



## UMA NOVA METODOLOGIA PARA O ENSINO DAS DISCIPLINAS DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE

**Ligia Damasceno Ferreira Marczak** - [ligia@enq.ufrgs.br](mailto:ligia@enq.ufrgs.br)

**Isabel Cristina Tessaro** - [isabel@enq.ufrgs.br](mailto:isabel@enq.ufrgs.br)

**Nilo Sérgio Medeiros Cardozo** - [nilo@enq.ufrgs.br](mailto:nilo@enq.ufrgs.br)

**Keiko Wada** - [keiko@enq.ufrgs.br](mailto:keiko@enq.ufrgs.br)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química  
Rua Luiz Englert s/n  
90040-040 - Porto Alegre, RS

**Resumo:** *O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma nova metodologia de ensino para as disciplinas de Fenômenos de Transporte que foi implantada no curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Nesta metodologia, a ordem de apresentação dos tópicos que englobam os processos de transferência de quantidade de movimento, calor e massa forma alterados de forma a melhorar o aprendizado dos alunos. Inicialmente, o aluno tem contato com os fenômenos de transporte das propriedades que, corriqueiramente, acontecem no dia a dia e cuja física são facilmente compreendidos, como a transferência difusiva de calor e massa. Somente após esta disciplina é que o aluno estuda transferência de quantidade de movimento, que é um conceito de mais difícil visualização e apresenta maior dificuldade de compreensão. Na última das três disciplinas, o aluno aprende os fenômenos da transferência convectiva de calor e massa. Com esta nova metodologia, espera-se diminuir tanto a reprovação quanto a evasão de alunos que ocorriam na fase em que as disciplinas de Fenômenos de Transporte eram ministradas.*

**Palavras-chaves:** *Ensino de transferência de quantidade de movimento, Ensino de fenômenos de transporte, Ensino de transferência de calor e massa*

### 1. INTRODUÇÃO

As disciplinas de Fenômenos de Transporte abrangem os tópicos de transferência de quantidade de movimento, calor e massa. Para os cursos de graduação em Engenharia Química, diferentemente do que ocorre em outras áreas da Engenharia (por exemplo, na Mecânica, na Metalúrgica, na Sanitária, entre outras), estas disciplinas são absolutamente fundamentais (e não apenas uma área de conhecimento), na medida em que abrangem conteúdos que serão utilizados na maioria das disciplinas subsequentes. Com efeito, não é possível imaginar o ensino das Operações Unitárias, do Cálculo de Reatores e da Simulação de Processos Químicos sem um bom entendimento das disciplinas de Fenômenos de Transporte.



Na grande maioria dos cursos de graduação em engenharia que possuem estas disciplinas na sua grade curricular (Química, de Alimentos, Mecânica, Metalúrgica, Sanitária, entre outras) os Fenômenos de Transporte são ministrados na seguinte seqüência: Transferência de Quantidade de Movimento (ou Mecânica dos Fluidos), Transferência de Calor e Transferência de Massa. Por outro lado, observa-se, em quase todos os cursos que utilizam esta seqüência, que as dificuldades de compreensão do conteúdo por parte dos alunos e o índice de reprovação são bem maiores em Mecânica dos Fluidos que nas disciplinas de Transferência de Calor e Transferência de Massa.

Como o curso de Engenharia Química da UFRGS também encontra-se inserido neste panorama, o desenvolvimento de estratégias que venham a alterar esta situação tem sido uma das preocupações do grupo de professores que atuam na área de Fenômenos de Transporte. Portanto, os objetivos deste trabalho são discutir aqueles aspectos que foram identificados como os mais críticos para o aprendizado de Mecânica dos Fluidos e apresentar uma nova metodologia de ensino para as disciplinas de Fenômenos de Transporte, que baseia-se em um conjunto de medidas destinadas a evitar ou diminuir os efeitos das dificuldades que serão discutidas.

## **2. CURRÍCULOS ATUAIS**

No Brasil, os cursos tradicionais de Engenharia Química (e que acabam ditando os currículos para os demais cursos), onde podem ser citados os cursos da Unicamp, da USP, da Escola de Química da UFRJ, da UFSCar, do IME, entre outros, apresentam na grade curricular as disciplinas de Fenômenos de Transporte na seguinte ordem: Transferência de Quantidade de Movimento, Transferência de Calor e Transferência de Massa. Esta ordem é a mesma dos tradicionais e pioneiros cursos de Engenharia Química dos Estados Unidos, tais como o do MIT (Massachusetts Institute of Technology), o da Universidade da Califórnia, o da Universidade de Minnesota, apenas para citar alguns. As páginas na *internet* de onde foram retirados os currículos estão apresentadas nas referências bibliográficas.

Neste esquema, os tópicos de transferência de calor e transferência de massa são estudados separadamente, sendo que em cada uma das respectivas disciplinas são abordadas tanto a transferência por difusão quanto a transferência por convecção. Este último tópico somente pode ser ensinado com o prévio conhecimento da disciplina de transferência de quantidade de movimento, pois a troca convectiva envolve o escoamento de fluidos sobre uma superfície sólida. Acredita-se que esta seja uma das razões pela qual a ordem de apresentação das disciplinas de Fenômenos de Transporte seja na seqüência descrita anteriormente.

## **3. DIFICULDADES ENCONTRADAS NO APRENDIZADO DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE**

Como foi mencionado anteriormente, uma das maiores preocupações do grupo de professores que atuam na área de Fenômenos de Transporte na Engenharia Química da UFRGS tem sido identificar todos os possíveis motivos para os problemas de aprendizado encontrados pelos alunos nestas disciplinas, principalmente no tocante à Mecânica dos Fluidos. Assim, a partir das experiências de cada docente do grupo e dos relatos de alguns de nossos alunos que cursaram estas disciplinas nos últimos anos, foram constatadas algumas dificuldades encontradas pelos alunos durante o aprendizado das três disciplinas de Fenômenos de Transporte. Estas dificuldades serão apresentadas e discutidas a seguir.

- i) Falta de hábito dos alunos em pensar na relação teoria/prática: a grande maioria dos alunos não se preocupa e/ou não é adequadamente motivada, durante o ciclo básico, em tentar associar os conceitos aprendidos nas diferentes disciplinas com problemas físicos específicos, sejam estes do seu dia-a-dia ou problemas típicos de Engenharia Química. No que se refere especificamente a problemas de Fenômenos de Transporte, esta situação é ainda mais agravada pelo fato que grande parte dos alunos não possui experiência prévia em termos de visualização de um processo químico em funcionamento. Assim sendo, até chegarem às disciplinas de Fenômenos de Transporte, grande parte dos alunos jamais pensou na diferença entre equipamentos comuns, tais como, bombas, compressores, turbinas, etc., ou na ordem de magnitude dos valores típicos de potência para motores comuns utilizados no seu dia a dia (geladeira, ventilador, aquecedor, entre outros).
- ii) Interpretação física e/ou compreensão clara do significado de alguns operadores e grandezas matemáticas: a grande maioria dos operadores e grandezas matemáticas possuem interpretação física direta e significado bastante claro. No entanto, em função das dificuldades mencionadas no item anterior e/ou do enfoque utilizado nas disciplinas do ciclo básico, muitas vezes os alunos aprendem a trabalhar com os procedimentos de cálculo relacionados a estes operadores e grandezas, porém sem dedicar a devida atenção ao seu significado real. Este tipo de problema acontece frequentemente, por exemplo, com os operadores diferenciais e com as análises vetorial e tensorial.
- iii) Dificuldades tanto na identificação de qual método matemático deve ser utilizado na resolução de um problema específico como na utilização destes métodos: muitas vezes, o tempo decorrido entre o aprendizado de um método matemático e a necessidade real de seu uso em aplicações práticas cria dois problemas de grande relevância. O primeiro consiste na falta de motivação do aluno para o aprendizado nas disciplinas básicas de matemática e o segundo é que, ao chegar o momento da utilização destes métodos, muitos detalhes de sua utilização já foram esquecidos pelos alunos. No presente caso, este tipo de dificuldade foi identificado com relação aos conteúdos da disciplina de Equações Diferenciais. Na atual estrutura curricular do curso de Engenharia Química da UFRGS esta disciplina está localizada no terceiro semestre e sua aplicação em problemas de engenharia somente começa a ser vista a partir do quinto semestre. Este problema se torna mais grave no sexto semestre quando são oferecidas as disciplinas cujos tópicos envolvem a transferência de calor e massa, onde a resolução de equações diferenciais é bastante exigida. Assim, esta disposição faz com que o aluno, ao cursar as disciplinas de Fenômenos de Transporte, já tenha esquecido os métodos de resolução de equações diferenciais.
- iv) Dificuldade de compreensão do conceito de fluxo de quantidade de movimento na primeira disciplina: a propriedade quantidade de movimento é um vetor que representa o produto da massa pela velocidade do fluido. A grande maioria dos alunos traz este conceito bem fundamentado da sua formação do ensino médio. No entanto, a compreensão do conceito de fluxo de quantidade de movimento, da sua importância em problemas de escoamento e a relação deste com as forças que atuam sobre um elemento de fluido, é um conceito de difícil compreensão pelos alunos. Esta dificuldade deve-se a vários aspectos, como, por exemplo, a dificuldade de visualização desta grandeza e a sua natureza tensorial. Sem dúvida, é difícil para o aluno compreender que, quando um



fluido escoar em um tubo (por exemplo, o tubo que dá acesso à torneira de casa) o que, na realidade, está ocorrendo é uma transferência de quantidade de movimento de regiões onde sua concentração é maior para regiões onde sua concentração é menor

Todas estas dificuldades acabam por desestimular o aluno e, como resultado, tem-se um alto grau de repetência (por vezes, até mais de uma vez) e, em casos mais extremos, a evasão escolar.

#### **4. METODOLOGIA PROPOSTA**

Com base nas dificuldades descritas anteriormente, foi realizado um rearranjo dos conteúdos das disciplinas de Fenômenos de Transporte, e uma alteração da ordem de aparecimento destes na grade curricular do curso de Engenharia Química da UFRGS.

Foi criada a disciplina de Transferência de Calor e Massa I, aconselhada para o quarto semestre, e que aborda temas relacionados exclusivamente aos processos de difusão de calor e massa. Estes processos de transferência são corriqueiros e, desta forma, facilmente compreendidos pelos alunos. Com efeito, é extremamente simples ao aluno compreender que as propriedades energia, na forma de calor, e massa são transferidas de regiões de maior concentração para regiões de menor concentração. Vale salientar que estes conceitos não requerem conhecimentos prévios da transferência de quantidade de movimento, justificando a posição desta disciplina na grade curricular.

Um outro aspecto bastante importante referente à disciplina de Transferência de Calor e Massa I é o fato dela trabalhar com a resolução de equações diferenciais ordinárias e parciais e de estar posicionada no semestre seguinte à disciplina de Equações Diferenciais. Desta forma, o aluno utiliza as ferramentas matemáticas que acabou de aprender na resolução de problemas de engenharia, colocando-o frente a frente com a aplicação da teoria (especialmente a matemática) na prática, visão esta tão desejada pelos alunos. Na disposição antiga, os tópicos de difusão de calor e massa eram vistos no sexto semestre e os alunos tinham muitas dificuldades matemáticas que eram justificadas pelo tempo que separava a disciplina de Equações Diferenciais de sua aplicação.

No quinto semestre os alunos cursam a disciplina de Transferência de Quantidade de Movimento, que permanece a mesma disciplina de Fenômenos de Transporte I do currículo antigo, apenas com outra denominação.

Na seqüência, ou seja, no sexto semestre, os alunos podem cursar a disciplina de Transferência de Calor e Massa II, cujos tópicos são a transferência de calor e massa convectiva (que requerem o conhecimento da transferência de quantidade de movimento) e a radiação térmica. Um outro fato interessante e que pôde ser explorado com este novo ordenamento, é que as grandes similaridades entre os processos de transferência convectiva de calor e massa podem ser exploradas de uma maneira mais eficiente. Na situação antiga, estes tópicos eram abordados em duas disciplinas diferentes o que ocasionava uma repetição de conteúdos.

Vale salientar que a carga horária total para as disciplinas de Fenômenos de Transporte não foi alterada, havendo apenas a mudança de ordem dos tópicos. No currículo antigo, as disciplinas de Fenômenos de Transporte I, II e III tinham carga horária de 4, 5 e 3 créditos (1 crédito é equivalente a 15 horas/aula), respectivamente; no currículo atual, as disciplinas de Transferência de Calor e Massa I, Transferência de Quantidade de Movimento e Transferência de Calor e Massa II têm 5, 4 e 3 créditos, respectivamente.



É importante mencionar que o ensino das disciplinas de Fenômenos de Transporte, devido à sua importância, por diversas vezes foi o tópico central das discussões em grupos de trabalho do tradicional ENBEQ - Encontro Brasileiro sobre Ensino de Engenharia Química, um encontro bianual (iniciado em 1985) que reúne docentes dos cursos de Engenharia Química para discussão de tópicos relacionados exclusivamente ao ensino de Engenharia Química. Nestes grupos de trabalho, não foi dada ênfase à ordem de apresentação dos tópicos destas disciplinas e, desta forma, acredita-se que a mudança proposta neste trabalho tenha um caráter absolutamente inovador.

Por outro lado, além da mudança de ordem de apresentação dos conteúdos de Fenômenos de Transporte, cujos benefícios esperados foram discutidos acima, também têm sido realizadas outras ações no sentido de fazer que o aluno seja chamado a pensar em problemas de Engenharia Química já nas etapas iniciais do curso. Um passo importante neste sentido foi o desenvolvimento, aplicação e análise do efeito da utilização de material didático específico para a disciplina de Equações Diferenciais. Este material consiste de uma apostila contendo, para cada um dos métodos de resolução de equações estudados nesta disciplina, exemplos de problemas de Engenharia Química que recaem em equações diferenciais que requerem o uso dos referidos métodos, conforme discutido por Muniz *et al* (1999). Uma outra proposta de mudança neste sentido é a antecipação para o terceiro semestre da disciplina Introdução aos Processos da Indústria Química que aborda, de maneira geral, diversos processos da indústria química com seus respectivos balanços globais de massa e energia. Esta disciplina originalmente era oferecida no quinto semestre juntamente com a primeira disciplina de Fenômenos de Transporte. Com esta nova disposição, os alunos ficam apenas um semestre (o segundo) sem cursar disciplinas específicas do curso de Engenharia Química, já que no primeiro semestre existe a disciplina de Introdução à Engenharia Química.

Um fluxograma mostrando as disciplinas rearranjadas com esta metodologia nos currículos antigo e atual está mostrado na Fig. 1. Neste fluxograma, as setas indicam pré-requisitos.

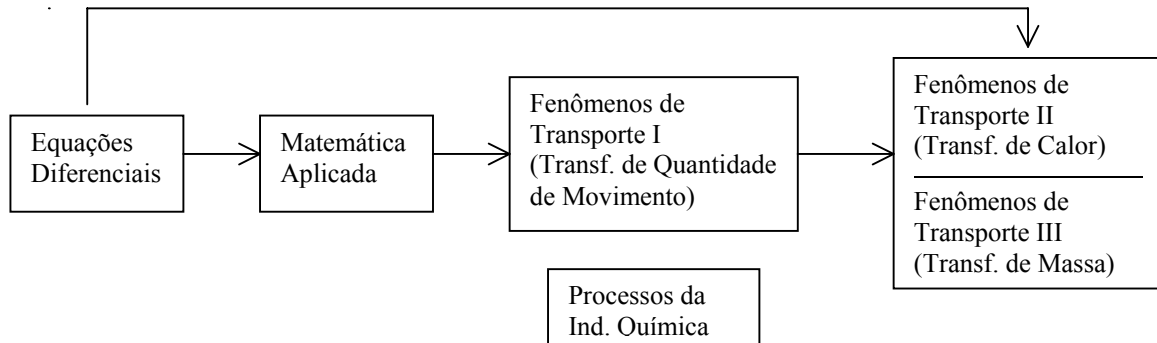
3º Sem.

4º Sem.

5º Sem.

6º Sem.

Currículo Antigo



Currículo Atual

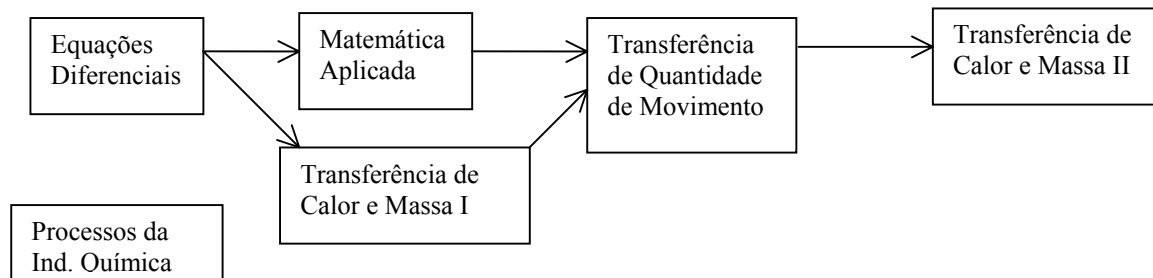


Fig.1: Fluxograma dos currículos antigo e atual.

**5. CONCLUSÕES**

O presente trabalho apresentou uma nova metodologia de ensino para as disciplinas de Fenômenos de Transporte que foi recentemente implementada no curso de Engenharia Química da UFRGS. A essência desta metodologia está na mudança de ordem de apresentação dos conteúdos; inicialmente, o aluno tem contato com tópicos de fácil entendimento referentes à difusão de calor e massa e, somente na segunda disciplina, ele estudará a transferência de quantidade de movimento. Na seqüência, estuda-se a transferência convectiva de calor e massa. Além desta mudança, foram tomadas outras medidas no sentido de fazer com que o aluno tenha contato com problemas de Engenharia Química em etapas mais iniciais do curso. Acredita-se estas modificações possam contribuir efetivamente para motivar os alunos e, assim, diminuir tanto a repetência quanto a evasão escolar.

A continuação deste trabalho envolverá o acompanhamento detalhado do rendimento dos alunos nas disciplinas de Fenômenos de Transporte após a implementação das alterações propostas nestes trabalho.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MUNIZ, A.R., VARRIALE, M.C., HOLZ, N., CARDOZO, N.S.M, SECCHI, A.R. Metodologia para o Ensino de Equações Diferenciais no Curso de Engenharia Química. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia - COBENGE, 2001, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: PUCRS, 2001.

<http://www.feq.unicamp.br/graduacao>

<http://www.sr1.ufrj.br/cursos/gradecurricular>

<http://www.deq.ufscar.br/graduacao.html>

[http://www.poli.usp.br/Ensino/Graduacao\\_Semestral](http://www.poli.usp.br/Ensino/Graduacao_Semestral)

<http://www.ime.eb.br/~webde5/>

<http://www.mit.edu/afs/athena/org/c/cheme/undergraduate/requirements.html>

<http://www.catalogs.umn.edu/ug/it/it04.html>

[http://chemistry.berkeley.edu/stud\\_info/course\\_info/cheme\\_classes.htm](http://chemistry.berkeley.edu/stud_info/course_info/cheme_classes.htm)

## A NEW TEACHING METHODOLOGY FOR TRANSPORT PHENOMENA COURSES

**Resumo:** *This work presents a new teaching methodology for the transport phenomena courses which has been adopted in the undergraduate course of Chemical Engineering at UFRGS. In this methodology, the presentation order of the topics which comprises the momentum, heat and mass processes are changed in order to improve the student's learning. At the beginning, the student is introduced to the transfer processes which are commonly observed in day after day activities and such physics are very easily understood, namely the diffusion of heat and mass transfer. Only after this course, the student learns momentum transfer, a more difficult visualization concept. In the last course, the student learns the convective heat and mass transfer. With this new methodology, it is expected to reduce both failure and dropping out during the period these courses are taken.*

**Key-words:** *momentum transfer teaching, transport phenomena teaching, heat and mass transfer teaching*