	26	7,7%	92,0%	8,0%	6,0	0,7
1999.1	17	0,0%	65,0%	35,0%	5,3	1,1
1999.2	30	30,0%	73,0%	27,0%	6,0	1,8
2000.1	31	64,5%	100,0%	0,0%	6,2	0,9
2000.2	22	54,5%	82,0%	18,0%	6,2	1,7
2001.1	34	29,4%	85,3%	14,7%	5,8	1,3
2001.2	25	52,0%	88,0%	12,0%	6,0	1,3

Os resultados do uso sistemático da metodologia descrita neste trabalho e aplicado ao curso de Transmissão de Calor, podem ser vistos a partir dos dados da Tabela I.

O percentual de alunos aprovados no curso antes do exame final é mostrado na terceira coluna, o número final de aprovados aparece na quarta coluna e o número de reprovados aparece na quinta coluna. Como se vê, há uma significante mudança no primeiro número a partir de 1999.2, quando o número de alunos aprovados antes da última prova, ou seja, "antes do tempo" aumentou significantemente. Naquela data, o uso da metodologia proposta começou a dar resultados, quer pelo aumento da experiência do professor quer pelo aumento na qualidade dos recursos utilizados. Este número se mantém elevado até esta data. O número final de reprovados parece estar diminuindo, embora ainda seja um tanto prematuro esta conclusão. Naturalmente, cuidados têm sido tomados para evitar provas e argüições mais fáceis.

Apesar do aumento no número de alunos aprovados antes do exame final, fato é que a média final parece estar fixa no entorno de 6.0. Uma vez que um número crescente de alunos pode estar aprovado antes do exame final, alguns destes abandonam o curso em benefício de outros, nos quais a aprovação ainda não esteja garantida. Como resultado, as notas do exame final, naturalmente mais difícil, tem sido inferior às notas obtidas durante o período, acarretando uma média da turma inferior à possível. O elevado desvio padrão parece estar indicando a grande diversidade das últimas turmas.

Uma crítica já recebida no curso da presente investigação refere-se ao custo dos potenciais benefícios da metodologia proposta face às mais tradicionais. É inevitável que parte do tempo de aula, que poderia ser utilizado para aprofundamentos teóricos mais sofisticados, novos exercícios, etc, seja subtraído em prol das discussões mais participativas e, por vezes, menos acadêmicas "stricto sensu". De fato, os alunos formados usando a metodologia proposta acabam sabendo um número menor de equações e fórmulas que outros. Entretanto, entendo que o aprofundamento holístico do material do curso é bem mais intenso, resultando em uma melhor compreensão do material e num melhor desempenho no curso, como pode ser visto pelos resultados da Tabela I.

A percepção dos alunos quanto à validade da proposta acadêmica é, como natural, sempre interessante. A visão do outro lado do rio deve ser sempre procurada, quer pelas muito pertinentes observações quer pela oportunidade de envolvê-los

com o planejamento dos próximos cursos. Na minha experiência, isto contribui para dar um bom senso de responsabilidade sobre os cursos aos alunos, pois em geral, os comentários deles dão com frequência uma visão dura mas realista. Entre outros comentários dos alunos do último termo, selecionei os seguintes:

Aspectos positivos:

- "Vejo o curso como um dos maiores desafios dentro do departamento, pois os alunos precisam pensar durante testes e exames, e não apenas decidir qual fórmula utilizar. Não há muitas oportunidades como esta";
- "O instrutor é um dos poucos professores da PUC-Rio a induzir o raciocínio dos alunos todo o tempo, fugindo da metodologia padrão";
- Acredito que os resumos, e-mails, os exercícios de preparação e outros serviços ajudam os alunos a permanecer continuamente em contato com o assunto do curso, evitando as longas horas de estudo nas proximidades dos exames.
- O curso de Transmissão de Calor oferece vários canais para ajudar estudantes no entendimento dos tópicos, oferecendo um ambiente acadêmico no qual eles podem funcionar de forma adequada.

Aspectos Negativos:

- Há muitas atividades e algumas delas só tomei conhecimento ao final do curso;
- A demanda do curso é muito grande, especialmente para alunos como eu que tenham uma grande carga de trabalho.
- Nosso aprendizado depende bastante do tempo disponível para um determinado assunto. Em muitas situações de engenharia, não é necessário um conhecimento detalhado do problema, pois as soluções são muitas e senso comum ajuda bastante no processo.
- Minha maior dificuldade é a adaptação à Internet. Ler na tela de um computador ainda é muito difícil. Algumas vezes, não consegui fazer os exercícios de preparação (item opcional).
- Testes e Exames são muito difíceis e são muito mais elaborados que aqueles discutidos em sala.

Como pode ser visto, há muito que podemos aprender sobre a arte e a técnica do aprendizado com os grandes beneficiários do nosso aprimoramento.

CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se uma metodologia para uso em ensino de engenharia que combina aulas presenciais e a Internet. A metodologia é fortemente dependente da interação a ser promovida entre os alunos, o processo e recursos da tecnologia de informação baseados na Internet. Pelos comentários e observações apresentados, pode-se concluir que o ensino intermediado pela Internet parece ser bastante promissor, tanto no quesito motivação quanto de desafio, em especial se considerarmos os resultados já obtidos com as diversas turmas de graduação em Engenharia Mecânica. Os inúmeros recursos disponíveis permitem a caracterização de um ambiente integrado de aprendizado, envolvendo a sala de aula – espaço físico - e a Internet – espaço virtual, contribuindo ainda para que o tempo de residência da informação aumente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becker, H.J., *Internet Use by Teachers*, disponível em http://www.crito.uci.edu/TLC/FINDINGS/internet-use/index.htm, 1999; acessado em 8/junho/2002.
- Bloom, B.S., editor, *Taxonomy of Educational Objectives*. *Handbook I. The Cognitive Domain*, N.Y., David McKay, 1956.
- Braga, W., *Uma Proposta para um Curso de Transmissão de Calor via Internet*, anais (CD-Rom) do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Campinas, S.Paulo, Novembro, 1999.
- Braga, W., A Mixed Environment for Effective Heat Transfer Learning, Anais da American Society of Mechanical Engineering - ASME, Divisão de Transmissão de Calor - 2000, HTD-Vol. 366-1, Orlando, Estados Unidos, Novembro, 2000a.
- Braga, W., *Um Tutorial para a Primeira Lei da Termodinâmica*, anais do VII Encontro Nacional de Ciências Térmicas, ENCIT, Porto Alegre, RS, 2000b.
- Braga, W., A General Methodology for Engineering Education using the Internet. Anais do FIE 2001: Frontiers in Education Conference, Reno, NV, Estados Unidos, Outubro, 2001.
- Braga, W., *Transmissão de Calor*, disponível no endereço http://www.users.rdc.puc-rio.br/wbraga/tc.htm, 2002a.
- Braga, W., Evaluating Students on Internet Enhanced Engineering Courses, anais do FIE 2002, Frontiers in Education Conference, Boston, MA, Estados Unidos, Novembro, 2002b.

- Braga, W., *Transmissão de Calor Introdução ao Estudo*, Editora Boolink (http://www.booklink.com.br), 2002c.
- Braga, W., Avaliação Contínua de Cursos de Engenharia, Anais do XXX COBENGE, Piracicaba, SP, 2002d.
- Brooks, J.G. e Brooks, M.G., *In search of Understanding: The Case for Constructivist Classrooms*, ASCD Association for Supervision and Curriculum Development, Alexandria, Virginia, 1993.
- Edvardsson, J., Drewsen, A., Larsson M. e Andersson B., Using Problem-based Learning in Teaching Experimental Planning and Design over the Internet, Anais do 4th International Conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering, p.168-175, Göteburg, Suécia, Junho 1998.
- Harasim, L., Hiltz, S.R., Teles, L. e Turoff, M., *Learning Networks*. Cambridge, Mass, MIT Press, Estados Unidos, 1996.
- Lemos, A., Anjos Interativos e Retribalização do Mundo. Sobre Interatividade e Interfaces Digitais, disponível em http://www.facom. ufba.br/ciberpesquisa/lemos/interac.htm,1997, acessado em 8/junho/2002.
- McNaught C., Evaluation Tools for Developing and Using Effective Computer Facilitated Learning Environment in the Sciences, Anais do 4th International Conference on Computer Aided Learning and Instruction in Science and Engineering, p.9-17, Göteberg, Suécia, Junho 1998.
- Pappas, E.C. e Hendricks, R.W., Holistic Grading in Science and Engineering, J. of Engineering Education, Vol. 89, No. 4, pp. 403-408, October 2000.
- Primo, A.F.T. e Cassol, M.B.F., Explorando o conceito de interatividade: definições e taxonomias, disponível em http://usr.psico.ufrgs.br/%7Eaprimo/pb/pgie. htm, acessado em 11/junho/2001.
- Shulze, K., Shelby, R., Treacy, D., e Wintersgill, M., Andes: A coached learning environment for classical Newtonian physics, Anais da 11a. International Conference on College Teaching and Learning, Jacksonville, Estados Unidos, 2000.
- Sims, R., *Interactivity: A Forgotten Art?*, disponível em http://itech1.coe.uga.edu/itforum/paper10/paper10.html; acessado em 8/junho/2002.
- Tyson, T., Working with groups, 2a. edição, Macmillan Education, Australia, 1998.
- Zahorian, S.A., Lakdawala, V.K., González, O.R., Starsman, S. e Leathrum Jr, J.F., Question Model for Intelligent Questioning Systems in Engineering Education, Anais do Congresso Frontiers in Education FIE 2001, Reno, Estados Unidos, 2001.

DADOS BIOGRÁFICOS DO AUTOR



Washington Braga

Graduado em Engenharia Mecânica (PUC-Rio, 1975), Mestre em Engenharia Mecânica (PUC-Rio, 1978), PhD em Engenharia Mecânica (The University of Michigan, Ann Arbor, 1985); foi Diretor do Centro de Computação-RDC da PUC-Rio (1991-1997); Coordenador do Grupo

de Trabalho em Educação à Distância do Comitê Gestor da Internet Brasil (1996-1998); Coordenador Administrativo da Rede Rio de Computadores - FAPERJ (1997-2002); É professor de Disciplinas nas áreas de Termodinâmica, Transmissão de Calor, Métodos Numéricos, graduação e pós-graduação. Tem interesses no uso de Tecnologia da Informação no Ensino Interativo de Engenharia, Problemas Inversos e Radiação Térmica.