

A IMPORTÂNCIA DA REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS NA FORMAÇÃO DE UM ENGENHEIRO AUTÔNOMO

Míriam Tvrzská de Gouvêa – miriamtg_br@yahoo.com

Esleide Lopes Casella – ecasella@uol.com.br

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Departamento de Engenharia de Materiais

R. da Consolação, 896, prédio 06

CEP 01302-907 - São Paulo- SP

Regina Maria Matos Jorge - rjorge@ufpr.br

Universidade Federal do Paraná

Departamento de Engenharia Química

Centro Politécnico - Jardim das Américas

CEP 81531-990- Curitiba - PR

Resumo: *A rápida obsolescência de algumas tecnologias, as quais são substituídas por numerosas novas tecnologias, requer que a formação do engenheiro vise à sua autonomia educacional. Desta forma, o planejamento da prática docente deve almejar a aprendizagem significativa dos conteúdos conceituais e procedimentais pelos alunos. A utilização da informática e da internet tornou-se uma prática constante, mas em contrapartida não se tem discutido o real significado dos conceitos que estas ferramentas proporcionam aos alunos. Já a realização de experimentos em aula, a partir dos quais uma teoria científica possa ser construída pelos alunos não apenas possibilita a atribuição de significados, mas constitui uma forma bastante eficaz para a acomodação de novos conceitos, em substituição aos conhecimentos prévios dos alunos. Neste artigo, reportamos as experiências conduzidas nas aulas de teoria das disciplinas de Fenômenos de Transporte. Mostramos a importância de sua realização não como uma forma de comprovação de uma teoria científica, mas principalmente como um meio de propiciar um conflito conceitual nos alunos a partir do qual estes são conduzidos à elaboração de uma teoria científica plausível, passível de acomodação. Mostramos que a construção de teorias científicas e de modelos matemáticos pelos alunos a partir de sua metódica observação de um fenômeno físico real permite que estes se apercebam de que são capazes de chegar por eles mesmos a um paradigma científico vigente e que distingam as teorias científicas e os modelos matemáticos da realidade. Esta prática contribui para capacita-los a exercerem seu papel de engenheiros no desenvolvimento tecnológico brasileiro.*

Palavras-chave: *Experimentos, Conceito científico, Fenômenos de transporte, Construtivismo, Mudança Conceitual.*

1. INTRODUÇÃO – A NECESSIDADE POR BUSCA DE PRÁTICAS DOCENTES QUE VISEM À AUTONOMIA EDUCACIONAL

O engenheiro do século XXI deve estar apto não apenas a aprender e dominar rapidamente novas tecnologias como também deve ser capaz de criá-las. A obsolescência de técnicas aprendidas durante a sua formação universitária, requer que o engenheiro se torne autodidata.

Assim, o primordial objetivo educacional dos cursos de engenharia deve ser o da formação de engenheiros autônomos. A demanda por engenheiros autônomos é ainda mais mandatária nos países em desenvolvimento, uma vez que a história da civilização mostra que o domínio e a capacidade de criação de novas de tecnologias são condições necessárias para a independência de uma nação (MCCLELLAN III e DORN, 1999).

É consenso que a habilidade de criar novas tecnologias requer o domínio dos conhecimentos científicos e a capacidade de interpretar e significar as leis científicas vigentes e eventualmente de postular novas. Ser autônomo nas palavras de Piaget é se autogovernar. Assim, o engenheiro deve desde cedo ser conduzido a pensar por si, a construir teorias científicas e a fundamentar a sua conduta profissional. Assim, também deve ser a prática docente. Esta deve ser direcionada para a elaboração de propostas educacionais inovadoras amparadas na ciência da pedagogia. O clamor por esta conduta pedagógica científica é cada vez mais presente no ensino universitário na área das ciências exatas (DE JONG, 1996) e resultados de aprendizagem promissores são citados quando da realização de um planejamento pedagógico pautado na ciência da pedagogia.

O século XX testemunhou uma verdadeira revolução pedagógica e propostas de condutas docentes no ensino médio e fundamental embasadas em teorias pedagógicas visando à autonomia educacional são bastante conhecidas e discutidas mundialmente. A idéia de que conhecimento é passível de transmissão não é mais aceita (FREIRE, 2002). Sabe-se hoje que a participação ativa do aluno no processo de ensino e aprendizagem é fundamental.

Embora a importância da experimentação para a promoção de uma atitude ativa do discente no processo de aprendizagem é desde há muito reconhecida, os experimentos continuam sendo realizados segundo os ditames da Escola Tradicional. Isto ocorre não apenas no Ensino Médio, mas também e principalmente no Ensino Universitário. A realidade que predomina é a da realização de experimentos necessariamente em laboratórios com o intuito da comprovação das teorias científicas previamente apresentadas e depositadas nos alunos, teorias estas que muitas vezes sequer são plausíveis para os alunos. Propostas do uso do laboratório como um instrumento em que um problema é proposto aos alunos o qual deve ser por eles solucionado a partir das teorias desenvolvidas em aula vem sendo conduzidas há algum tempo. O engajamento dos alunos é muito grande e depoimentos por parte dos alunos que só neste momento em que participam ativamente e com liberdade de um projeto é que descobrem os conhecimentos de que supostamente deveriam ter se apropriado. Assim, acreditamos que as teorias científicas não deveriam ser simplesmente apresentadas aos alunos, mas que estes deveriam participar de sua reconstrução.

Neste trabalho, discutimos a realização de experimentos simples em sala de aula ou no laboratório, a partir dos quais os alunos são conduzidos ao desenvolvimento de uma teoria científica. A escolha de experimentos que criem um conflito conceitual nos alunos de modo que estes não possam fazer uso de seus conhecimentos prévios para explicar o fenômeno observado, deve ser preferida. Esta seleção, contudo, nem sempre é simples. Com a realização da experiência, os alunos são levados através da conduta docente de um tutor socrático à construção de uma teoria científica. Os alunos devem relatar com precisão os fenômenos observados e são indagados até que uma teoria científica plausível seja por eles construída. A indagação prossegue até o estabelecimento por parte dos alunos dos atuais paradigmas científicos.

A discussão apresentada neste trabalho reflete a nossa conduta docente nas disciplinas de Fenômenos de Transporte I e II e Fenômenos Experimental II. A realização de experimentos simples em sala de aula como meio de construção de teorias científicas já é praticada na Universidade Presbiteriana Mackenzie nos cursos de engenharia elétrica e de materiais há quatro semestres. Na Universidade Federal do Paraná no curso de engenharia química, em virtude da importância da utilização de experimentos no ensino de Fenômenos de Transportes II, o currículo é contemplado com duas disciplinas uma teórica e a outra experimental que ocorrem concomitantemente durante o semestre. Os experimentos ganharam espaço no

laboratório onde os alunos são instigados a não terem uma atitude passiva em relação a eles. Em ambas Universidades, observamos ao longo do curso do semestre letivo que os alunos conseguem solucionar problemas difíceis e inéditos, além de sentirem maior facilidade quando são introduzidos a novos assuntos. Iniciamos ainda um monitoramento do nível de retroanalfabetismo^(segundo pedagogo francês Jean Vial retroanalfabetismo é o esquecimento de assuntos vistos em disciplinas nas quais se obteve aprovação) por parte dos alunos e temos constatado uma sensível melhoria nos alunos que aprenderam a observar cientificamente e a desenvolver uma teoria científica.

No item 2, efetuamos uma breve discussão dos aspectos da Teoria do Construtivismo e da Mudança Conceitual que embasam a nossa conduta docente. No item 3, discutimos propostas de experimentos simples a serem conduzidos em sala de aula ou no laboratório com o intuito de se construir uma teoria científica e provocar uma acomodação de novos conceitos científicos nos alunos. Finalmente, no item 4, concluímos o trabalho.

2. ASPECTOS DAS TEORIAS DO CONSTRUTIVISMO E DA MUDANÇA CONCEITUAL – UMA PROPOSTA DE PLANEJAMENTO DA PRÁTICA DOCENTE

Segundo a concepção construtivista (COLL et al., 1996), a aprendizagem é uma construção pessoal que o aluno realiza a partir de seus conhecimentos prévios com a ajuda de outro, sendo que o aluno deve estar interessado e ter disponibilidade para a aprendizagem^(e.g. suas necessidades básicas devem estar supridas). Assim, a universidade deve ser responsável pela introdução de elementos novos na vida dos estudantes e o papel docente deve ser centrado na criação de situações em que ocorra a criação de zonas de desenvolvimento proximal^(Segundo Vygotsky a zona de desenvolvimento proximal é a distância entre aquilo que o aluno é capaz de realizar sozinho e que realiza com a colaboração de outros). O aluno coloca então em “movimento vários processos de desenvolvimento que, sem a ajuda externa, seriam impossíveis de ocorrer. Esses processos se internalizam e passam a fazer parte das aquisições do seu desenvolvimento individual” (REGO, 1998), aquisições estas chamadas de níveis de desenvolvimento real. Para que o docente possa melhor programar as suas atitudes docentes é importante que ele saiba como se dá a transformação das zonas de desenvolvimento proximal para os níveis de desenvolvimento real. POSNER et al. (1982) contribuem neste sentido com a Teoria da Mudança Conceitual. Os estudantes quando deparados com um novo fenômeno tentam usar seus conceitos prévios para explicar o fato novo, o que corresponde à primeira fase da mudança conceitual, chamada de assimilação. Contudo, estes conceitos muitas vezes são inadequados para explicar com êxito o novo fenômeno. Então o estudante deve substituir e reorganizar os seus conceitos centrais, a que se chama de acomodação. Esta forma de pensar o processo de aprendizagem está ligada à interpretação dada pela filosofia da ciência às mudanças dos paradigmas científicos ao longo da história da civilização. Para a acomodação de novos conceitos, as seguintes fases devem ocorrer no processo de aprendizagem:

- *Deve haver insatisfação com as concepções existentes:* para tanto deve ocorrer o contato do aluno com alguma situação, a qual ele não pode explicar a partir de seus conhecimentos prévios. Esta situação pode ser criada a partir da propositura de um problema ou a partir da realização de uma experiência.
- *Uma nova concepção deve ser inteligível e plausível:* recomenda-se que o aluno seja inquirido de forma que ele participe ativamente da construção de uma nova teoria, a qual além de plausível deve fazer sentido para ele. O papel dos conhecimentos prévios é fundamental nesta etapa, porque é a partir deles que o estudante poderá reorganizar os seus esquemas de conhecimento e atribuir significados à nova teoria em construção. A substituição de velhas concepções pelas novas nem sempre é imediata a não ser quando uma situação ocorra que rechace de forma definitiva os conceitos prévios^(teoria da falsificação de Popper) ou em momentos de crise quando segundo Kuhn pode ocorrer uma abrupta mudança de paradigmas. Contudo, segundo a visão de Lakatos há resistência à substituição de novos conceitos pelos velhos e estes últimos devem trazer insatisfação e os novos

conhecimentos vantagens. Haverá ainda, segundo Toulmin, uma fase em que os novos conceitos coexistirão com os velhos (MELLADO, 1993).

- *Um novo conceito deve poder ser aplicado a novas situações*: à medida que os conceitos novos forem significativos e puderem ser usados para resolver novas situações farão parte do nível de desenvolvimento real do estudante.

Em função da discussão apresentada, pode-se perceber a importância da realização de experimentos como um meio de promoção da acomodação conceitual dos alunos. Contudo a programação do experimento deve ser compatível com a proposta construtivista e de acomodação conceitual. O experimento deve promover uma situação de incômodo conceitual no sentido de que os conceitos existentes sejam insuficientes para explicar o fenômeno em análise. O experimento deve ser suficientemente simples de forma que possa ser interpretado pelo estudante e que seja significativo para ele. A interpretação do experimento pelo aluno pode ser feita a partir da inquirição do docente. O papel desta argüição é o de a partir dos conceitos prévios dos alunos, utilizá-los, substituí-los ou reinterpretá-los para a criação de novos conceitos, traduzidos na construção de uma nova teoria científica pelos alunos. Ou seja, destaca-se a participação ativa durante toda a etapa de construção do novo conceito. Finalmente, postulada uma nova teoria científica, esta deve ser aplicada pelo aluno a outras situações. Esta última etapa é importante. A não aplicação freqüente por parte do aluno do novo conceito a situações diversas nos momentos iniciais de sua aprendizagem, poderá levar o estudante a continuar a usar seus velhos conceitos, pela resistência aos novos conceitos intrínseca ao ser humano.

Cabe destacar um outro ponto importante da óptica construtivista, aquela que se refere à divisão dos conteúdos a serem ensinados em conteúdos conceituais, factuais, procedimentais e atitudinais (COLL, 1996), os quais devem ser trabalhados em conjunto. Espera-se que a aprendizagem de conceitos seja favorecida quando um experimento é realizado com vistas ao estabelecimento de um novo conceito, uma vez que as conclusões devem ser elaboradas pelos alunos a partir de suas observações, sendo desenvolvidas habilidades cognitivas além do conhecimento específico. As aprendizagens relacionadas a conceitos, procedimentos e atitudes também devem ser favorecidas, pois os alunos têm que propor um procedimento e devem estar envolvidos com a obtenção dos dados uma vez que deverão analisá-los.

Em suma discutimos neste item algumas teorias pedagógicas que alicerçam a proposta deste trabalho para a prática docente nas aulas de teoria, a qual sintetizamos a seguir:

- *Atividade de preparação da aula*: criação ou seleção de uma experiência simples, a qual deve preferencialmente criar um conflito conceitual no aluno ou destacar um fenômeno que precisará ser examinado de uma forma inédita pelo aluno. Dependendo do assunto a ser desenvolvido o docente poderá preparar um questionário para auferir os conhecimentos prévios dos alunos ou adicionalmente efetuar um levantamento de textos históricos relacionados ao assunto em desenvolvimento os quais devem ser lidos previamente pelos alunos. Ainda, na etapa de planejamento da aula, o professor deve pensar nas perguntas que deverá fazer aos alunos e nas possíveis explicações e respostas que poderão ser levantadas pelos alunos.
- *Construindo a teoria a partir do experimento*: dependendo do assunto, o professor poderá iniciar a aula comentando sobre o procedimento experimental que irá realizar e perguntar aos alunos o que eles esperam que aconteça. Isto é particularmente importante nos experimentos que levarão a um grande conflito conceitual nos alunos e em que se deseja que eles tomem consciência da alteração de seu modo de pensar. Alternativamente, o professor poderá apenas solicitar a atenção a um experimento. Em seguida, o professor realiza o experimento ou pode pedir que um ou mais alunos o façam e inicia-se a fase da argüição dos alunos até que a teoria científica seja construída. É importante que os alunos participem de todo o processo. Quando equações matemáticas devem ser deduzidas é particularmente importante que os alunos percebam a importância de cada passagem algébrica no procedimento de dedução.

- *Atividade de aplicação dos novos conceitos*: desenvolvida a teoria, o professor deverá elaborar uma série de problemas os quais necessariamente são resolvidos a partir dos novos conceitos. Ao longo de todo o curso, o professor deverá inquirir os seus alunos a respeito de como eles explicam fenômenos para verificar se os alunos estão usando os novos conceitos e em que medida eles continuam usando os conceitos anteriores.

3. OS EXPERIMENTOS EM SALA DE AULA – CRIAÇÃO DE ZONAS DE CONFLITO E DESENVOLVIMENTO DA HABILIDADE DE OBSERVAÇÃO CIENTÍFICA

Neste item iremos descrever e discutir a relevância de algumas experiências realizadas em sala de aula e em laboratório nas disciplinas de Fenômenos de Transporte I e II e Fenômenos Experimental II as quais ensejam o desenvolvimento de uma teoria científica. Na disciplina Fenômenos de Transporte I, estudam-se as leis de conservação de massa, energia e quantidade de movimento e utilizam-se estas para o estudo do comportamento de fluidos. Na disciplina Fenômenos de Transporte II, estuda-se o comportamento da energia. Nos cursos de engenharia química e engenharia de materiais, ainda aparece a disciplina fenômenos de transporte III, que trata do transporte de massa (a massa está relacionada às espécies químicas constituintes da matéria em estudo). Para a discussão que segue é conveniente ressaltarmos que o mote principal das disciplinas de fenômenos de transporte é fazer com que os alunos sofram uma ruptura no seu modo de pensar do senso comum e passem a interpretar os fenômenos segundo os preceitos da Ciência de Fenômenos, a qual prega que a descrição de qualquer fenômeno da natureza se inicia com a caracterização de três grandezas físicas (massa, energia e quantidade de movimento) que se conservam segundo a seguinte equação geral:

$$\text{ACÚMULO} = \text{ENTRA} - \text{SAI} + \text{GERADO} \quad (1)$$

Os propósitos das experiências aqui discutidas são apresentados em seguida, com os materiais necessários para a sua realização:

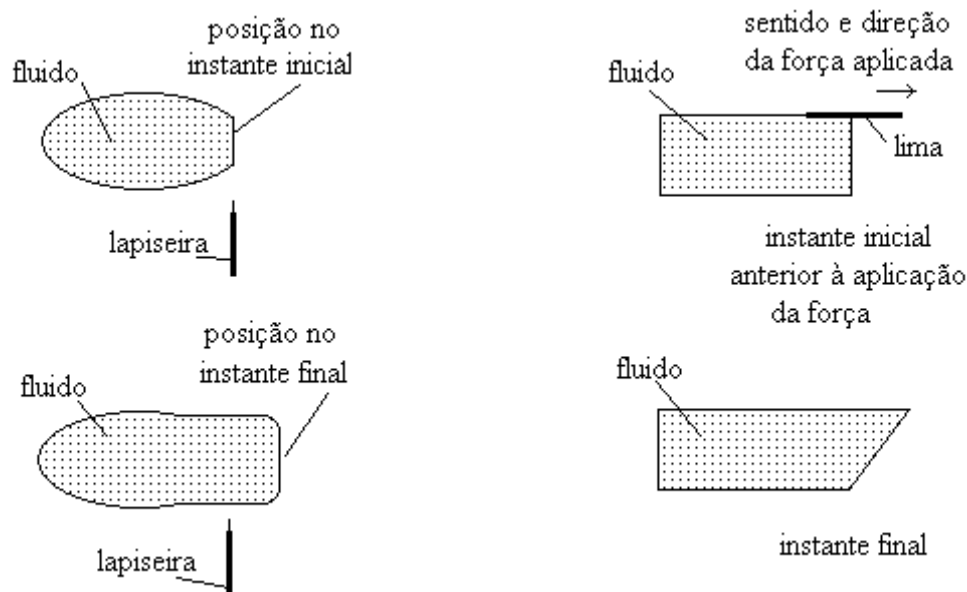
- **Construir o conceito de fluidos**: duas experiências são realizadas, para as quais, por exemplo, os seguintes reagentes e materiais são necessários: sal ou açúcar granulado, açúcar em cubos, caixa de fósforos ou borracha, água, pasta de dentes ou creme hidratante, ar, saco plástico, lima ou lixa ou espátula ou qualquer outra superfície plana, retroprojektor, saco plástico transparente, e uma superfície plana.
- **Construir o conceito de volume de controle e da lei de conservação**: uma experiência é realizada, para a qual, necessita-se de uma bolinha de pingue-pongue, de um copo e de uma garrafa transparentes e de água (corante pode ser adicionado à água para uma melhor visualização).
- **Construir o conceito de radiação**: uma experiência em sala de aula é descrita, para a qual são necessários uma vela, fósforo ou isqueiro e uma pasta ou papel opaco.
- **Construir o conceito de convecção natural**: uma experiência realizada em laboratório é descrita. Para esta experiência são necessários: um termômetro, uma placa de gelo, uma caixa de papelão provida de uma calha instalada com uma pequena inclinação na sua base.

3.1 Construindo o conceito de fluidos

A definição acadêmica de fluidos não é facilmente digerida. Aparece em livros universitários como “*fluidos são corpos que não resistem à aplicação de uma tensão cisalhante, sofrendo deformação angular*”. Esta definição está fortemente atrelada a uma visão matemática da ciência. Uma prática docente freqüentemente seguida e sugerida nos livros para a construção do conceito de fluidos é pautada na argüição dos conhecimentos

prévios dos alunos. Pergunta-se o que são fluidos e que exemplos os alunos sabem dar de fluidos. As respostas são do tipo “fluidos fluem” e exemplos são água, óleo, leite. Os alunos não sabem se leite e água se comportam de forma similar. Quando perguntamos se o sal de cozinha se comporta como um fluido, a resposta vem pronta. **“Claro que não, sal é sólido”**. Daí vem o conceito inicial dos alunos da associação de fluidos com líquidos, o qual pode ser rapidamente ampliado para incluir os gases (e.g. basta soprar em um saco plástico e os alunos prontamente re-elaboram a sua definição). Para esta definição mais ampliada, a saber “fluidos são líquidos e gases”, os alunos assimilam o conceito prévio que tem do ensino médio da relação de forma com o estado físico e o estendem para fluidos. Neste momento, realizamos um experimento simples. Vertemos, separadamente, água, uma caixinha de fósforos, um cubo de açúcar, sal de cozinha ou açúcar granulado, ar contido em um saquinho plástico e creme hidratante sobre uma superfície plana horizontal a qual é em seguida inclinada, e pedimos para os alunos descreverem e comparem o comportamento dos diferentes materiais vertidos sobre a superfície plana. Os alunos se espantam com o que vêem no tocante ao sal ou açúcar granulado e **definitivamente, sofrem uma ruptura com o seu modo de pensar**. O conceito de fluidos dos alunos não explica o comportamento do sal. Na descrição dos alunos, a água, o creme hidratante e o sal têm em comum o fato de que estes materiais “se espalham, fazem pouco ou nenhum barulho ao caírem e deixam rastros ao escoarem”. Ou seja, o sal se parece mais com a água ou creme hidratante e até com o ar que com o cubo de açúcar ou caixinha de fósforos. Cria-se aí a possibilidade para o pensar de uma forma mais elaborada e cria-se o caminho para a mudança conceitual da acomodação. Mas, o experimento relatado não ajuda a explicar a definição de fluidos supracitada ou a distinção do comportamento do leite, um fluido não Newtoniano daquele da água, um fluido Newtoniano.

Neste momento, precisamos tornar inteligível a definição de fluidos. Para tanto, passamos para um novo experimento, o qual consiste em analisar a ação de uma força cisalhante sobre um fluido. Depositamos uma porção de pasta de dentes sobre uma folha plástica sobre o retroprojetor e marcamos com a ponta da lapiseira a extremidade do fluido que irá se analisar (nas lousas brancas, marcamos desenhamos o contorno do fluido). Um aluno é convidado a ficar em frente ao retroprojetor e descrever aos demais alunos o que ele observa no tocante à vista frontal enquanto que os demais alunos observam a projeção do movimento do fluido na tela, i.e., têm à disposição apenas a vista de topo. Em seguida, com uma lima aplicamos com cuidado uma força cisalhante e após um breve instante retiramos a lima com muito cuidado para não aplicar nenhuma força compressiva significativa^(sempre discutimos o cuidado que temos com o procedimento experimental). A figura 1 mostra o que os alunos observam antes e depois do experimento.



(a) visão da projeção pelo retroprojetor

(b) visão frontal relatada pelo aluno

Figura 1 – experimento que mostra a deformação angular sofrida por fluidos

Neste experimento, a deformação angular sofrida pelo fluido fica visual para os alunos os quais podem finalmente ser apresentados à definição formal dos fluidos. Os alunos são então solicitados primeiramente a explicar a definição de fluidos com palavras próprias e em seguida a postularem o modelo matemático mais simples que lhes passe na cabeça e que esteja em conformidade com a definição de fluidos. Esta prática já foi aplicada para sete turmas diferentes e sempre os alunos partem da equação de proporcionalidade entre tensão cisalhante e deformação angular, como apresentado na equação (2).

$$\tau = \mu \theta^{\&}$$

em que τ é a tensão de cisalhamento aplicada, μ é apresentado como a constante de proporcionalidade e $\theta^{\&}$ é a deformação angular sofrida.

Em seguida, dizemos que esta equação foi proposta por Isaac Newton no século XVII e que é válida para alguns fluidos (os ditos Newtonianos). Em seguida, comentamos que a equação deve ser transformada em uma forma mais conveniente de utilização como a da equação (3). Dizemos que para tanto Isaac Newton usou os seus excepcionais conhecimentos de geometria e passamos a deduzir na lousa com os alunos a forma com a qual se trabalha com esta equação nos cursos de graduação, e.g., em coordenadas cartesianas, temos:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

em que μ é rerepresentado como a viscosidade do fluido, definida matematicamente nesta fórmula, v a velocidade e y a distância ortogonal à superfície sobre a qual o fluido está.

Ainda, salientamos que (3) é um caso particular e que uma equação mais geral que pode ser obtida e passamos a interpretar o significado da equação (3) de modo a atribuir à viscosidade o significado físico de uma medida de resistência ao escoamento. Ressaltamos

também que a pasta de dentes e o creme não são fluidos Newtonianos. Neste ponto, os alunos, contudo, tendem a assimilar a teoria recém desenvolvida na forma do modelo matemático e de seu uso para fluidos Newtonianos também para os fluidos não Newtonianos, uma vez que a deformação angular sofrida era tão nítida no experimento visual feito sobre o retroprojetor, que o modelo da viscosidade de Newton parecia representar o comportamento observado visualmente para o fluido não Newtoniano. Assim, uma nova experiência é realizada, a qual descrevemos em CASELLA & TVRZSKÁ DE GOUVÊA (2004) e não será aqui comentada.

3.2 Construindo o conceito de volume de controle e da lei de conservação:

A definição de volume de controle constante nos livros é apresentada como: “*volume de controle é uma região do espaço delimitada pela sua superfície de controle arbitrada por alguém, através da qual massa, energia e quantidade de movimento podem atravessar*”. Contrasta com esta definição a noção de sistema, que também corresponde a *uma região do espaço, mas na qual a massa não se altera*. Embora estas definições sejam plausíveis aos alunos após uma interpretação lingüística, a vantagem da aplicação de uma lei de conservação em um volume de controle não é um conceito óbvio para os alunos e muito menos significativo. Contribui para isso, a noção abstrata do que significa: “energia e quantidade de movimento podem atravessar um volume de controle”. Um experimento simples pode ser feito para significar o conceito de volume de controle e mostrar a utilidade deste conceito, o qual também pode ser feito para apresentar o enunciado geral de uma lei de conservação aplicada a um volume de controle. Mostra-se uma bola de pingue-pongue aos alunos e um recipiente com água e diz-se o que será feito e pede-se aos alunos que observem o que será feito e relatem a maneira que eles observam o experimento. Joga-se, então, a bola de pingue-pongue no chão. Em seguida, verte-se água de uma garrafa transparente para um copo também transparente. Pede-se, então que os alunos descrevam o que viram. Inicialmente, os alunos olham atônitos, mas iniciam o seu relato sobre a bola: “a bola cai, quica, sobe e desce, rola, escoa para longe da senhora, faz barulho”. Perguntamos como eles observaram o experimento, ao que eles respondem com uma certa ansiedade: “ora professora, olhando a bolinha”. Neste momento, ressaltamos que eles não tiraram os olhos da bola e que a bola é um sólido. Aí perguntamos se o mesmo poderia ser dito da água sendo transferida da garrafa para o copo. Eles ficam meio perturbados e diferentes alunos relatam o experimento de diferentes formas. Alguns centraram a atenção na garrafa, outros no copo, outros no espaço entre a garrafa e o copo. Mas nenhum aluno consegue acompanhar uma porção demarcada de moléculas de água escoando. Com isso, ficam automaticamente estabelecidas as definições de volume de controle e de sistema, as quais são ditadas em seguida aos alunos e estes devem interpreta-las com palavras próprias. Finalizada, a apresentação destas definições, voltamos ao experimento de enchimento do copo com água. Iniciamos o experimento com o copo vazio, definimos dois volumes de controle, um englobando todo o copo e o outro englobando apenas a água dentro do copo, vertemos a água no copo e pedimos que os alunos desenhem o experimento antes e após o enchimento do copo. Efetuamos o desenho na lousa e postulamos diversas perguntas, entre as quais: que variáveis são importantes para descrever o fenômeno, como este fenômeno deve ser descrito, etc. Entre as variáveis, surgem as grandezas, massa (de ar e de água), espaço, volume, velocidade, área e tempo. Esta última é a mais difícil de ser percebida pelos alunos, pois para eles parece ser óbvia demais a variação temporal da massa de água. Com mais alguns questionamentos, é possível “arrancar” dos alunos o conceito que “a massa de água no interior do volume de controle selecionado variou com o tempo porque água entrou no volume de controle (e no caso do volume de controle equivalente ao copo, ar saiu do volume de controle)”. Em seguida, enunciamos a lei de conservação na visão de fenômenos de transporte (equação 1) e passamos à sua discussão e equacionamento. Embora, este experimento entre outras limitações não permita a compreensão do termo de geração na lei de conservação e não prove que uma lei de conservação seja uma verdade absoluta ^{(o que aliás não se}

prova e isto é dito explicitamente aos alunos), ele permite a significação da lei de conservação de uma forma inteligível e os alunos aceitam a proposta da disciplina de descrever o mundo com base nas leis de conservação. Ao final do semestre, a opinião dos alunos é categórica e o relato exposto a seguir de um aluno serve de exemplo. Eis o relato de um aluno: “Definitivamente agora eu sei o que é um fluido. (...) Ainda, não estou muito convencido se concordo com a tal da lei de conservação e com as equações de balanço em volumes de controle, mas não posso deixar de ficar intrigado com a visão de que o acúmulo é a diferença entre o que entra e sai mais o gerado. Frequentemente, me encontro agora a olhar o mundo ao meu redor e a ficar vendo as coisas que entram e que saem. E isto me ajuda a explicar o que vejo. Isto é perturbador...”

3.3 Construindo o conceito de radiação:

Os docentes imaginam que os alunos tenham alguns conceitos prévios sobre radiação. É praticamente inimaginável para os docentes que estudantes de engenharia não saibam que o sol aquece a terra e tudo que há sobre ela através do mecanismo de radiação. A verdade é bem outra. Temos sucessivamente perguntado aos alunos as seguintes questões: “ao acendermos uma vela e colocarmos nossa mão próxima a ela, quem aquece a mão, a chama ou o ar?”, “você está numa praia em um dia ensolarado sem nuvens. Você não está usando protetor solar. Você poderá se queimar, certo? Quem é responsável por isso, o sol, o ar ou algum outro agente?” Para nossa surpresa, **a maioria dos alunos** acredita veementemente que é o ar que é o agente responsável pela sensação de calor e queima! Assim, fazer com que os alunos entendam a definição de radiação constante em livros, qual seja “*radiação é a propriedade que qualquer material tem de emitir energia na forma de ondas eletromagnéticas*”, é uma tarefa árdua. O primeiro passo é mostrar que não é o ar que aquece ou queima, mas o sol ou a chama e que a transferência de energia independe da existência de meio material. Isto pode ser feito a partir do questionamento dos alunos enquanto estes observam a chama de uma vela. No caso, do sol, perguntamos se eles podem se queimar à noite e o que aconteceria se num dia ensolarado eles estivessem em uma casa, ou na praia em baixo de uma enorme sombrinha. Pergunta-se também qual a temperatura do ar na praia (a radiação é apresentada após os mecanismos de condução e convecção terem sido estudados. Um exercício que os alunos fazem é calcular a temperatura que a água e o ar deveriam ter para provocar a queima dos terminais nervosos, sensores de temperatura). Com estas perguntas, os alunos já se convencem que não é o ar que os queima, mas ainda relutam em acreditar que é a chama que os aquece e não o ar à sua volta. Assim, acendemos a vela e procedemos de duas formas. Colocamos um objeto não transparente entre a chama e a mão e pedimos para os alunos movimentarem rapidamente a mão em torno da chama. Com um questionamento e uma observação adequados, os alunos percebem que a temperatura do ar é inferior à da chama e à do próprio dedo, sendo assim, o aquecimento sentido proveniente diretamente da chama. Assim, percebem os alunos que a energia pode ser transferida de um corpo ao outro independentemente de existir algo entre eles (como no caso do sol e da terra). Este é apenas o início do caminho para o entendimento da radiação. Para a compreensão, é necessário que os alunos conheçam o atual modelo atômico de orbitais e entendam o que são ondas. Ainda, é necessário que os alunos compreendam os fenômenos que podem ocorrer na eletrosfera de um átomo.

3.4 Construindo o conceito de convecção natural, mudança de fase e aplicando o conceito de resistências térmicas

Os textos da literatura definem a convecção como sendo essencialmente *a transferência de energia entre um fluido e uma superfície com temperaturas diferentes, onde o fluido escoar sobre a superfície quer seja por forças de pressão, no caso da convecção forçada, ou por diferenças de densidade, no caso da convecção natural*. Em qualquer um dos mecanismos de convecção, o regime de escoamento do fluido é determinante na avaliação do

coeficiente convectivo de transferência de calor. No entanto, os alunos enfrentam dificuldade em consolidar estes conceitos, pois trata-se de conceitos abstratos e não visíveis.

Uma experiência realizada durante as aulas de Laboratório de Fenômenos Experimental II, consta na observação e acompanhamento do processo de fusão de uma placa de gelo, com dimensões aproximadas de 30x19x1,5 cm, suspensa verticalmente no ar estagnado por um fio no interior de uma caixa. Como pode ser observado na Figura 2, abaixo da placa de gelo é instalada uma calha coletora da água liquefeita que se prolonga para fora da caixa passando por um orifício existente na parede. A água, ao escorrer pela calha é coletada em um béquer e pesada em intervalos de tempo pré-estipulados pelos alunos. A temperatura do ar longe da placa de gelo é monitorada durante todo o experimento com um termômetro instalado no interior da caixa. Mantém-se apenas uma pequena abertura na tampa de fechamento, para permitir a troca de ar a fim de garantir que a temperatura do ar no interior da caixa permaneça constante durante todo o experimento, e para evitar a entrada de correntes de ar externas. As superfícies frontal e lateral apresentam janelas, cobertas com filme plástico, que permitem a observação dos fenômenos pelos alunos durante toda a experiência.



Figura 2 – Foto do experimento de convecção natural na superfície de uma placa de gelo suspensa em ar estagnado.

Durante a coleta dos dados experimentais, os alunos são questionados sobre os fundamentos dos fenômenos que ocorrem durante a experiência, conforme ilustrado a seguir:

- Observa-se que no início da experiência a placa de gelo apresenta espessura homogênea em toda a sua extensão, então questiona-se: A espessura da placa de gelo irá sofrer redução homogênea? Se não, sofrerá redução mais rápida na sua borda superior ou na inferior? Justifique.
- No início os alunos têm dificuldades no domínio dos fenômenos envolvidos. Então pergunta-se: o processo envolve transferência de calor entre quais meios?
- Alguns respondem: entre a água e ar das vizinhanças, outra resposta frequente é: entre a água e o gelo, e alguns respondem que os dois meios que trocam energia são o gelo e o ar. Observa-se que os alunos tentam se livrar da inquietação provocada pelo professor, e apenas alguns tem o comprometimento em fazer uma análise

fundamentada nos princípios dos Fenômenos de Transporte envolvidos. Neste momento explora-se o conceito de resistências térmicas, ilustrando cada uma das resistências envolvidas entre cada um dos meios que apresentam temperaturas diferentes. A partir deste momento os alunos passam a interpretar o filme de água liquefeita como uma resistência à transferência de calor entre o gelo e o ar, que efetivamente constituem os extremos do circuito térmico do sistema. Após várias discussões, quando o circuito térmico envolvendo a placa de gelo já está compreendido pelos alunos, já passou um certo tempo desde o início do experimento e a equipe já dispõe de alguns dados experimentais. Continuando o processo de arguição, iniciamos a exploração das idéias correspondentes ao regime de liquefação de gelo. Para tanto, solicita-se aos alunos que analisem se a massa de água recolhida em cada intervalo de tempo desde o início da prática é: constante, crescente ou decrescente.

- A resposta é rapidamente apresentada mediante inspeção dos dados adquiridos até o momento: a taxa mássica de água recolhida é crescente com uma grande variação no início da prática e começa a ficar estável.
- Então comenta-se: Sabe-se que a troca de energia ocorre entre a placa de gelo e o ar. Como a temperatura do ar é constante durante todo o experimento, quais são as causas para que a taxa de água condensada no início do experimento seja bem maior? Por que a partir de um momento específico a taxa fica estável? Os alunos observam que ocorre a saída de uma corrente convectiva natural de ar frio pela fresta existente na base da tampa da caixa, e a entrada de uma corrente convectiva pela fresta existente no topo da caixa. Estas correntes de ar provocam a discussão dos conceitos referentes à teoria da convecção natural, segundo a qual, o surgimento de correntes convectivas é devido à força empuxo provocada por diferenças de densidade locais. Neste momento fica instaurada uma nova inquietação nos alunos. Continuando, pergunta-se novamente: a redução na espessura da placa de gelo ocorre de forma homogênea, ou não? E pergunta-se adicionalmente: qual é a distribuição de temperaturas na placa de gelo? É homogênea? Comenta-se que a placa de gelo, ao ser retirada do congelador, encontrava-se sub-resfriada e que todo o ar contido no interior da caixa encontrava-se na temperatura ambiente, então o que ocorre com o ar nas vizinhanças da placa de gelo? O que pode ser afirmado sobre a distribuição de temperaturas na camada limite hidrodinâmica nas vizinhanças da placa de gelo?
- Embora os aspectos abordados sejam variados, neste momento os alunos já estão devidamente encaminhados mediante a edificação dos princípios dos mecanismos e fenômenos envolvidos, e tem condições de tirar suas conclusões e apresentar as devidas respostas e justificativas a todos os questionamentos realizados. Afirmam que a taxa de água recolhida torna-se constante quando o sistema atinge o regime térmico, e que a espessura da placa de gelo diminui mais rapidamente no topo da placa devido à direção do sentido da corrente convectiva natural formada na superfície da placa, o que é confirmado no final da experiência. É solicitada ainda a realização de um relatório individual, onde o aluno calcula o taxa global de transferência de calor teórica utilizando correlações empíricas de literatura para convecção natural, comparando-a com a taxa global de transferência de calor obtida experimentalmente para os pontos nos quais o sistema está em regime.

4. CONCLUSÃO – UMA CONDUTA DOCENTE QUE LEVE À APRENDIZAGEM AUTÔNOMA É POSSÍVEL

Discutimos neste trabalho o uso de experimentos como um meio de propiciar a construção de conceitos pelos alunos. Diversos exemplos de experimentos simples foram apresentados e como estes podem ser trabalhados em sala de aula ou no laboratório. A discussão foi pautada

nas teorias pedagógicas da mudança conceitual e do construtivismo, a partir das quais a conduta docente deve ser planejada. Como resultados desta proposta temos não apenas a aprendizagem significativa permanente dos alunos, mas principalmente o desenvolvimento de sua autonomia no momento em que eles sofreram ruptura no seu modo de pensar e perceberam-se agentes ativos da construção do saber e que compete a eles o domínio de conhecimentos científicos para utilizá-los na aplicação, compreensão e desenvolvimento de tecnologias.

Agradecimentos

As duas primeiras autoras são pesquisadoras subsidiadas pelo Instituto Presbiteriano Mackenzie por intermédio do MACKPESQUISA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASELLA, E. L.; TVRZSKÁ DE GOUVÊA, M. Uso do laboratório para o desenvolvimento de conteúdos conceituais: aplicação na disciplina de fenômenos de transporte para alunos do curso de engenharia elétrica. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION. Guarujá/Santos, 2004 Proceedings. Março 14-17
- COLL, C.; MARTÍN, E.; MAURI, T.; MIRAS, M.; ONRUBIA, J.; SOLÉ, I.; ZABALA, A. **O construtivismo na sala de aula**. Ática, 1996
- DE JONG, O. La investigation activa como herramienta para mejorar la enseñanza de la química: nuevos enfoques. **Enseñanza De las ciencias**, v. 14, n.3, p. 279-288, 1996
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**. Paz e Terra, 25ª edição, São Paulo, 2002
- REGO T.C. **Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação**. Editora Vozes Fontes, 1998
- MCCLELLAN III, J.E.; DORN, H. **Science and technology in world history**. John Hopkins, 1999
- MELLADO, V. Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las Ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3; p. 331-339, 1993
- POSNER, G.J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W.; GERTZOG, W.A. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Science education**. v. 66, p. 211-227, 1982

THE IMPORTANCE OF CONSTRUCTING CONCEPTIONS BY MEANS OF EXPERIMENTS FOR THE ENGINEERING EDUCATION

Miriam Tvrzská de Gouvêa – miriamtg_br@yahoo.com

Esleide Lopes Casella – ecasella@uol.com.br

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Departamento de Engenharia de Materiais

R. da Consolação, 896, prédio 06

CEP 01302-907 - São Paulo- SP

Regina Maria Matos Jorge - rjorge@ufpr.br

Universidade Federal do Paraná

Departamento de Engenharia Química

Centro Politécnico - Jardim das Américas

CEP 81531-990- Curitiba – PR

Abstract: *Technologies are becoming obsolete very rapidly and are promptly substituted by new ones. In view of that, engineering education must aim for the educational autonomy of the students and future engineers. When instructors plan their teaching strategies, they first must have in mind that students will only achieve an autonomous thinking if they can attribute a meaning for the procedures and conceptions they are being taught. The usage of internet and computer technology is becoming a usual, however, how much these tools contribute to meaning attribution to theories by the students is not known. On the other hand, experiments provide a solid base for the absorption of new concepts by the students and help them in their achievement of conceptual change and abstract thinking. In this paper, we report experiments performed in transport phenomena classes. We show their importance not for validating an existing scientific theory, but rather for provoking a conceptual conflict in the students so that they can be directed to the construction of a plausible scientific theory they can assimilate and accommodate. We show that the construction of a scientific theory that is in accordance to actual scientific paradigms may be built by the students through a meticulous observation of the phenomena occurring in the experiments. As they construct a scientific theory by themselves they become confident and capable of distinguishing models from reality and may be prepared to exert their role in the Brazilian technological development.*

Key-words: *experiments, conceptual conflict, scientific conceptions, transport phenomena, constructivism, conceptual change.*