

Julgou ter atingido níveis mais altos de desempenho quanto aos objetivos previstos. Por outro lado, a apreciação dos planos de ensino elaborados ou reelaborados pelos professores revelou que os mesmos atingiram níveis satisfatórios de organização destes planos.

Como projeto de treinamento docente, o curso não pode ser ainda avaliado, por ter sido aplicado em apenas dois grupos. Porém, algumas melhorias já foram introduzidas em seu desenvolvimento; julgou-se necessário ampliar o tempo de assessoramento individual a elaboração de planos de ensino e dar um espaço maior ao relato de experiências locais após a avaliação da primeira experiência. Na segunda, foi muito valorizada pelos participantes a apresentação de micro-aulas de demonstração pelos próprios membros do grupo. Julgou-se necessário também, enriquecer mais os materiais do curso com exemplos de material de avaliação de ensino de Engenharia, (testes, listas de observação, escalas).

Concluindo pode-se dizer que, embora as disposições do plano de ensino do curso tenham se cumprido satisfatoriamente, considera-se a experiência ainda em desenvolvimento, devendo o curso ser repetido com grupos de outras regiões do país e com características organizacionais diferentes.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando os resultados do curso, pode-se concluir que é possível organizar e desenvolver um curso de metodologia de ensino de Engenharia desde que:

- O esquema de desenvolvimento do curso considere a natureza e a estrutura da área de Engenharia;
- Tenha como ponto focal a disciplina que o professor leciona e se reflita sobre a articulação da mesma com as demais disciplinas do currículo e sobre a orientação do currículo da Instituição;
- A programação inicie com o questionamento da posição do engenheiro na sociedade e das condições de formação que esta sociedade exige;
- Sejam examinadas metodologias já utilizadas em Engenharia e indicados novos empregos às metodologias utilizadas em outras áreas que sejam compatíveis com o ensino de Engenharia;
- Seja realizado um trabalho prático (o plano) em função da disciplina que o professor vai lecionar, o que também implica na conveniência do desenvolvimento do curso antes do período letivo;
- Favoreça-se a discussão dos problemas de ensino locais, tanto do curso quanto da Instituição, e estimule-se a comunicação de experiências de ensino locais pelos participantes;
- Haja apoio institucional à realização do curso de modo que os professores participantes possam introduzir mudanças efetivas no ensino.

Em vista dos resultados, acredita-se que um curso desta natureza possa contribuir para o desenvolvimento de capacitações docentes e para a melhoria do ensino de Engenharia. Enfatiza-se o aspecto de que esta experiência está em desenvolvimento pois, a cada nova aplicação, o esquema básico do curso sofrerá readaptações, assim como os materiais de ensino.

5. BIBLIOGRAFIA PRINCIPAL

- Bellack, Arno A. e Elam, Stanley, *La educación y la estructura del conocimiento*. Buenos Aires, El Ateneo, 1974.
- Buzdvgan, Goerge — *Moderne Methoden und Hiefsmittel der Ingenieurausbildung*. Technische Hochschule Darmstadt, 1978.
- King, Arthur R. — *The curriculum and the disciplines of knowledge*. New York, John Wiley e Sons Inc. 1976.
- MEC/DAU — *A nova concepção do ensino de engenharia no Brasil*. Brasil, 1977.

COMUNICAÇÕES

RECOMENDAÇÕES SOBRE O ENSINO DA MATÉRIA “FENÔMENOS DE TRANSPORTE”

Giovanni Brunello*
Marcius F. Giorgetti**
Carlos Alberto Gasparetto***

BRUNELLO, Giovanni e outros. Recomendações sobre o ensino da matéria “Fenômenos de Transporte”. *Rev. Ensino Eng.*, S. Paulo, Paulo, 2:49-53, 2ª sem. 1982.

Recomendações gerais são feitas sobre o ensino de “Fenômenos de Transporte” nas escolas de engenharia brasileiras, uma exigência curricular para todas as habilitações. Um programa detalhado é apresentado como modelo. São levantados importantes pontos relativos à qualificação do corpo docente e apresentadas algumas sugestões a órgãos ligados ao Ministério da Educação e Cultura, visando a preparação de recursos humanos.

Fenômenos de Transporte. Ensino. Estrutura curricular.

BRUNELLO, Giovanni and others. Recommendation for teaching “Transport Phenomena”. *Rev. Ensino Eng.*, S. Paulo, Paulo, 2:49-53, 2. sem. 1982.

General recommendation is presented for teaching “Transport Phenomena” in Schools of Engineering in Brazil, a curricular requirement for all engineering courses. A detailed program is offered as model. Important points concerning the desired qualification of teaching staff are made; suggestion is given for the implementation of staff training programs by departments of the Ministry of Education.

Transport Phenomena. Teaching. Curricular requirement.

1 – INTRODUÇÃO

Realizou-se em João Pessoa, PB, entre 26 e 28 de outubro de 1981, a III Reunião de Especialistas em Transporte de Calor e Massa, promovido pelo Comitê Brasileiro de Transferência de Calor e Massa e apoiada pela FAPESP, pelo CNPq e pela SESu/MEC. Em reunião anterior, realizada em Brasília, em 1980, por solicitação da Secretaria de Assuntos Universitários do MEC foi constituída uma comissão de especialistas com a tarefa de estudar o problema do ensino de Fenômenos de Transporte nas escolas de engenharia do país e elaborar recomendações visando ao seu aprimoramento; a comissão foi constituída por três membros, os três signatários deste comunicado. Seu trabalho foi submetido à apreciação e deliberação dos participantes da III Reunião de Especialistas, visando a obter contribuições e o valioso peso do seu endosso. Após grande número de discussões profícuas e construtivas e a introdução de diversas emendas, o texto que se segue foi votado e aprovado pelo plenário.

2 – RECOMENDAÇÕES GERAIS

Recomenda-se que o ensino da matéria Fenômenos de Transporte siga uma estrutura unificada, agrupando-se e tratando-se em paralelo os fenômenos que apresentam analogia física e formalismo matemático semelhante. Esse tratamento, além de evidenciar e enfatizar a fenomenologia dos mecanismos de transferência, economiza tempo, evitando as desnecessárias repetições que ocorrem quando da apresentação dos mesmos mecanismos em separado. A

* Depto. Engenharia Química, Escola Politécnica, USP

** Depto. de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, USP

*** Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, UNICAMP

analogia existente entre as transferências de Quantidade de Movimento, Calor e Massa é muito importante e deve ser explorada para facilitar a compreensão de cada mecanismo isoladamente, assim como da ocorrência simultânea de dois ou mais mecanismos diferentes de transferência.

Entende-se, porém, que devido à existência de motivos como a tradição, a estrutura local de ensino, a adequação do corpo docente, etc., muitas instituições se vêem com melhores condições de ensinar a matéria segundo uma estrutura diferente da preconizada acima. Nessas condições, a matéria tem sido coberta nos programas de disciplinas, como por exemplo, "Mecânica dos Fluidos", "Transferência de Calor", "Transferência de Massa", etc., porém, de forma tal que os Fenômenos de Transferência são apresentados em série e não em paralelo. É evidente que tais instituições não precisam modificar seu esquema de ensino para que sejam cumpridos os requisitos do currículo mínimo quanto à matéria Fenômenos de Transporte. Entretanto, mesmo enquanto nessas condições é recomendável que seja ressaltado o tratamento unificado e paralelo possível de ser dado aos tópicos que apresentam semelhança fenomenológica.

Independentemente da estrutura de ensino e do número de disciplinas utilizadas para cobrir a matéria, entende-se como de extrema necessidade a utilização de aulas práticas através das quais os alunos se convencerão da importância do procedimento experimental para o desenvolvimento dos diversos tópicos que compõem a matéria; além disso, os estudantes poderão comprovar e sedimentar aquilo que a teoria prevê ou descreve.

Outros recursos de grande interesse para o desenvolvimento satisfatório do ensino da matéria são uma bem fundamentada bibliografia e a utilização de recursos audio-visuais, principalmente filmes, que ilustram experiências de difícil realização em laboratórios didáticos pouco sofisticados.

Um outro ponto fundamental e de grande importância para despertar o interesse, motivar e desenvolver a confiança do aluno é a elaboração para apresentação durante o curso de número significativo de exemplos de aplicação da matéria Fenômenos de Transporte nas diferentes áreas da Engenharia. Nesse processo, é conveniente deixar bem evidente o encadeamento curricular a partir da matéria Fenômenos de Transporte nas diversas habilitações de engenharia oferecidas pela instituição.

3 – PROPOSTA DE INFRA-ESTRUTURA E ESTRUTURA PARA O ENSINO UNIFICADO DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE

3.1 Pré-requisitos

São considerados indispensáveis para o bom desenvolvimento do curso, os conhecimentos de:

- a) Matemática, abrangendo os tópicos:
 - Cálculo Diferencial e Integral.
 - Geometria Analítica e Cálculo Vetorial.
 - Cálculo Numérico.
 - Equações Diferenciais Ordinárias.
- b) Física, abrangendo os tópicos:
 - Mecânica Geral.
 - Fundamentos de Termodinâmica.

3.2 Estrutura do Curso

3.2.1 Introdução

- Transferência por Difusão e Advecção de:
- Quantidade de Movimento
 - Calor
 - Massa
- Unidades e Conceitos Fundamentais

Fenomenologia e Estrutura das Leis Básicas da Difusão:

$$\text{Fluxo} = \text{Difusividade} \times \text{Gradiente de Concentração}$$

[Efeito]	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Propriedade Física do Meio que (Portanto) Depende do Estado Termodinâmico</td> </tr> </table>	Propriedade Física do Meio que (Portanto) Depende do Estado Termodinâmico	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Característica do Campo de Concentrações e Causador do Efeito que é o Fluxo. Força Motriz. Potencial.</td> </tr> </table>	Característica do Campo de Concentrações e Causador do Efeito que é o Fluxo. Força Motriz. Potencial.
Propriedade Física do Meio que (Portanto) Depende do Estado Termodinâmico				
Característica do Campo de Concentrações e Causador do Efeito que é o Fluxo. Força Motriz. Potencial.				

3.2.2 Difusão de Calor e de Massa

Transferência de Calor por Condução

Propriedades Térmicas dos Meios Contínuos

Regime Permanente:

- Caso Unidimensional. Diferentes Geometrias.
- a) Com propriedades físicas constantes.
- b) Com propriedades físicas variáveis.
- Condições de Contorno
 - Com convecção. O Número de Nusselt.
 - Com radiação.
- Coeficiente Global de Troca de Calor.
- Opcionais: Casos bi e tridimensionais.
- Superfícies com protuberâncias: pinos, aletas.
- Sistemas com geração interna de energia: fontes e sumidouros.

Regime Não Permanente:

- Sistemas com Resistência Térmica Interna Desprezível.
- Sistemas com Resistência Térmica Interna Não Desprezível.
- Vantagem do Uso de Coeficientes Adimensionais.

Transferência de Massa por Difusão

Propriedades Físicas dos Meios Contínuos.

Regime Permanente:

- Difusão Equimolecular em Sistemas Binários.
- Analogia com os Casos de Transferência de Calor por Condução.
- Opcionais: Regime permanente: Analogias para Superfícies com Protuberâncias e para Sistemas com Geração Interna de Energia (Reações químicas com geração de massa).

Regime Não Permanente:

- Analogia com os Casos de Transferência de Calor por Condução.

3.2.3 Estática dos Fluidos

Equação Fundamental da Estática dos Fluidos.

Efeitos de Tensão Superficial.

Aplicação em Manometria.

Estes tópicos podem ser abordados junto com as atividades práticas.

Detalhes e aprofundamentos da estática dos fluidos podem ser deixados para outras disciplinas, por exemplo, Resistência dos Materiais, Hidráulica, Máquinas Hidráulicas, etc.

3.2.4 Difusão de Quantidade de Movimento nos escoamentos Laminares Isotérmicos.

Propriedades Físicas e Conceitos Fundamentais.

Efeito Dissipativo: Viscosidade e Cisalhamento.

Tipos de Resposta ao Cisalhamento: Fluidos Newtonianos e Não Newtonianos.

Efeito de uma Superfície Sólida: Conceito de Camada Limite.

Análise do escoamento em Situações Típicas Importantes:

- Distribuição de Velocidades, Distribuição de Tensões de Cisalhamento, Velocidade Média, Vazão, Coeficientes de Atrito, etc., em escoamentos internos estabelecidos.

- Camada Limite:
Placa Plana e Corpos Submersos; noções sobre transição e descolamento.
Dutos; região de entrada: transição da camada limite e estabelecimento dos escoamentos.
- 3.2.5 Formulação das Leis Básicas da Advecção de Massa, Energia e Quantidade de Movimento.
Sistemas e Volumes de Controle.
Formulação Integral das Leis Básicas (Balanços) para Volumes de Controle: Equação da Continuidade, Equação da Energia e Equação da Quantidade de Movimento.
Análise Simplificada dos Balanços Diferenciais.
Equação de Bernoulli e Equação da Energia Aplicadas para uma Linha de Corrente.
- 3.2.6 Análise Dimensional
Aplicação do Teorema de Buckingham a problemas de Mecânica dos Fluidos, ressaltando-se a vantajosa compactação dos artigos de informação.
- 3.2.7 Escoamentos Turbulentos Isotérmicos
Descrição da Turbulência.
Origem da Turbulência e Transição.
Principais Tratamentos dados à Turbulência.
Simplificações e Tratamento Prático.
Comprimento Médio de Mistura.
Distribuição de Velocidades num Escoamento Turbulento.

Escoamentos em Situações Típicas Importantes:
Distribuição de Velocidades, Distribuição das Tensões de Cisalhamento, Vazão, Velocidade Média, Coeficientes de Atrito, etc., em escoamentos internos estabelecidos.
Camada Limite:
Placa plana e Corpos Submersos; descolamento.
Dutos; região de entrada: estabelecimento dos escoamentos.
- 3.2.8 Transferência de Calor e de Massa por Convecção (Difusão + Advecção) em Escoamentos Laminares.
Conceito de Convecção. Coeficiente de Troca por Convecção: Coeficiente de Película.
Propriedades Físicas e Análise Dimensional.
Análise Exata do Problema de Convecção:
Análise Aproximada. Generalidades. Discussão de Resultados Típicos.
Analogias entre Transferência de Calor e Transferência de Quantidade de Movimento e entre Transferência de Massa e Transferência de Quantidade de Movimento.
Correlações Empíricas. Escoamentos Externos e Internos.
Transferência de Calor por Convecção Natural.
- 3.2.9 Transferência de Calor e de Massa por Convecção (Difusão Turbulenta + Advecção) em Escoamentos Turbulentos.
Análise Aproximada.
Analogias entre Transferência de Calor e Transferência de Quantidade de Movimento e entre Transferência de Massa e Transferência de Quantidade de Movimento.
Correlações Empíricas.
Transferência de Calor por Convecção Natural.
- 3.2.10 Radiação Térmica.
Natureza da Radiação.
Propriedades Físicas e Definições.

Corpos Negros e Corpos Cinzentos.
Opcional: Radiação em Gases.

- 3.2.11 Opcional:
Fenômenos Multifásicos: Cavitação, Ebulição, Condensação.

4. QUALIFICAÇÃO DO CORPO DOCENTE

É muito importante que o corpo docente encarregado do ensino da matéria "Fenômenos de Transporte" esteja qualificado para tal missão, pois, o sucesso do curso está em suas mãos. É natural esperar-se que muitos docentes não estejam ainda preparados para ensinar certos assuntos como por exemplo Transferência de Calor e Transferência de Massa, simplesmente porque, nunca foram submetidos a um treinamento que os adequasse à tarefa. No entanto, um curso rápido, ou mesmo um seminário de reciclagem poderia dar-lhes a formação e a confiança necessárias. Tais cursos precisam ser promovidos e amparados por órgãos competentes como a CAPES e SESu, que poderão utilizar-se da infra-estrutura da Associação Brasileira de Ensino de Engenharia - ABENGE, posta à disposição pela sua diretoria, e arregimentar recursos humanos e mesmo laboratórios didáticos de instituições que têm tradição no ensino de Fenômenos de Transporte para promover programas de treinamento de docentes.