

AVALIAÇÃO DE USO, NO ENSINO DE ENGENHARIA, DE ESTRUTURAS MINIATURIZADAS ÚTEIS PARA A OBTENÇÃO DE MISTURAS LÍQUIDAS

DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p61-72>

Luiz Fernando Pinto,¹ Roberto da Rocha Lima,² Maria Lúcia Pereira da Silva³

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso, em *kits* para ensino de ciências, de estruturas miniaturizadas como misturadores para a formação de emulsões. As estruturas foram usinadas em acrílico, utilizando ferramentas convencionais e são tridimensionais. Os testes utilizaram como solvente água e como reagentes hidrocarbonetos, compostos orgânicos fluorados ou oxigenados, com viscosidade variando entre 1 cSt e 650 cSt. O comportamento do fluido, internamente às estruturas, foi avaliado utilizando-se traçadores e filmagem. Os resultados obtidos demonstraram que os dispositivos propostos são úteis para a mistura de líquidos imiscíveis, com formação de emulsão por tempo suficiente para ocorrer uma reação. A simulação do comportamento fluido das estruturas permitiu criar um modelo qualitativo dos fenômenos ocorrendo dentro dos microcanais. Além disso, a metodologia desenvolvida e os resultados obtidos podem ser utilizados como um procedimento experimental para ensino de operações unitárias e/ou propriedades físico-químicas das misturas. O *kit* desenvolvido foi apresentado em estande no 13º Congresso de Tecnologia da FATEC/SP e avaliado pelos alunos quanto à sua facilidade de operação e utilidade para ensino. De modo geral, o *kit* significou um modo eficiente para ensino na área de engenharias.

Palavras-chave: *Kits* para ensino; operações unitárias; mistura; miniaturização.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE USE, ON ENGINEERING TEACHING, OF STRUCTURES MINIATURIZED FOR OBTAINING LIQUID MIX

This work aimed the evaluation of teaching kits that use miniaturized structures as mixers for emulsion formation. The structures are three-dimensional and were machined in acrylics with conventional tools. Tests used water as solvent and as reactants: hydrocarbons, oxygenated and fluorinated organic compounds, which viscosity ranges from 1 cSt to 650 cSt. The fluid behavior inside the structures was evaluated using tracers and filming. The obtained results showed that these devices are useful for mixing immiscible fluids by enough time to reaction occurs. Simulation of fluid behavior allows proposing a qualitative model to the existing phenomena inside the microchannels. Moreover, the applied methodology and obtained results can be used for teaching unit operation and/or physical-chemical properties on mixtures. This kit was presented in a stand at the 13º Congresso de Tecnologia, FATEC/SP, which allowed students evaluating its performance in teaching and also easiness in manipulation. The kit shows to be an easy way to improve teaching on engineering area.

Keywords: Teaching kits; unit operation; mixing; miniaturization.

¹ Tecgo., FATEC-SP, SP/Brasil; luizfernando.fatec@hotmail.com

² Prof. Dr., IFUSP, SP/Brasil; rrlima@if.usp.br

³ Profa. Dra., FATEC-SP e EPUSP, SP/Brasil; malu@lsi.usp.br

1 INTRODUÇÃO

Devido ao enorme desenvolvimento científico e tecnológico da sociedade atual, o ensino de ciências tornou-se imprescindível. Para o Brasil, em especial, o ensino nessa área reveste-se de outras preocupações, além das questões puramente técnicas. Como alertado por estudo recente da Confederação Nacional das Indústrias (CNI/SESI/SENAI/IEL/CONFEA, 2011), o país precisa formar urgentemente, em grande número, tanto engenheiros como tecnólogos para atender suas necessidades internas e fazer frente à competição externa. Assim, estima-se, como média, a necessidade de 12,7 eng./empresa e 7,5 tecgo./empresa. França (2010) considera que cada vez mais postos estarão sendo criados para tecnólogos e para engenheiros com perfil de especialista. Contudo, a oferta de profissionais não acompanha a demanda; assim, vinte grandes organizações de atuação nacional, “representando quase todos os setores da economia criaram um grupo para atacar o problema e atrair jovens para essa carreira”. Exemplo semelhante foi dado pela Federação Nacional dos Engenheiros (FNE), que criou, em 2009, o projeto “Cresce Brasil + Engenharia + Desenvolvimento e a Superação da Crise”, e lançou um vídeo destinado aos estudantes do ensino médio, esclarecendo a profissão de engenharia. A ideia era “estimular os estudantes a optarem pelo curso, que tem um leque enorme de opções e especializações” (PINHEIRO, 2011). Em 2010, no evento *Brazil Automation ISA 2010*, foi listado como um dos principais desafios na formação de profissionais de engenharia no Brasil:

a necessidade de se pensar uma nova didática para esta geração plugada. A utilização de educação à distância, mídia móvel e uma maior integração com a sociedade (EDITORIAL, 2011).

Para problema semelhante, ou seja, falta de profissionais na área de engenharias, Locke (2009, p. 24), propôs um ensino integrado de conteúdos da área de ciências, desde os níveis iniciais até a universidade. Ideia similar é encontrada no projeto *Engineering is Elementary*, no qual a principal mudança proposta é o modo de abordar os conteúdos da área de ciências (CUNNINGHAM, 2007).

Historicamente, o uso de novas tecnologias em sala de aula, principalmente no ensino médio, apresenta grandes dificuldades na fase de implantação. Greenberg *et al.* (1998), citando estudo clássico de Cuban (1972), descreve essa implantação como algo cíclico, em que, inicialmente, um grupo de especialistas consegue mostrar a vantagem da técnica para, em seguida, reclamações surgirem e, via de regra, equipamentos custosos serem abandonados com pouco uso. Assim, pequenas mudanças e/ou variações tecnológicas costumam ser mais efetivas que as grandes. Um bom exemplo foi o pouco uso dado aos computadores nos EUA durante a década de 1990, muito embora o equipamento estivesse plenamente acessível nos ambientes de ensino.

Para o ensino de ciências na área de engenharia, a tecnologia comumente vem na forma de *kits* de ensino, especialmente no nível médio, e Donohue cita como exemplos o uso de *FIRST Lego League*, *FIRST Robotics* e *Project Lead the Way* (DONOHUE; RICHARDS, 2008). A mesma autora também propôs o uso de *kits* – denominados *Engineering Teaching Kits* – nas primeiras séries do ensino, para abordar conceitos de matemática e ciências. Howell *et al.* (2004) considera o uso de *kits* e robôs já bem estabelecido no ensino, e argumenta que o mesmo material pode ser utilizado tanto no ensino médio como no início da graduação.

No país, segundo Boesing (2008), são encontrados *kits* como LEGO Mindstorms, VEX Robotics e Parallax Robotics, que podem auxiliar as disciplinas dos cursos de engenharia na simulação de situações-problema e na prática *hands-on*, pois oferecem os recursos, muitas vezes, não disponíveis nas instituições como ferramentas, equipamentos e laboratórios práticos.

Utilizando *kits* e a metodologia de PBL (*Problem-based learning*), o autor melhorou significativamente o ensino de Física em um curso de engenharia, quanto às competências para a construção de protótipos (BOESING *et al.*, 2008).

Além de *kits*, outra tendência no ensino é a miniaturização, já que essa permite que os experimentos ocorram de modo mais sustentável, com menos uso de recursos e conseqüente menor impacto am-

biental (HASEBE, 2004; IGARASHI, 2005). Assim, partes e peças – como microrreatores – já são há muito usadas no ensino (MULLER *et al.*, 2005; GROB *et al.*, 2010).

Em nossos trabalhos anteriores, também foi possível obter estruturas miniaturizadas, de baixíssimo custo (CARVALHO; SIMÕES, SILVA, 2008) e úteis para várias operações (SILVA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011), o mesmo ocorrendo com kits para ensino (MININI *et al.*, 2010). Além disso, testes efetuados na Universidade de Porto Rico demonstraram a exequibilidade do uso de tais dispositivos com estudantes no início do curso superior (SILVA *et al.*, 2006). Assim, foi objetivo deste trabalho avaliar o uso de estruturas miniaturizadas funcionais, como misturadores, em kits para ensino de ciências. O público-alvo, para o teste do kit desenvolvido, foi constituído por alunos presentes no evento “13º Congresso de Tecnologia” da FATEC/SP. A vantagem dessa abordagem é a exposição do kit sob análise a uma ampla gama de alunos e formações, uma vez que a unidade conta com dez departamentos distintos e o seu congresso anual é frequentado por alunos de diversas outras universidades, inclusive estabelecidas fora do estado.

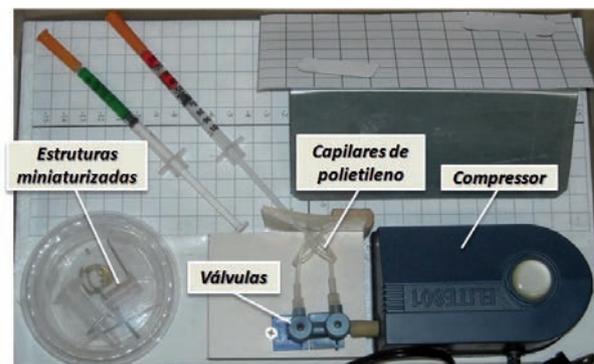
2 METODOLOGIA

Estabeleceu-se como condição de contorno a produção de sistemas de baixo custo e ambientalmente corretos, ou seja, respeito aos “12 Princípios da Engenharia Química Verde”.

O instrumento de teste (*kit*) para as estruturas miniaturizadas é baseado em protótipo descrito anteriormente e apresentado na Figura 1 (MININI *et al.*, 2010). O conjunto é formado por um compressor de uma saída e baixa vazão, como os utilizados em aquários de 50 litros, duas válvulas de controle de fluxo, também comumente utilizadas em aquários, e capilares de polietileno com diâmetro interno de 1 mm. O compressor impulsiona os líquidos contidos nos capilares, que funcionam como reservatórios, e esses são admitidos na estrutura miniaturizada (na Figura 1, encontra-se armazenada no recipiente à esquerda). O líquido que emerge da estrutura atinge uma placa onde se prende papel

quadrado, o que permite avaliar a dispersão do fluido, a formação de gotas, etc.

Figura 1 – Kit para teste das estruturas miniaturizadas (de acordo com Minini, 2010).

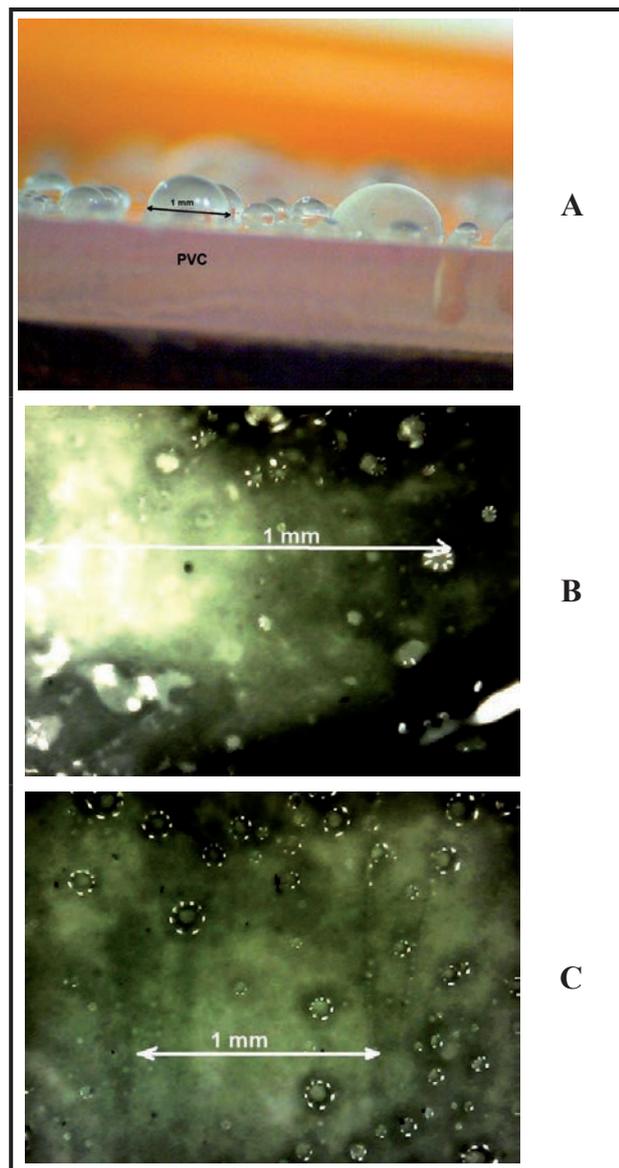


Apenas duas pequenas variações foram efetuadas no protótipo, na placa de recolhimento da amostra. Para facilitar a visualização de substâncias orgânicas, o papel foi substituído por uma placa de PVC (policloreto de vinila). Essa placa sofreu modificação por exposição à luz ultravioleta (lâmpada UVC, 8W, a 10 cm de distância da amostra) durante seis horas. A superfície a ser modificada foi coberta com uma lâmina de aço inoxidável, com orifícios de 1 mm de diâmetro, uniformemente espaçados em distância de 3 mm, o que corresponde a uma máscara para formação de áreas com e sem proteção ao UVC. A região exposta ao UVC reage com o oxigênio do ar e forma áreas hidrofílicas em um substrato hidrofóbico. Utilizou-se placa de 5 cm x 5 cm, o que corresponde a um total de 90 orifícios.

A Figura 2a, a seguir, apresenta uma placa de PVC que foi submetida a esse tratamento com luz ultravioleta. Para facilitar a visualização das regiões hidrofílicas e hidrofóbicas, a placa foi mergulhada rapidamente em água. As gotas que aparecem na figura encontram-se nas regiões hidrofílicas. Quando placas sem tratamento são utilizadas para recolher as amostras, o caráter hidrofóbico da superfície permite rápida separação de água e óleo (Figura 2b), o que dificulta avaliar o desempenho das estruturas. Por outro lado, a modificação, por exposição à UVC, facilita o “espalhamento” dessas amostras (Figura 2c), como é desejável que ocorra, e permite uma melhor observação da formação de emulsão ou mistura. Neste trabalho, em algumas figuras, para permitir a obtenção de imagens fotográficas sequen-

ciais, o líquido que emerge da estrutura não foi exposto à placa, mas recolhido em tubo de silicone de $\frac{1}{4}$ " de diâmetro externo.

Figura 2 – (A) Adsorção de água nas regiões hidrofílicas formadas nas paredes da placa de PVC por exposição ao UVC; (B) espalhamento da mistura obtida com adição de óleo mineral e água à estrutura da Figura 2B em placas sem ou com (C) modificação da superfície

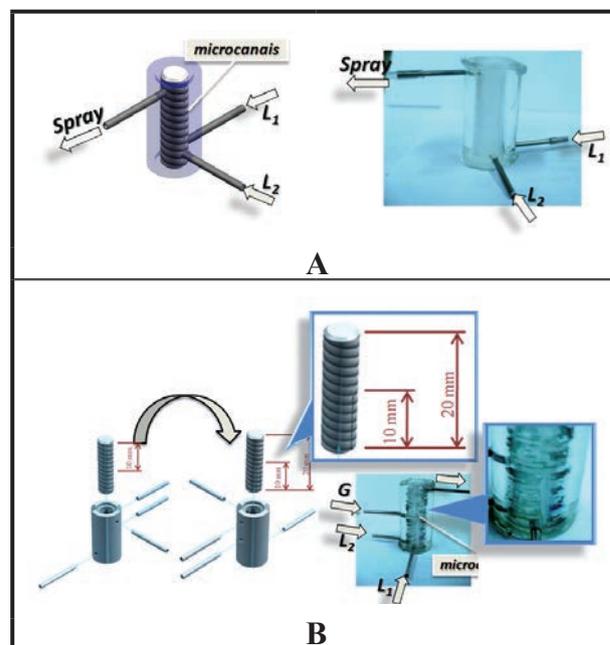


As estruturas utilizadas neste trabalho são canais tridimensionais em forma de espiral, usados em acrílico e usados como misturadores. A Figura 3 apresenta esquema e foto das estruturas utilizadas. As estruturas têm comprimento total de 20 mm e diâmetro total de 12 mm. A primeira estrutura (Figura 3a) permite – pela adição de amostra líquida e

gasosa, respectivamente, em cada uma de suas entradas – a obtenção de *spray* com gotas da ordem de $10\ \mu\text{m}$ (SILVA *et al.*, 2010). Nessa estrutura, há uma zona de interação entre a amostra líquida e gasosa, pelo cruzamento dos microcanais nela presentes. Testes prévios (MININI *et al.*, 2010), efetuados pela adição de duas amostras aquosas distintas, demonstraram que a estrutura também permite mistura. A segunda estrutura foi projetada para este trabalho e tem como objetivo a combinação das duas funções, *spray* e misturador, em um único conjunto. Nesse caso, a interação também ocorre na área de encontro dos microcanais, existindo duas áreas de interação bem distintas, como pode ser observado na Figura 3b. Desse modo, dois líquidos distintos são admitidos simultaneamente com o ar (amostra gasosa) e o *spray* que se forma deve conter os dois líquidos, como será abordado no item 3. Resultados e discussão. O modo de utilização da estrutura (escolha da ordem de admissão dos líquidos, uso do *spray*, etc.) foi determinado experimentalmente.

Por fim, na foto (o detalhe dos microcanais) constante da Figura 3B, é possível observar a presença de pequenos pontos escuros, correspondendo a regiões em que se encontra a amostra, já que a foto foi obtida com a estrutura em uso.

Figura 3 – Estruturas utilizadas (esquema e foto) neste trabalho, com microcanal tridimensional e (A) uma ou (B) duas operações distintas. [L_1 e L_2 = líquido e G = gás]



Quadro I – Reagentes utilizados e suas principais propriedades

Reagente	Glicerol
Composição	propano-1,2,3-triol
Fornecedor	Casa Americana
Viscosidade	650 cSt
Solubilidade em água	Miscível
Densidade	1,26 g.cm ⁻³ (20 °C)
Reagente	Fomblin®
Composição	Perfluoropolimetiliso-propileter
Fornecedor	Pharmacotécnica Ltda.
Viscosidade	250 cst
Solubilidade em água	Insolúvel
Densidade	1,90 g.cm ⁻³
Reagente	Óleo mineral
Composição	Hidrocarbonetos parafínicos
Fornecedor	Casa Americana
Viscosidade	43 cSt
Solubilidade em água	Insolúvel
Densidade	0,90 g/cm ³
Reagente	Vaselina
Composição	Hidrocarbonetos parafínicos
Fornecedor	Casa Americana
Viscosidade	16 cSt
Solubilidade em água	Insolúvel
Densidade	1,10 g/cm ³

Muito embora todos os reagentes utilizados sejam grau USP (*United States Pharmacopeia*), como descrito no Quadro I, o material a ser adquirido para os testes é de fácil aquisição, por baratos, em casas fornecedoras de produtos cosméticos. Os reagentes utilizados são compostos orgânicos com larga variação de viscosidade (glicerol, vaselina, óleo mineral, fomblin^(R)). A vaselina e óleo mineral são misturas de hidrocarbonetos parafínicos e a principal diferença entre eles reside na viscosidade. Fomblin^(R) pode ser de mais difícil aquisição, porém, esse composto pode ser substituído por óleo lubrificante. No presente caso, por ser incolor, tem como vantagem facilitar a filmagem do comportamento dos fluidos no canal.

Nas estruturas, foi usado ar como fluido de arraste e/ou de formação de *spray*. O procedimento de inserção da amostra é manual e utiliza injeção descartável de até 1 ml (Figura 1). O procedimento de teste utiliza a filmagem com máquina digital (Sony, modelo Cybershot 7.2) e, para tanto, traçadores são utilizados nas soluções incolores. Os traçadores, neste trabalho, são anilina, em várias cores, para a água, e corante negro de Sião para reagentes orgânicos. A mistura entre alguns desses compostos orgânicos e água pode corresponder à formação de emulsão. Portanto, alguns testes utilizaram solução aquosa 50% em vol. com detergente caseiro (Limpol, Bombril^(R)). A simulação, efetuada para compreender o comportamento dos fluidos, utilizou FEMLAB 3.2^(R), estando de acordo com condições de contorno consagradas (SIMÕES *et al.*, 2005) para estudos de fluidos em microcanais (2D).

O kit desenvolvido foi testado no ambiente do 13º Congresso de Tecnologia da seguinte forma: 1) quatro alunos de iniciação científica foram treinados para a exposição didática do conteúdo envolvido no uso desses kits e o resultado da simulação ficou disponível em computador do estande; 2) cada aluno permaneceu disponível no estande, no mínimo, 4 horas/dia, o que permitiu que ocorressem demonstrações durante toda a semana; 3) os alunos, simultaneamente às demonstrações práticas, também forneciam o conteúdo envolvido; 4) era permitido aos espectadores, desde que acompanhados pelos alunos, manipularem o arranjo; 5) após a exposição didática, era perguntado ao espectador se: a) havia compreendido o material; b) havia se interessado pela manipulação; c) julgava interessante como material de ensino.

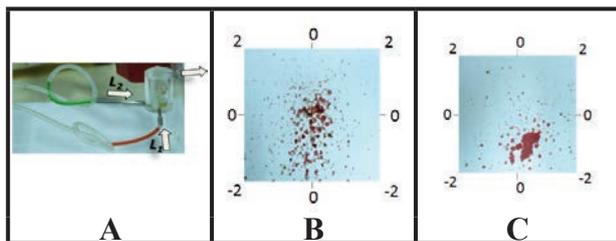
3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos são aqui descritos na seguinte ordem: inicialmente, descrevem-se minuciosamente os testes para certificação do kit, isto é, apresentam-se os resultados do uso das estruturas tridimensionais, com uma ou duas operações, e, em seguida, simula-se o comportamento dessas, etc. Após a descrição da montagem do kit, avalia-se, apenas qualitativamente, a repercussão do referido material no 13º Congresso de Tecnologia.

3.1 Estrutura tridimensional com uma operação

Essa estrutura (Figura 3a) foi avaliada anteriormente apenas com soluções aquosas. Portanto, testes foram efetuados para avaliar sua performance também com compostos orgânicos de diferentes viscosidades. A Figura 4 apresenta o resultado típico para o teste de mistura de soluções aquosas. O teste consiste em adicionar quantidades diferentes nos capilares (Figura 4a) ou a mesma quantidade, mas em regiões mais próximas ou mais distantes da entrada na estrutura. O resultado da mistura é avaliado por análise da cor resultante na placa de coleta do líquido. A adição de quantidades diferentes (Figura 4b, cor predominante, roxo, devido à mistura) favorece mais a mistura que a diferença na localização da amostra (Figura 4c, cor predominante, vermelho, do fluido localizado distante da entrada), porque a interação dos fluidos nos microcanais ocorre por maior tempo no primeiro caso. Essa interação também pode ser avaliada por filmagem, como mostrado a seguir, o que facilita compreender as dificuldades de mistura.

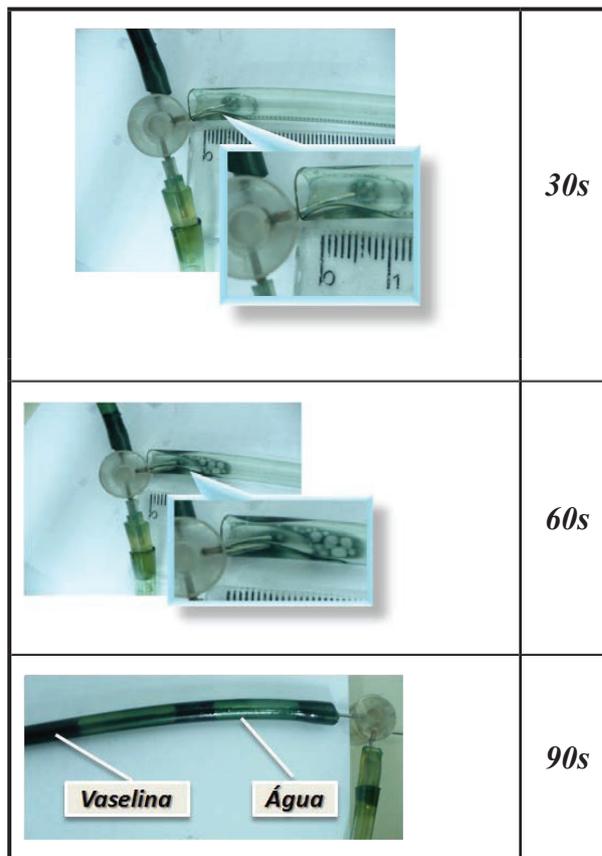
Figura 4 – (A) Detalhe do capilar para adição do líquido na estrutura e resultados obtidos na placa de coleta do líquido quando ocorre a adição de (B) diferentes quantidades ou (C) mesma quantidade de soluções aquosas, mas em localizações diferentes.



A utilização de compostos orgânicos nessa estrutura, por sua vez, apresenta dificuldades. A Figura 5 mostra sequência de fotos obtidas com a adição de vaselina e água aos capilares da estrutura e recolhimento em tubo de 1/4". É possível notar que, inicialmente, a água emerge com pouca ou nenhuma presença de vaselina (30s, líquido incolor) e a posterior presença do composto orgânico (60s, presença de vaselina com traçador negro de Sião) advém da interação dos compostos fora da estrutura, o que se estende pelos capilares (90s). Resultado

semelhante pode ser obtido com glicerol ou óleo mineral. Mesmo para volumes de amostra bem diferentes, não se encontrou condição em que a mistura fosse obtida, ou seja, essa estrutura limita-se ao uso de amostras de mesma viscosidade.

Figura 5 – Sequência de fotos obtidas com adição de vaselina e água à estrutura da Figura 3A e recolhimento em tubo de 1/4".



3.2 Estrutura tridimensional com duas operações

Essa estrutura foi avaliada quanto à mistura e formação de *spray* de soluções aquosas distintas e de formação de emulsão com compostos orgânicos.

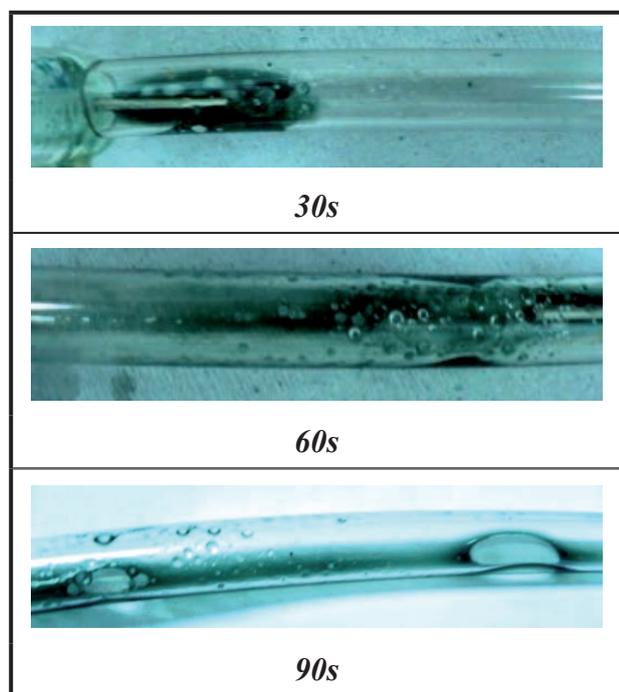
A utilização de soluções aquosas não apresenta comportamento distinto do obtido com a estrutura tridimensional com uma operação (vista na Figura 4), o mesmo ocorrendo com o uso de glicerol, composto miscível em água (comportamento similar a Figura 5); nesse caso, a alta viscosidade dificulta a mistura.

Compostos orgânicos imiscíveis em água também foram testados quanto à mistura/emulsão com

soluções aquosas. A definição da melhor ordem de admissão dos reagentes na estrutura foi obtida experimentalmente. Para obter maior contraste nas filmagens, não se utilizou traçador na água. Foi possível observar diferentes comportamentos, de acordo com a viscosidade do composto orgânico.

Assim, a adição de vaselina e água ao sistema leva à formação de uma mistura que, devido às pequenas dimensões das gotas iniciais, não está completamente separada, mesmo depois de 90s de recolhimento no tubo, como pode ser observado na Figura 6. Observe-se, portanto, que essa estrutura não apresenta as limitações da anterior quanto ao uso de compostos com viscosidade maior que a água.

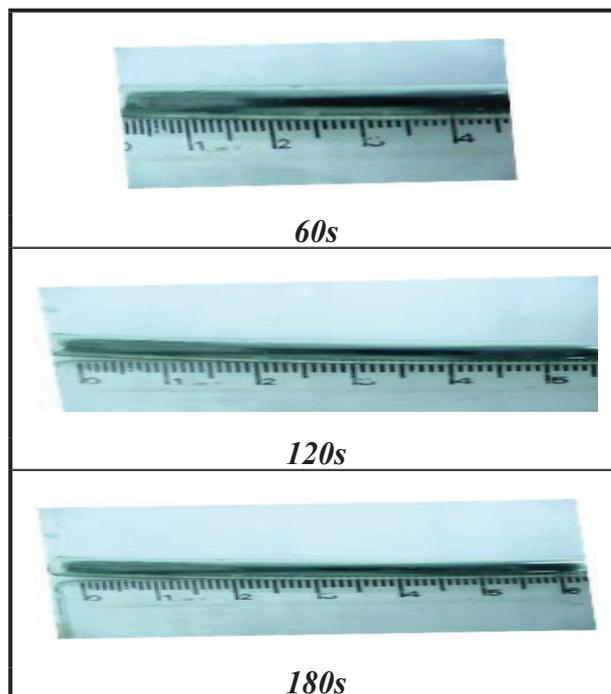
Figura 6 – Sequência de fotos obtidas com adição de vaselina e água à estrutura da Figura 3B e recolhimento em tubo de ¼”.



O tempo de 90s pode ser útil, por exemplo, para reação em microrreatores, nos quais a velocidade de reação tende a ser alta. Porém, se um tempo maior é necessário, isso é possível com o uso de solução aquosa 50% em vol. com detergente caseiro. Nesse caso, não se observa separação de fase, mesmo após 3 minutos do recolhimento da amostra. O uso de óleo mineral apresenta resultado similar ao obtido

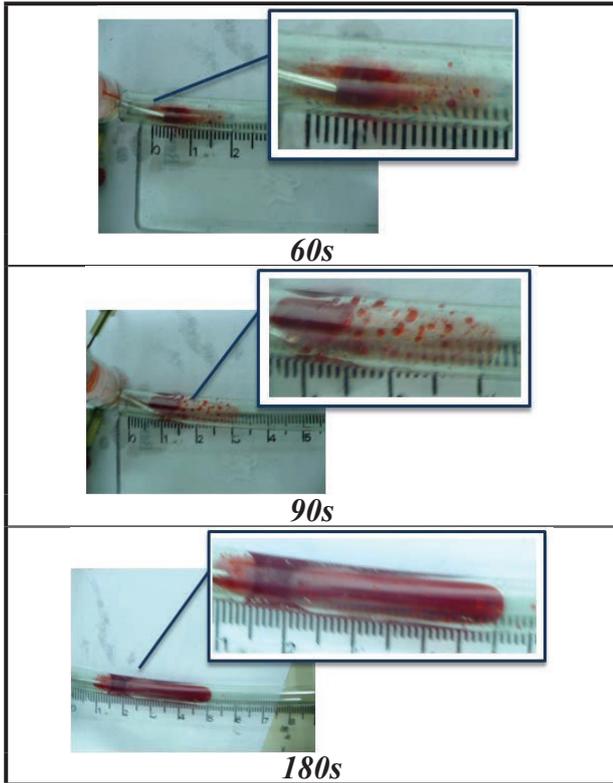
com vaselina e água ou detergente caseiro. Assim, o comportamento do fluido na estrutura não muda com o aumento da viscosidade e o uso de solução aquosa 50% em vol. com detergente caseiro permite a formação de emulsão, como visto na Figura 7.

Figura 7 – Sequência de fotos obtidas com adição de óleo mineral e solução aquosa 50% em vol. com detergente caseiro, à estrutura da Figura 3B e recolhimento em tubo de ¼”



O uso de Fomblin®, por sua vez, não leva à formação de mistura. Nesse caso, a água (Figura 8, com anilina vermelha como traçador) é capaz de percorrer a estrutura, mas não o composto orgânico, mesmo que esse seja inserido em pequena quantidade (< 0,01 mL) no capilar. Portanto, a estrutura tem um limite de viscosidade em que é possível obter a mistura. Contudo, seu comportamento é distinto da estrutura com uma operação (Figura 3A), já que não se observa o contra-fluxo, com os fluidos se misturando nos capilares (Figura 5). Isso provavelmente deve-se à rápida remoção da água dos canais, que ocorre devido à existência de entrada com admissão de ar próximo à admissão desta amostra, ou seja, formação de *spray* em conjunto com mistura de líquidos mostra-se uma alternativa eficiente para a obtenção de emulsões.

Figura 8 – Sequência de fotos obtidas com adição de Fomblin® e água à estrutura da Figura 3B e recolhimento em tubo de ¼”.



3.3 Simulação

O que se almeja é que o aluno possa compreender as diferenças de comportamento e criar um modelo qualitativo para os fenômenos observados. Enfatize-se que o aluno não tem acesso à simulação antes de tentar formular um modelo. As principais diferenças entre os dois procedimentos são: 1) nas estruturas, a posição dos capilares de entrada de fluidos difere e 2) o uso de ar em um dos capilares. Além disso, devido à diferença de viscosidades, a velocidade dos compostos orgânicos deve ser menor que a da água. Assim, no “confronto” entre os fluidos, espera-se dificuldade de fluidez para os orgânicos, e conseqüente dificuldade de mistura.

Em todas as simulações, observa-se o mesmo comportamento, quer as velocidades sejam as mesmas ou ocorra uma diferença de 1:10. Nesse caso, o perfil de velocidade é dependente do tempo, ou seja, produz-se um vídeo no qual se observa como a velocidade muda em função do tempo. Além disso, a posição dos capilares (inserção da amostra) influi nessas variações (máximo e mínimo de velo-

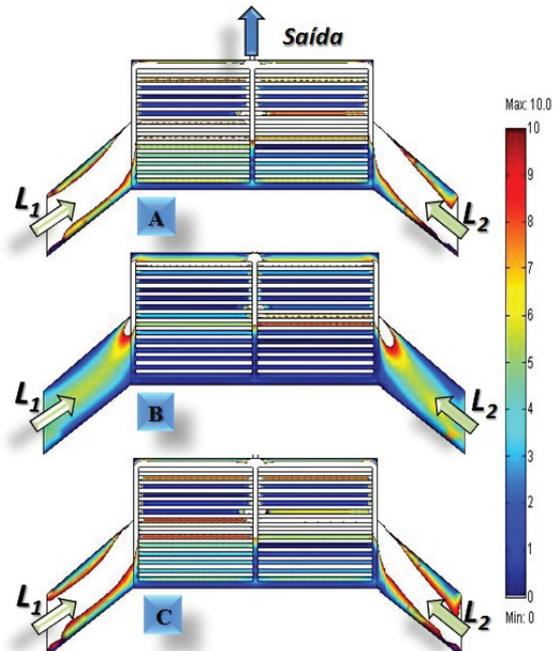
idades e onde esses ocorrem). É possível, portanto, por simulação, observar um comportamento que é coerente com a dificuldade de inserção nos microcanais, encontrada, por exemplo, na Figura 5.

As figuras 9 a 12 apresentam quadros obtidos a partir dos vídeos produzidos por simulação. Nessas figuras, as regiões em branco correspondem a áreas com velocidades acima da apresentada na legenda da figura.

A Figura 9 apresenta a adição de vaselina e água, com mesma velocidade linear, de 10 cm/s, aos primeiros microcanais de uma estrutura como a da Figura 3A e com variação de tempo de 0 a 1 s [0 / 0,5 / 1 s na Figura 9 A, B e C, respectivamente]. Inicialmente, a velocidade nesses canais dificilmente é a mesma em cada lado da estrutura, ou seja, cada região compete pelo preenchimento do microcanal. Apenas após vários microcanais acima do diâmetro do capilar é que a perturbação diminui.

A Figura 10 apresenta as mesmas condições da Figura 9, contudo, há um desalinhamento nos capilares, ou seja, na admissão de amostras. Nesse caso, as variações na velocidade dentro dos capilares são menores.

Figura 9 – Simulação: sequência do perfil de velocidade obtido pela adição de vaselina e água (L1, L2, velocidade linear e igual de 10 cm/s) aos microcanais da estrutura da Figura 3A e tempos de (A) 0s, (B) 0,5s e (C) 1s.



A adição de uma entrada de gás (Figura 11) aumenta a perturbação nos microcanais que se encontram não só na região de admissão do gás como também nos que estão próximos, ou seja, provavelmente a mistura ocorre mais facilmente.

Por fim, se a saída do sistema tem dimensões da ordem dos capilares de admissão de amostras, a velocidade sofre pouca modificação e também é

pouco dependente da velocidade ou viscosidade da amostra inserida, como se pode verificar na Figura 12, que apresenta as mesmas condições de contorno da Figura 9.

Portanto, o modelo apresentado por simulação apresenta grande coerência com o obtido experimentalmente e permite compreender a interação dos fluidos nos microcanais.

Figura 10 – Simulação: sequência do perfil de velocidade obtido pela adição de vaselina e água (L1, L2, velocidade linear e igual de 10 cm/s) aos microcanais da estrutura da Figura 3A modificada e tempos de (A) 0s, (B) 0,5s e (C) 1s.

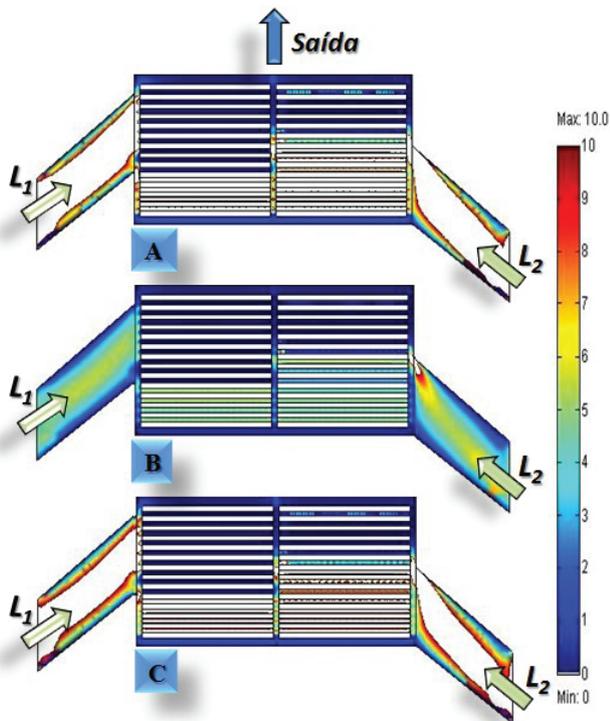


Figura 11 – Simulação: sequência do perfil de velocidade obtido pela adição de vaselina, água e ar (L1, L2, G, velocidade linear e igual de 10 cm/s) aos microcanais da estrutura da Figura 1A modificada e tempos de (A) 0s, (B) 0,5s e (C) 1s.

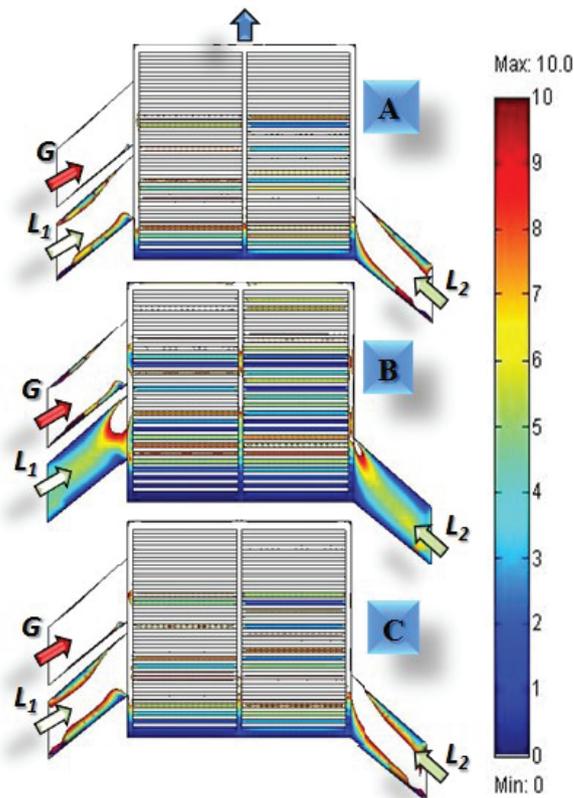
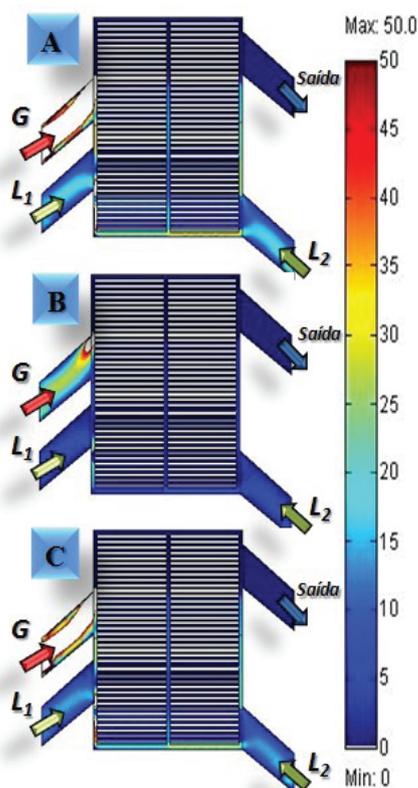


Figura 12 – Simulação: sequência do perfil de velocidade obtido pela adição de vaselina, água e ar (L1, L2, G, velocidade linear e igual de 10 cm/s) à estrutura da Figura 1A e tempos de (A) 0s, (B) 0.5s e (C) 1s.



3.4 Uso em demonstração

O *kit* foi utilizado por toda a semana do evento, tendo atraído, em média, de 20 a 40 pessoas/dia. Para a grande maioria (aproximadamente 90% em uma população de, no mínimo, 20 visitantes/dia), o *kit* não apresenta dificuldade de manipulação, mesmo que o aluno tenha que montar o arranjo experimental sozinho. Além disso, esses alunos também indicaram que há vantagens no uso dessas estruturas para compreender algumas operações comuns na área de química, tal como mistura, emulsão, reação, etc. Por fim, a simulação foi considerada útil na compreensão dos mecanismos envolvidos.

Muito embora o grupo de teste tenha formação específica, já que a grande maioria é da área das engenharias, a tendência é inegável, facilitar o uso de *kits* de ensino permite ao aluno visualizar fenômenos importantes para a área de mecânica de fluidos e, também, pode ser um caminho para incentivar o interesse pelas profissões da área de engenharias.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o uso de um *kit* para ensino de ciências, mais especificamente a interação de fluidos em microcanais e seu uso em operações específicas, tais como mistura. Deve-se salientar que o arranjo experimental necessário para tal ensino é de construção bastante simples, além dos reagentes ser facilmente obtidos em qualquer local de produtos cosméticos, ou seja, os reagentes são ambientalmente corretos. Esse arranjo mostrou-se bastante eficiente e versátil e, com pequena modificação, pode-se recolher o produto obtido para, por exemplo, utilização em microreatores. As estruturas miniaturizadas são de fácil construção, podem ser desmontadas e limpas a cada experimento, ou seja, o sistema de modo geral é de pequeno impacto ambiental.

Dentro do proposto atualmente para a área de engenharias, ou seja, incentivar os alunos do ensino médio a interessar-se pela área, o *kit* pode ser utilizado como um produto de uso individual, o que permite alta mobilidade aos interessados além de grande tempo de exposição a tal produto.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP e CNPq.

REFERÊNCIAS

- BOESING, I. J. *et al.* Desenvolvimento de competências na formação do engenheiro de produção: uma contribuição a partir do ensino de Física. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Ano 3, n. 4, p. 89-100, 2008.
- CARVALHO, A. T.; SIMÕES, E. W.; SILVA, M. P. Microreatores para avaliação de adsorção: simulação, fabricação e testes. **Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, v. 24, p. 28, 2008.
- CNI/SESI/SENAI/IEL/CONFEEA, Mercado de Trabalho para o Engenheiro e Tecnólogo no Brasil, **Sumário Analítico**, 2008.
- CUBAN, L. **The managerial imperative and the practice of leadership in schools**. Albany, NY: Suny Press, 1972.
- CUNNINGHAM, C. M.; HESTER, K. Engineering is elementary: an engineering and technology curriculum for children. American Society for Engineering Education, **Proceedings of the 2007 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition**.

- DONOHUE, S. K.; RICHARDS, L. G. **Workshop – Elementary Engineering Education**: engineering teaching kits for K-5 students. 38TH ASEE/IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE SESSION W3B, Saratoga Springs, NY, 2008.
- EDITORIAL, **Apenas 5% do total de formandos no Brasil são engenheiros**. Canal Executivo. Disponível em: <<http://www2.uol.com.br/canalexecutivo/notas101/1011201017.htm>>. Acesso em: 18 mar. 2012.
- FRANÇA, L. Guerra de talentos chegou ao nível técnico, **Você S/A, Desenvolva sua carreira**, edição 150, 2010.
- GREENBERG, R. *et al.* Teaching High School Science using image processing: a case study of implementation of computer technology. **Journal of Research in Science Teaching**, p. 297-327. 1998.
- GROß, A. *et al.* Pressure Loss – educational experiments for microreaction technology using an universal experiment platform. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 82, p. 1.789-1.798, 2010.
- HASEBE, S. Design and operation of micro-chemical plants – bridging the gap between nano, micro and macro technologies. **Computers & Chemical Engineering**, v. 29, p. 57-64, 2004.
- HOWELL, A. L.; SERSEN, D. W. **Using a web service, mobile device and low-cost robot to teach computer science and engineering**. Electro/Information Technology Conference, 2004. p. 234-245.
- IGARASHI, A. Catalytic reaction engineering toward green chemical processes, **J. Chem. Eng. of Japan**, p. 779-784. 2005.
- LOCKE, E. Proposed model for a streamlined, cohesive, and optimized K-12 STEM curriculum with a focus on engineering. **The Journal of Technology Studies**, v. 35, p. 23-35. 2009.
- MININI, M. *et al.* **Manipulação de fluidos: sugestão para o ensino desse conceito na área de engenharias**. Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, 2010.
- MORIMOTO, N. I.; AVILÉS, J. J. S. Microfluidic oscillator for gas flow control and measurement. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 16, p. 7-12, 2005.
- MÜLLER, D. H.; LIAUW, M. A.; GREINER, L. Micro-reaction technology in education: miniaturized enzyme membrane reactor. **Chemical Engineering and Technology**, v. 28, p. 1.569-1.570, 2005.
- PINHEIRO, M. C. C. **Falta de engenheiros é gargalo ao desenvolvimento**. Feder. Nac. Eng. - FNE, 2010. Disponível em: <http://www.fne.org.br/fne/index.php/fne/institucional/palavra_do_presidente/falta_de_engenheiros_e_gargalo_ao_desenvolvimento>. Acesso em: 18 mar. 2012.
- SILVA, L. M. *et al.* A proposal of portable equipment for pretreatment in chemical analysis. **The International Review of Chemical Engineering**, v. 2, p. 134-141, 2010.
- SILVA, L. M.; TENÓRIO, E.; SILVA, M. L. P. **Simulação e microestrutura eletrizada capaz de reter VOC's usada para ensino em engenharia**, Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Blumenau, 2011. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sextoestec/art1646.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2012.
- SILVA, M. L. P.; FURLAN, R.; RAMOS, I. **Development of miniaturized structures and setups for research and teaching of new concepts in Engineering**, 9th International Conference on Engineering Education, July 23 – 28, San Juan, PR, 2006, Session M5A.

DADOS DOS AUTORES



Luiz Fernando Pinto – aluno de engenharia e formado pela FATEC/SP, modalidade Mecânica de Precisão.



Roberto da Rocha Lima – Tecnólogo pela FATEC/SP, desde 1996, apresentou seu mestrado e seu doutorado, em 2004 e 2009, respectivamente, na Escola Politécnica da USP. Desde 1997, é especialista no Instituto de Física da USP. Sua linha de pesquisa envolve desenvolvimento de novos equipamentos.



Maria Lúcia Pereira da Silva – Química e Licenciada em Ciências pela USP desde 1980. Mestrado e doutorado em Físico-Química/USP, em 1989 e 1995, respectivamente, além de doutorado por láurea em 2006, na Yorker Un., Itália. Professora da FATEC/SP desde 1992 e pesquisadora na Escola Politécnica/USP desde 1985. Sua linha de pesquisa foca a Ecologia Industrial e o setor eletroeletrônico.