

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO UTILIZADA NA DISCIPLINA DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS II DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA (DEQ/UEM) – PERÍODO 1999/2007

Oswaldo Curty da Motta Lima – oswaldo@deq.uem.br

Maria Angélica Simões Dornellas de Barros – angelica@deq.uem.br

Sérgio Henrique Bernardo de Faria – sergio@deq.uem.br

Universidade Estadual de Maringá – Departamento de Engenharia Química
Avenida Colombo 5790, Bloco D-90, 87020-900 – Maringá, PR

Márcia Galvão da Motta Lima – mgmlima@uem.br

Universidade Estadual de Maringá – Programa de Pós-Graduação em Educação
Avenida Colombo 5790, Bloco G-34, 87020-900 – Maringá, PR

Resumo: *O conhecimento e a aplicação dos conceitos que envolvem as Operações Unitárias da Indústria Química são importantes na formação dos futuros engenheiros. Neste contexto, este trabalho faz uma análise da metodologia utilizada na avaliação dos alunos da disciplina de Operações Unitárias II do curso de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM), no período de 1999 a 2007. A abordagem utilizada tem como motivação a importância dos conceitos abordados e a dificuldade na avaliação do aprendizado dos alunos, pois as diferentes Operações Unitárias discutidas no curso estão relacionadas a cálculos trabalhosos, associados à busca de informações relevantes à solução dos problemas apresentados/propostos. Esta característica dos problemas envolvendo diferentes Operações Unitárias traz dificuldades na elaboração de questões mais aprofundadas, e que demandariam maior tempo de resolução, na avaliação dos alunos em uma prova manuscrita convencional. A metodologia utilizada e uma discussão dos resultados obtidos até o momento são apresentadas neste trabalho.*

Palavras-chave: *Operações unitárias, Metodologia de avaliação, Avaliação.*

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento e a aplicação dos conceitos que envolvem as Operações Unitárias da Indústria Química são importantes na formação acadêmica dos futuros engenheiros. Na Universidade Estadual de Maringá (UEM), estas Operações Unitárias estão inseridas no projeto pedagógico do curso de Engenharia Química (ENQ) do Departamento de Engenharia Química (DEQ). O sistema educacional da UEM está estruturado na forma de seriado anual, sendo este conteúdo oferecido por meio de duas disciplinas de 102 ha, Operações Unitárias I e II, na quarta série (quarto ano) do curso de Engenharia Química (ENQ).

Neste contexto, o foco deste trabalho está na disciplina de Operações Unitárias II, cujo programa apresenta os seguintes tópicos: Absorção ; Adsorção ; Cristalização ; Destilação ; Evaporadores ; Extração Líquido-Líquido e Sólido-Líquido ; Secagem ; Trocadores de Calor ; Umidificação.

2. RECURSOS DISPONÍVEIS

A disciplina possui um endereço eletrônico (*site*) na rede interna do DEQ, com acesso via internet (www.deq.uem.br), no qual os alunos encontram os textos desenvolvidos pelos professores e material de interesse nos diferentes tópicos/assuntos da disciplina, além de programas computacionais (softwares) desenvolvidos por empresas, outras instituições de ensino e internamente no departamento.

A disciplina também está inserida em um Projeto de Ensino Institucional (MOTTA LIMA, 2002), cujo objetivo é sua permanente atualização e que conta, sob a coordenação de autores deste trabalho, com a participação de alunos do curso de Engenharia Química que ajudam na elaboração de material didático e programas computacionais para a disciplina.

A disciplina também pode contar, mas não permanentemente, com a participação (auxílio) de monitores, no primeiro semestre (alunos da 5ª série do curso que saem para estágio no segundo semestre).

3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

3.1 Introdução e Critério de Avaliação da Disciplina

A metodologia de avaliação aqui proposta para a disciplina de Operações Unitárias II foi implementada, em sua primeira versão, em 1999, sendo utilizada/melhorada deste então.

O critério de avaliação da disciplina consiste de notas (avaliações) bimestrais, sendo a nota final do acadêmico a média das quatro notas obtidas durante o ano. Para ser aprovado, esta média deve ser maior ou igual a 6,0 (seis). Caso não seja alcançada, o acadêmico tem uma oportunidade única de exame (avaliação final), em que a nota obtida, somada ao resultado da média das avaliações bimestrais (nota final), deve perfazer uma nova média superior a 5,0 (cinco), para ser aprovado.

Procurou-se organizar as operações unitárias a serem estudadas conforme uma seqüência lógica de interação entre elas, resultando na seguinte distribuição dos tópicos ao longo dos bimestres: BM 1 - Destilação ; BM 2 - Absorção, Extração Líquido-Líquido e Sólido-Líquido ; BM 3 - Trocadores de Calor, Evaporadores, Cristalização ; BM 4 - Adsorção, Umidificação, Secagem.

3.2 Metodologia de Avaliação Proposta

Os tópicos previstos na ementa da disciplina representam operações unitárias que, na sua maioria, são de grande complexidade e cujos cálculos envolvidos, além de trabalhosos, são de difícil resolução (FOUST *et al.*, 1982; GEANKOPLIS, 1993; McCABE *et al.*, 2001). Desta forma, fica difícil a elaboração de provas que possam cobrir de forma adequada o conteúdo dos tópicos abordados naquele bimestre (extrapolariam, em muito, o tempo de prova disponível), prejudicando a devida avaliação do seu aprendizado pelos alunos.

Dentro deste contexto, a metodologia de avaliação utilizada desde 1999 está de acordo com algumas das sugestões apresentadas em FELDER (1997b), WOODS (1998), FELDER e BRENT (1999) e FELDER *et al.* (2000), contemplando cada operação unitária estudada com pelo menos um exercício, elaborando-os de forma a obter um nível de complexidade que permita ao professor não só uma melhor exploração dos conteúdos envolvidos, como, também, uma melhor avaliação do grau de aprendizado dos tópicos abordados.

As listas de exercícios elaboradas desde a implantação da metodologia proposta têm procurado observar um ou mais dos aspectos listados a seguir:

- busca de informações relevantes à solução dos problemas, tais como: propriedades das substâncias/correntes envolvidas (físico-químicas, térmicas, de transporte, etc.) ; dados de

equilíbrio de fases ; equações para o cálculo de coeficientes de transferência de calor e/ou massa ; dados de projeto/construção de equipamentos ; etc. ;

- construção dos diagramas pertinentes à solução gráfica dos problemas, quando for o caso, ou utilização adequada de diagramas prontos obtidos da literatura ;
- solução gráfica dos problemas por mais de uma abordagem/metodologia conhecida, de modo a comparar seus resultados ;
- uso de diferentes abordagens, metodologias ou estratégias para solução algébrica/numérica dos problemas. Solução iterativa dos problemas, quando for o caso ;
- usar integração gráfica e/ou numérica como ferramenta de cálculo ;
- escolha e utilização adequada de softwares didáticos e/ou comerciais no apoio à solução dos problemas (disponibilizados a partir da página WEB das disciplinas).

Os exercícios são estruturados conforme os conteúdos das provas bimestrais, ficando então com a tarefa de proporcionar uma maior complexidade no estudo dos tópicos abordados, e permitindo, desta forma, a elaboração de provas mais compactas, mais objetivas e, principalmente, mais curtas. (FELDER, 1997a ; WOODS, 1998).

As listas de exercícios são resolvidos com os alunos trabalhando em grupos. Inicialmente, para os anos de 1999 a 2002, as turmas foram divididas em 4 grupos com um número variável de alunos/membros. A partir de 2003, conforme recomendado por FELDER e BRENT (1999) e FELDER *et al.* (2000), as turmas passaram a ser uniformemente divididas em grupos/equipes de, preferencialmente, 4 alunos (mínimo 3, máximo 5), distribuídos pelo professor.

Entretanto, pelo maior número de alunos da turma (49 alunos), os grupos da turma de 2007 foram formados pelos próprios alunos, com de 5 a 6 membros, devido a maior dificuldade de interação entre os membros do grupo em equipes maiores.

Inicialmente (1999), apenas um tipo de exercício bimestral foi proposto para todos os grupos, sendo a resposta do grupo retornada para o professor. Em 2000, para evitar que alunos fossem pontuados pelo trabalho dos demais integrantes do grupo, cada membro do grupo passou a entregar sua resolução/resposta manuscrita individual. A partir do ano de 2001, até 2007, cada grupo passou a receber sua própria lista de exercícios, sendo mantida a entrega individual para cada membro da equipe.

A data de entrega das listas de exercícios está associada ao calendário das avaliações bimestrais, geralmente na segunda-feira posterior à data da prova bimestral. Não é obrigatória a entrega da lista por todos os integrantes do grupo, podendo o aluno optar por não se beneficiar da pontuação devida aos exercícios, sem prejuízo na sua nota final do bimestre.

3.3 Aspectos Importantes

Formação dos grupos

De acordo com FELDER *et al.* (2000), é importante que os grupos sejam formados de forma heterogênea e a mais aleatória possível para reforçar a necessidade de interação entre os alunos, procurando-se evitar a composição de grupos já pré-estabelecidos no âmbito da turma. Esta estratégia visa também mostrar aos acadêmicos que a interação com pessoas que não fazem parte do seu círculo de amizades será importante na sua atividade profissional.

Resolução da lista de exercícios

O grau de complexidade dos exercícios propostos faz com que a interação entre professor, alunos e monitor da disciplina seja aumentada. Além disso, os exercícios permitem uma melhor assimilação do conteúdo dos tópicos abordados naquele bimestre e funcionam como motivação e preparação para a avaliação correspondente. (FELDER *et al.*, 2000).

Envolvimento do professor

Há uma maior interação com os alunos, inclusive este é um dos objetivos dos exercícios, bem como uma maior carga de atividades para o professor, desde a elaboração das listas até a sua respectiva correção e pontuação.

2.4 Forma de Pontuação

A pontuação máxima obtida em de cada lista bimestral de exercícios é de 3,0 (três) pontos, sendo esta acrescida proporcionalmente à nota obtida na prova por meio da relação:

$$NBF = ((10 - NE) * NP / 10) + NE \quad (1)$$

em que: NBF é a nota bimestral final, NE é a nota do exercício (0-3 pontos) e NP, a nota da prova (0-10 pontos). Desta forma, a nota final do acadêmico naquele bimestre será o resultado obtido a partir da equação 1.

Por exemplo, o acadêmico que tenha obtido 2 (dois) pontos na lista de exercícios e venha a tirar na prova uma das seguintes notas: 2,0 ; 5,0 ou 8,0, terá sua nota acrescida de 1,6 ; 1,0 e 0,4 pela forma de pontuação proposta, perfazendo uma nota final de 3,6 ; 6,0 ou 8,4, respectivamente. Pode-se notar que, quanto maior a nota da prova, menor a contribuição da lista de exercícios à nota final do aluno.

Este fato diz respeito a que, por princípio, o objetivo maior do exercício está no aprendizado e que, neste contexto, tem-se verificado que, desde sua aplicação inicial (1999), aqueles alunos que discutem e resolvem os exercícios fazem boas provas, tirando boas notas.

Caso o acadêmico tenha optado por não entregar a lista de exercícios, sua nota final do bimestre em questão será apenas a nota da prova ($NE = 0$, na Equação 1 \Rightarrow $NBF = NP$).

4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos com a metodologia proposta têm sido positivos, pois para uma disciplina que apresenta um conjunto extenso e variado de tópicos, o desempenho dos alunos tem se mostrado satisfatório, mostrando uma evolução ao longo dos períodos até aqui avaliados.

A Tabela 1 apresenta os resultados do processo de avaliação da disciplina de Operações Unitárias II para os períodos letivos de 1999 a 2007.

A Tabela 2 traz o resultado do desempenho dos acadêmicos (índices de aprovação por média, total e de reprovação) na disciplina, para os períodos letivos de 1999 a 2007.

A análise da Tabela 1 mostra que os bimestres 2 e 3 são aqueles nos quais os alunos apresentam seus piores e melhores desempenhos, respectivamente, e uma melhora significativa para o primeiro bimestre, a partir de 2001. No entanto, os resultados do quarto bimestre têm dependido da situação dos alunos ao final do ano letivo, pois, por exemplo, alguns deles já podem estar aprovados por média ($\geq 6,0$) com as notas dos três primeiros bimestres.

Os resultados da avaliação estão de acordo com os pontos de vista pessoais dos autores deste trabalho que ministram esta disciplina, que classificam os bimestres em 2, 4, 1 e 3, em uma escala decrescente de grau de dificuldade.

A análise das Tabelas 1 e 2 indica uma melhora no desempenho dos acadêmicos a partir do ano letivo de 2001, sendo então mantido um desempenho bastante satisfatório nos últimos anos letivos dos períodos até aqui avaliados (de 2003 a 2007), com médias finais bimestrais acima da nota de corte (6,0) para a aprovação sem a necessidade de avaliação/exame final.

Estes resultados são resumidos na Tabela 3, que apresenta uma análise comparativa dos valores médios para os períodos de 1999/2000, 2001/2002, 2003/2004, 2005/2006 e 2007.

O melhor desempenho observado a partir do ano letivo de 2001 e, principalmente, após o ano de 2003, está provavelmente associado às mudanças e adaptações introduzidas na forma de implementação das listas de exercícios, o que levou a um maior envolvimento de cada aluno com os exercícios propostos, refletindo em seus desempenhos nas provas bimestrais (e seus MF) e, conseqüentemente, em suas médias finais anuais (MP e MF) e nos índices finais de aprovação das turmas.

Tabela 1 - Resultados do processo de avaliação: 1999 @ 2007

Processo de Avaliação		Engenharia Química								
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
BM 1	ME (NA)	2,10 (31)	1,40 (23)	1,90 (32)	1,85 (35)	1,83 (29)	1,52 (24)	1,72 (31)	1,87 (29)	1,82 (45)
	MP	4,74	5,45	7,43	7,16	7,28	7,12	8,22	7,78	7,21
	MF BM	5,80	6,09	7,89	7,62	7,71	7,51	8,46	8,18	7,65
	MF – MP	1,06	0,64	0,46	0,46	0,43	0,39	0,24	0,40	0,44
BM 2	ME (NA)	2,24 (31)	2,40 (8)	2,23 (32)	2,07 (34)	1,43 (6)	1,26 (6)	1,17 (10)	1,36 (9)	2,07 (21)
	MP	6,02	5,03	5,53	5,77	6,79	6,23	6,72	7,40	6,48
	MF BM	6,80	5,46	6,50	6,55	6,87	6,37	6,79	7,53	6,69
	MF – MP	0,78	0,43	0,97	0,78	0,08	0,14	0,07	0,13	0,21
BM 3	ME (NA)	1,88 (31)	1,64 (18)	2,49 (25)	2,54 (37)	1,95 (27)	1,48 (17)	1,50 (16)	1,79 (20)	1,29 (12)
	MP	6,34	6,28	7,75	6,50	7,75	7,58	8,02	7,29	7,42
	MF BM	6,97	6,68	8,12	7,37	8,09	7,81	8,22	7,62	7,52
	MF – MP	0,65	0,40	0,37	0,87	0,34	0,23	0,20	0,33	0,10
BM 4	ME (NA)	1,42 (31)	1,78 (20)	2,62 (26)	1,95 (32)	1,41 (23)	1,69 (16)	1,69 (15)	1,73 (9)	1,56 (10)
	MP	5,25	6,44	7,18	6,47	6,24	7,63	7,64	6,35	7,29
	MF BM	5,88	6,87	7,72	7,11	6,57	7,90	7,85	6,52	7,41
	MF – MP	0,63	0,43	0,54	0,64	0,33	0,27	0,21	0,17	0,22
Anual	ME (NA)	1,91 (31)	1,69 (17)	2,28 (29)	2,11 (35)	1,73 (21)	1,53 (16)	1,59 (18)	1,76 (17)	1,78 (22)
	MP	5,59	5,80	6,97	6,47	7,01	7,14	7,65	7,20	7,10
	MF	6,36	6,27	7,56	7,16	7,31	7,40	7,83	7,46	7,32
	MF – MP	0,77	0,47	0,59	0,69	0,30	0,26	0,18	0,26	0,22

Legenda: ME – média dos exercícios NA – número de alunos que entregou o exercício
 MP – média da prova bimestral MF – média final bimestral
 (MF – MP) – acréscimo na nota final devido à pontuação dos exercícios

Tabela 2 - Desempenho dos acadêmicos na disciplina: 1999 @ 2007

Desempenho dos Acadêmicos		Engenharia Química								
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Total de Alunos		32	24	33	37	32	26	33	32	49
Aprovados por Média	NA	23	17	31	34	29	24	32	31	45
	%	71,88	70,83	93,94	91,89	90,63	92,30	96,97	96,88	91,84
Alunos em Exame	NA	9	7	2	3	3	2	1	1	4
	%	28,12	29,17	6,06	8,11	9,37	7,70	3,03	3,12	8,16
Aprovados no Exame	NA	6	5	1	1	2	1	1	1	4
	%	18,75	20,83	3,03	2,70	6,25	3,85	3,03	3,12	8,16
Total de Aprovados	NA	29	22	32	35	31	25	33	32	49
	%	90,63	91,67	96,97	94,59	96,88	96,15	100,00	100,00	100,00
Reprovados	NA	3	2	1	2	1	1	0	0	0
	%	9,37	8,33	3,03	5,41	3,12	3,85	0,00	0,00	0,00

Legenda: NA - número de alunos no item em questão
% - percentagem dos alunos em relação ao seu total

Tabela 3 - Comparação de desempenho entre os períodos: 99/00 ; 01/02 ; 03/04 ; 05/06 e 07

Resultados dos Períodos Avaliados	Engenharia Química				
	1999/2000	2001/2002	2003/2004	2005/2006	2007
Total de Alunos	56	70	58	65	49
ME (%)	1,83 (86)	2,19 (91)	1,64 (64)	1,67 (54)	1,78 (45)
MP	5,68	6,71	7,07	7,43	7,10
MF	6,32	7,35	7,35	7,65	7,32
MF – MP	0,64	0,64	0,28	0,22	0,22
Aprovados por Média (%)	71,43	92,86	91,38	96,92	91,84
Alunos em Exame (%)	28,57	7,14	8,62	3,08	8,16
Total de Aprovados (%)	91,07	95,71	96,55	100,00	100,00
Reprovados (%)	8,93	4,29	3,45	0,00	0,00

Legenda: ME – média dos exercícios % - percentagem dos alunos em relação ao seu total
MP – média da prova bimestral MF – média final bimestral
(MF – MP) – acréscimo na nota final devido à pontuação dos exercícios

A metodologia de avaliação proposta ainda pode ser melhorada, conforme sugerido a seguir:

- redução do tempo gasto pelo professor na correção e na atribuição dos conceitos das listas de exercícios e das provas ;
- uma maior compreensão e envolvimento dos alunos na resolução dos problemas/exercícios propostos, uma vez que ainda existem alunos dentro dos grupos/equipes que apenas copiam as

listas/exercícios, com pouca (ou, mesmo, nenhuma) participação no processo de discussão e solução dos problemas.

A metodologia e o critério de avaliação apresentados neste trabalho possuem um caráter dinâmico; assim, os autores sugerem, e têm a intenção, de melhorá-los continuamente. As possibilidades caminham na direção de uma maior participação e interação entre os alunos, dentro e entre os grupos, (FELDER *et al.*, 2000 ; WOODS, 2000 ; FELDER e BRENT, 2003), levando a um maior aprendizado e a melhores desempenhos nas avaliações bimestrais.

Perspectivas para os próximos anos letivos também incluem uma maior interação com os monitores da disciplina e uma integração mais efetiva com as atividades do projeto de ensino mencionado anteriormente (MOTTA LIMA, 2002).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de avaliação proposta permite aos alunos utilizarem seu tempo de estudo dos diferentes tópicos da disciplina de Operações Unitárias II de forma mais efetiva, resultando em uma maior assimilação de seus conteúdos e em uma melhor desempenho no processo de avaliação.

Outro aspecto positivo a ser lembrado, na opinião dos autores, está na possibilidade de os alunos trabalharem em grupos, possibilitando, não só uma maior interação entre os eles, mas, também, com os professores e com os propósitos do próprio curso, e melhor adequando sua formação às atuais necessidades dos diferentes campos de atuação do Engenheiro Químico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FELDER, R.M. Tips on quantitative tests. Emphasis on Teaching and Learning. **N.C. State University**. November, p. 7-9, 1997a.

FELDER, R.M. Beating the numbers game: effective teaching in large classes. **1997 ASEE Annual Conference**. Milwaukee-WI, June. Disponível: <http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/Largeclasses.htm>, 1997b.

FELDER, R.M. ; BRENT, R. How to improve teaching quality. **Quality Management Journal**. v. 6, n. 2, p. 9-21, 1999.

FELDER, R.M. ; BRENT, R. Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria. **Journal of Engineering Education**. January 2003, p. 7-25, 2003.

FELDER, R.M. et al. The future of engineering education. II. Teaching methods that work. **Chem. Engr. Education**. v. 34, n. 1, p. 26-39, 2000.

FOUST, A.S. et al. **Princípios de Operações Unitárias**. 2^a Edição, Rio de Janeiro: LTC Editora, 1982.

GEANKOPLIS, C. **Transport Processes and Unit Operations**. 3rd Edition. New York: Prentice-Hall Intern. Edition, 1993.

McCABE, W.L. ; SMITH, J.C. ; HARRIOT, P. **Unit Operation of Chemical Engineering**. 6th Edition, New York: McGraw-Hill Inc, 2001.

MOTTA LIMA, O.C. **Atualização e Modernização das Disciplinas de Operações Unitárias do Departamento de Engenharia Química**. Projeto de Ensino - DEQ/UEM, 2002.

WOODS, D.R. Three trends in teaching and learning. **Chem. Engr. Education**. v. 32, Fall 1998, p. 296-301, 1998.

WOODS, D.R. et al. The future of engineering education. III. Developing critical skills. **Chem. Engr. Education**. v. 34, n. 2, p. 108-117, 2000.

EVALUATION METHODOLOGY USED ON THE UNIT OPERATIONS II DISCIPLINE OF THE DEQ/UEM CHEMICAL ENGINEERING COURSE – 1999/2007 PERIOD

Abstract: *The knowledge and application of the concepts involving the Chemical Industry Unit Operations are very important in future engineers' formation. Inside this context, this work presents the methodology that is followed in the evaluation of students' performance in the Unit Operations II discipline of the State University of Maringá Chemical Engineering course, in 1999-2007 scholar periods. The motivation for the proposed methodology is the importance of the unit operations concepts and the difficulty to evaluate students' scholarship, since the different unit operations discussed along the course are related to extensive calculations, associated to the search for information to the solution of the problems presented/proposed. This unit operations problems characteristic brings serious difficulties to propose deepened subjects, with bigger times of resolution, when evaluating the students in a conventional hand-written test. The students' evaluation methodology and a discussion of the results obtained until now are presented in this work.*

Key-words: *Unit operations, Evaluation, Evaluation methodology*