

Manipulação de Fluidos: Sugestão para o Ensino desse Conceito na Área de Engenharias

Mayara Minini
Faculdade de Tecnologia de São Paulo, SP – Brasil
srat_may@hotmail.com

Eduardo Yoiti Matsuy
Faculdade de Tecnologia de São Paulo, SP – Brasil
eyoiti@hotmail.com

Roberto da Rocha Lima
Universidade de São Paulo, SP – Brasil
rrlima@if.usp.br

Maria Lúcia Pereira da Silva
Faculdade de Tecnologia de São Paulo e Universidade de São Paulo, SP – Brasil
Universidade de São Paulo, SP – Brasil
malu@lsi.usp.br

Resumo – A tendência de miniaturização cada vez mais exige dos alunos de áreas tecnológicas um melhor conhecimento dos fenômenos que ocorrem em pequenas dimensões. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver metodologia e/ou experimentos, além de propor um protótipo, para o ensino de manipulação de fluidos em microcanais. Os microcanais utilizados foram produzidos em equipamento convencional e o arranjo de testes foi obtido com vidraria comum a laboratórios de Química. O conjunto permite compreender a interação entre gás e líquido, ou líquido e líquido, em microcanais e então, a partir dessa interação de fluidos, avaliar várias operações, em especial a formação de *spray* e a mistura de líquidos. Os resultados são obtidos rapidamente e são reprodutíveis, porém qualitativos, muito embora a informação obtida possa ser complementada pelo uso de simulação. Por fim, é possível o uso do arranjo em demonstrações em sala de aula.

Abstract – Miniaturization trends demand from students in technological areas a better knowledge of all phenomena that rule small dimensions. Therefore, the aim of this work was development of methodology, and corresponding experiments, to teach about fluid manipulation; moreover a prototype to be used on such subject was also proposed. Microchannels were produced using conventional tools whereas an experimental setup was developed using scientific glassware. The developed system is useful for understanding gas/liquid or liquid/liquid interactions in microchannels. Thus, this fluid interaction also allows understanding several operations, mainly spray formation and mixing. The results, although qualitative, are quickly and reproducibly obtained and can be complemented using simulation. Afterwards, the setup is easily manipulated during class.

Palavras-chave: Ensino em engenharias, Interação de fluidos, Miniaturização, Spray, Misturador.

Introdução

É consenso que os graves problemas ambientais da atualidade, decorrentes do uso indiscriminado de recursos naturais além de utilização de processos de produção pouco eficientes e/ou poluentes, demandam uma mudança drástica de atitudes dos profissionais, especialmente daqueles que atuam na área de engenharias. Dentro deste contexto, uma série de novos conceitos apareceram nas últimas décadas, em sua grande maioria tentando propor mecanismos para evitar, em lugar de mitigar, o impacto ambiental das atividades humanas. Assim, como observado por Garcia-Serna [1] em recente revisão, nas últimas décadas novos princípios e tendências tornaram-se as bases para as mudanças. É o caso da *The Natural Step* – que propõe de uma economia linear para uma economia cíclica e, para tanto, propõe que o tripé da sustentabilidade receba igual atenção em seus três aspectos: o econômico o ambiental e o social. Outra perspectiva importante é fornecida pela biomimética, que sugere que toda a inovação, e os respectivos desenvolvimentos, sejam inspirados na Natureza. Ainda sobre a questão de desenho de produtos, o *design for X* cria uma série de regras de projeto para evitar o desperdício e, são exemplos dessas regras, o desenho para a montagem e para a desmontagem, ou seja, novamente a idéia de ciclo de produção. A Produção Limpa, por sua vez, pressupõe a análise do processo para garantir o “resíduo zero”. Por outro lado, a noção expressa em de “cova-a-cova” é que se deve atingir a condição de não existência de resíduos por similaridade com a Natureza, isto é, mais do que “resíduo zero”, a questão é que toda a produção descartada em um ponto deve ser reutilizada em outro.

A idéia de “cova-a-cova” e do “design for X” são também premissas da Ecologia Industrial, mas, mais importante, a Ecologia Industrial propõe que os sistemas humanos são parte do sistema natural e devem ser analisado de modo semelhante [2]. Assim, fluxo de materiais, metabolismo industrial e Ecosistema Industrial são conceitos internos ao conceito de Ecologia Industrial. O estudo do fluxo de materiais e do metabolismo industrial corresponde a um conhecimento minucioso de como materiais transitam e são processados internamente a um empreendimento, o que é fundamental para atingir-se ciclos fechados de produção. Esses ciclos são, então, obtidos através dos Ecosistemas Industriais, ou seja, indústrias trabalhando de modo sinérgico, onde há resíduo de uma – agora denominado co-produto – seja utilizado por outra [3]. Dentro deste contexto também fica clara a importância dos 12 princípios da Engenharia Química Verde que, de modo geral, estabelecem maneiras de atuar no projeto e/ou produção de novos produtos de modo a evitar desperdícios futuros e/ou impactos ao ambiente. Portanto, Ecologia Industrial e Engenharia Verde são fundamentais para se obter, ou melhorar, a Sustentabilidade de um empreendimento [4,5]. Como também observado por Garcia-Serna [1] essas mudanças de paradigma implicam em mudanças significativas na área do ensino de engenharias. As mudanças, por sua vez, devem considerar não só a mudança de curriculum, mas também de métodos e ferramentas de ensino [6,7]

O setor eletroeletrônico [3] vem consistentemente diminuindo a emissão de poluentes em toda a sua cadeia de produção além de impactar os processos produtivos de inúmeros outros setores, dentre eles a Engenharia Química. Entre os principais motivos para essa tendência encontra-se a miniaturização [6], que se tornou uma forte tendência, por exemplo, na área de

análises [8] ou mesmo para o ensino em engenharias [9]. As vantagens da miniaturização são inegáveis, pois diminui o consumo de insumo em todo o ciclo de vida do produto, o que pouca recursos naturais. Os equipamentos são miniaturizados, por sua vez, demandam cada vez mais dos alunos de áreas tecnológicas um melhor conhecimento dos fenômenos envolvidos em pequenas dimensões, especialmente em microcanais. Assim, foi objetivo deste trabalho desenvolver metodologia e/ou experimentos, além de propor um protótipo, para o ensino de manipulação de fluidos em microcanais.

Metodologia

Esse trabalho utilizou como condição de contorno os 12 princípios de Engenharia Verde, portanto, todos os produtos usados no teste são ambientalmente corretos e puderam ser descartados sem qualquer tratamento prévio. Os microcanais utilizados foram produzidos em equipamento convencional e o arranjo de testes foi obtido com vidraria comum a laboratórios de Química.

A estrutura produzida com os microcanais trata-se de um *microspray* e já foi testada anteriormente, tendo apresentado bom desempenho, com formação de gotas da ordem de 10 μm [10].

A Figura 1a apresenta o esquema desta estrutura. A estrutura - composta por duas peças usinadas em acrílico e seladas com cola de silicone - apresenta dois microcanais de 40 μm de largura e dois comprimentos distintos, 73 cm e 20 cm. Contudo, o total do conjunto após montagem é pequeno, de cerca de 20 mm. As saída/entradas correspondem a tubos de aço de 1mm de diâmetro externo. A estrutura original admitia líquido em uma das entradas e gás em outra, para produzir um *spray*. Em relação ao uso inicial da estrutura, a modificação feita neste trabalho foi a adição de dois fluxos distintos de líquidos (ver detalhe no desenho) para obter a mistura. Para permitir a visualização da mistura, tanto internamente à estrutura como após a saída, ao atingir um anteparo, utilizaram-se anilinas vermelha e verde, que funcionam como traçadores. Foto da estrutura com as anilinas já adicionadas encontra-se na Figura 1b. O arranjo para testes em laboratório é simples e um esquema é apresentado na Figura 1c. Um compressor de ar de duas saídas e baixa vazão, como os utilizados em aquários de 50 litros, é usado para impulsionar os líquidos e capilares de polietileno e diâmetro interno de 1mm são usados como reservatórios. A injeção de anilina nesses capilares é feita com a ajuda de seringa descartável de volume total de 1ml. O *spray* obtido é coletado em uma folha de papel, que é mantida em um suporte universal. Nos experimentos iniciais, verificou-se que esta folha pode ser colocada em distância de até 20 cm em relação à saída da estrutura que ainda é possível coletar as gotas formadas pelo *spray*. Portanto, para evitar que várias gotas atingissem o mesmo ponto durante os experimentos, a distância foi sempre em 20 cm. A Figura 1d apresenta o arranjo utilizado, onde é possível verificar que a montagem é bastante simples. Além de compressor e estrutura, encontram-se na figura dois suportes universais e garras, além disso as seringas com as anilinas são mantidas em um tubo em "U", para facilitar a manipulação. Durante todo o experimento a estrutura foi filmada e, após cada experimento, fotos das gotas obtidas são retiradas para permitir avaliação da percentagem de mistura e do espalhamento. A porcentagem de mistura é avaliada estimando-se o

número total de gotas com cor distinta dos traçadores em função do número total gotas e o espalhamento é avaliado usando um gabarito com dimensões entre 1 cm e 6 cm (explicado posteriormente).

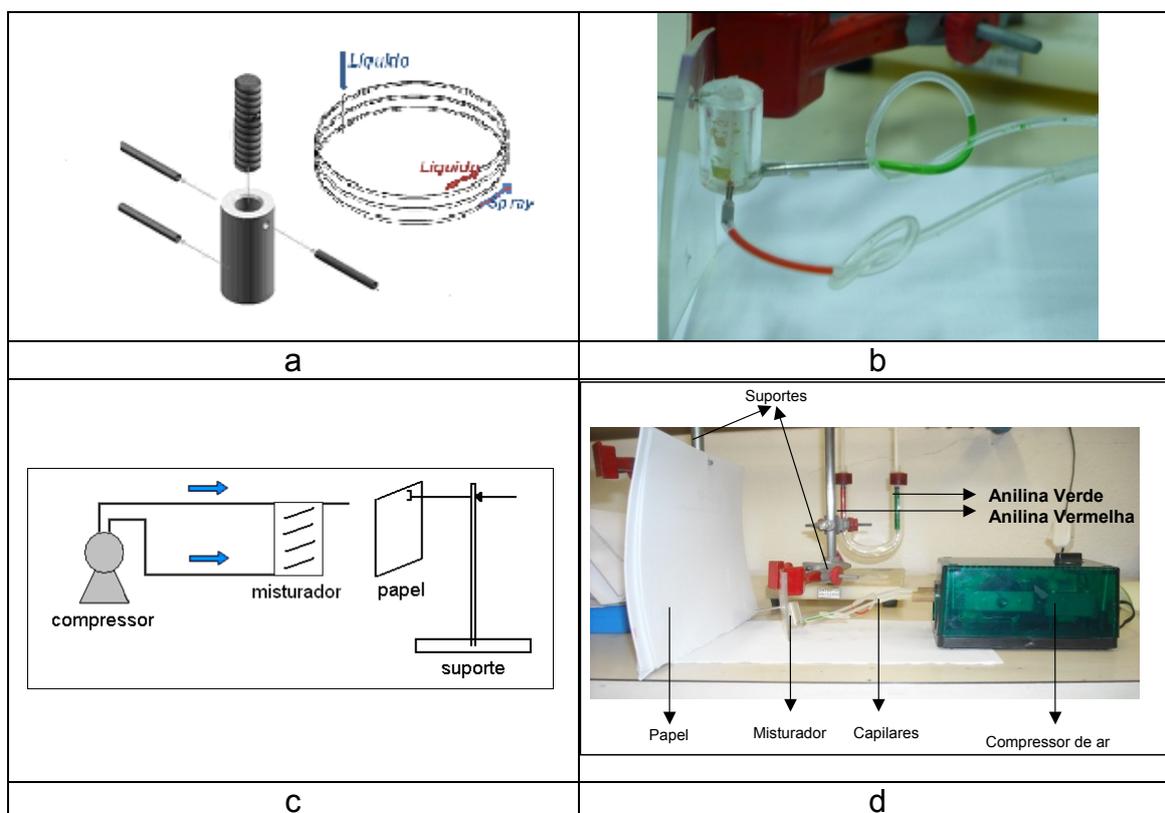


Figura 1 – Arranjo experimental em laboratório: (a) Esquema da estrutura utilizada como misturador, (b) Foto da estrutura utilizada como misturador e respectivos traçadores; (c) Esquema do arranjo de laboratório para testes do misturador; (d) Foto do arranjo de laboratório para testes do misturador

Resultados e Discussão

Apesar de ter uma construção bastante simples, inúmeros parâmetros podem ser mudados nesse arranjo experimental, tanto por mudança externa, i.e. por variação no entorno da estrutura, como por mudança na própria estrutura.

Variações na estrutura

Trabalhos anteriores [10,11] simularam a estrutura em uso e demonstraram que fortes interações ocorrem porque os canais encontram-se a 90°. Portanto, qualquer configuração da estrutura que facilite interações em 90° tende a aumentar a vorticidade no interior dos canais e mudar a resposta na saída, como por exemplo, produzindo gotas menores.

Assim, a posição das entradas e saída é uma condição que pode variar muito a resposta (capacidade de mistura e tamanho de gotas). Por exemplo, como pode ser visto nas figuras 1a e 1b, é possível colocar entradas em um mesmo plano que a saída (esquema, Figura 1a) ou a 90° (foto, Figura 1b), e neste último caso as interações são mais intensas. Além disso, também o canal

menor (com 20 cm) pode ou não estar alinhado com entradas ou saída, com a condição a 90° promovendo maior interação. Como a estrutura pode ser facilmente desmontável, é possível desenvolver tais testes na mesma estrutura, contudo, não podem ser efetuados no mesmo dia, pois, para garantir a boa selagem do conjunto, há um tempo de espera após a aplicação da cola.

Interações fortes são facilmente observadas em uma filmagem se as imagens são observadas quadro a quadro e a Figura 2 apresenta uma seqüência dessas fotos, obtida com a filmagem da mistura das anilinas internamente à estrutura. Uma análise detalhada permite encontrar regiões de coloração vermelha ou verde, enquanto outras são mais escurecidas, devido à mistura. Além disso é possível observar como a amostra é removida de cada capilar.

É também possível correlacionar tais imagens com as gotas obtidas no anteparo, como será explicado posteriormente.

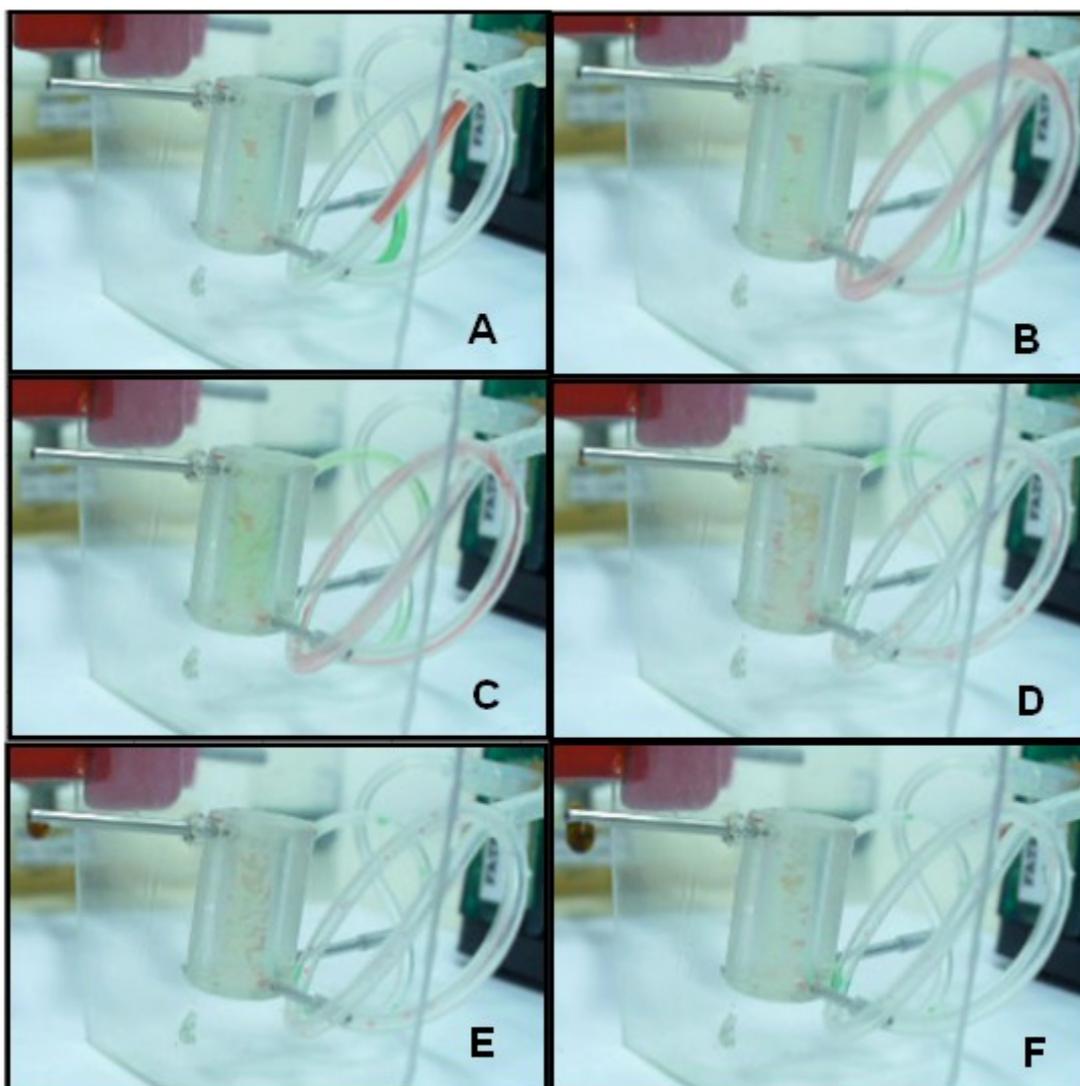


Figura 2 – Seqüência de fotos retiradas da filmagem da mistura das anilinas internamente à estrutura. AS letras indicam a seqüência no tempo.

Variações no entorno da estrutura

Mesmo mantendo-se fixa a posição do anteparo que recebe a amostra, uma série de variações pode ser inserida nos testes; porém, três condições provocam modificações facilmente compreendidas, ou mesmo estimadas, pelos alunos: 1) a localização da entrada dos fluidos; 2) a variação do comprimento dos capilares utilizados para admissão desses fluidos e 3) o volume de amostra. No primeiro caso obtém-se uma situação semelhante àquela da interação forte internamente à estrutura por posicionamento dos canais a 90°. A inserção do fluido em região próxima ou distante da entrada dos canais causa atraso no transporte e modifica a mistura obtida, quanto à percentagem e à dispersão obtidas. Volume distintos de amostra em cada um dos capilares também causam efeito semelhante.

A Figura 3 apresenta quatro situações de admissão de traçadores na estrutura onde, aparentemente, devido às simetria das condições, apenas dois resultados distintos devem ser obtidos, i.e. condição A e B ou C e D são equivalentes, onde no primeiro caso a admissão é na mesma região do canal menor, mas não no segundo. Contudo, como pode ser observado na Figura 4a, onde se encontram as respectivas fotos obtidas para tais condições, há mudanças significativas entre as fotos correspondentes às condições C e D. Com o uso da estrutura em que os canais estão a 90° é possível escolher uma condição onde o canal menor encontra-se mais distante de uma das admissões e o resultado da maior interação é a maior dispersão das gotas. Por outro lado, uma pequena variação na localização do fluido no capilar (condições A e B) pode favorecer a dispersão. É importante observar, contudo, que todas as condições favorecem a mistura, não se observando quantidade expressiva da cor verde nas fotos, por exemplo.

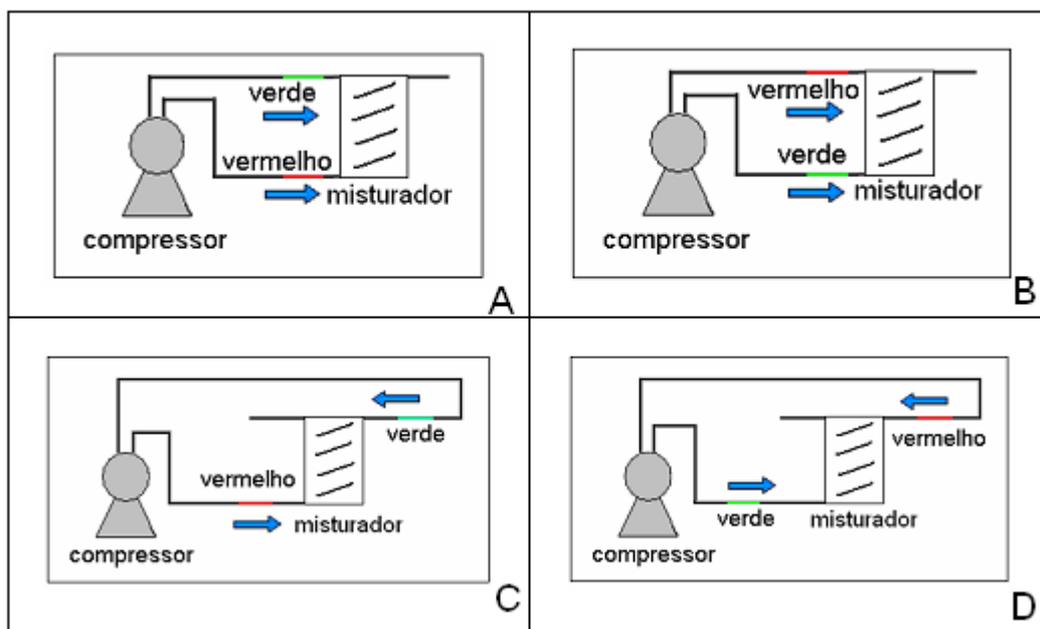


Figura 3 – Esquema dos modos de inserção dos traçadores na estrutura. As letras em cada esquema apresentam correspondência com os resultados da Figura 4a.

As fotos utilizaram gabarito impresso em folha de transparência de retroprojetor (Figura 4b) para facilitar a visualização, mas, para diminuir custo, é possível o uso de papel sulfite ou similar.

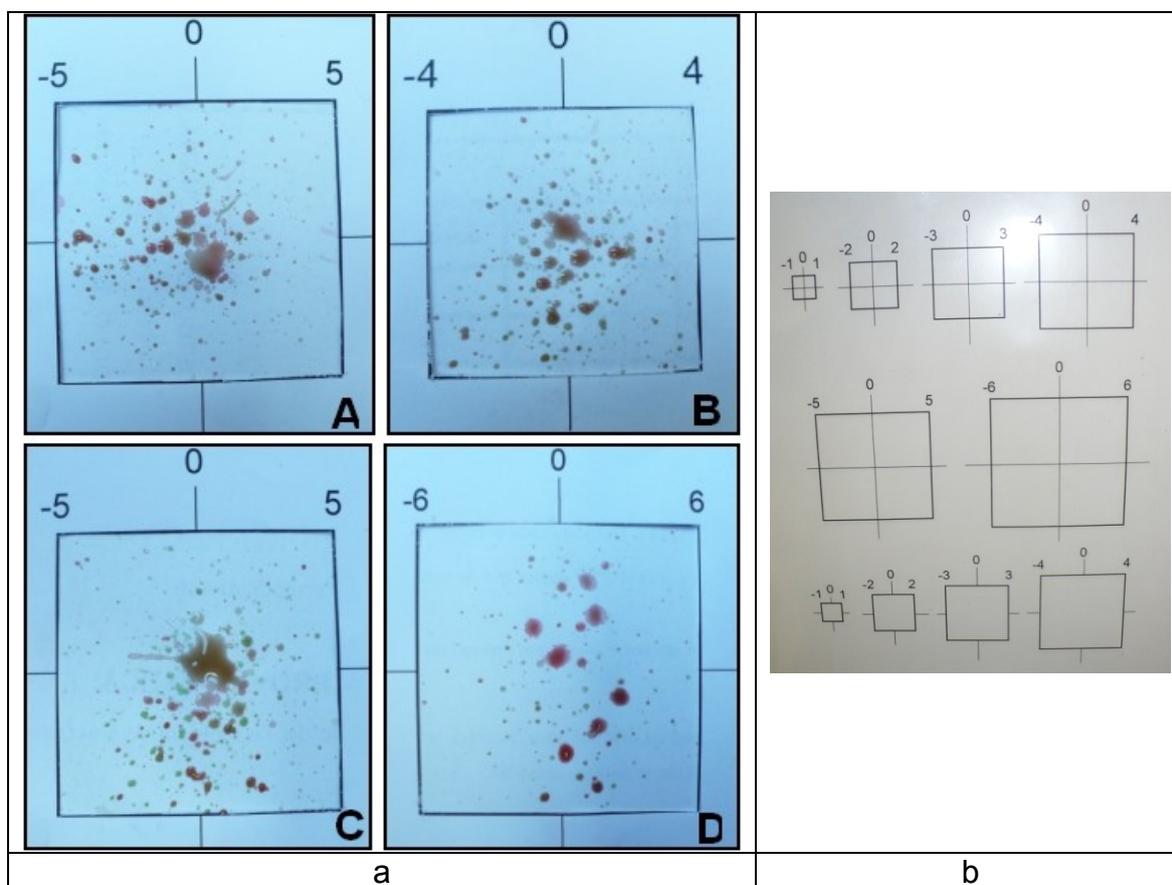


Figura 4 – (a) Resultado obtido para a mistura de acordo com as condições apresentadas no esquema da Figura 3 (a letra em cada foto apresenta correspondência com o esquema da Figura 3) e (b) gabarito utilizado para medição das gotas formadas.

Um protótipo, para uso em demonstrações em classe, foi construído e seus componentes podem ser vistos na Figura 5. O conjunto foi acomodado em uma caixa de aproximadamente 30 cm x 25 cm x 5 cm. O papel quadriculado da base, que foi recoberto com filme de pvc¹ para evitar manchas na placa de madeira que suporta as peças, permite que se observe qualquer gota “perdida” entre a saída da estrutura e “alvo”, ou seja, outro papel quadriculado, mantido sobre suporte vertical por imãs. O tamanho foi diminuído pelo uso de compressor de uma saída com duas válvulas abre/fecha acopladas. Estas válvulas também são utilizadas em sistemas de aquário e facilmente encontradas para compra. A vantagem do uso de válvulas é para variar outro parâmetro importante: o fluxo de ar pelo interior dos capilares. O valor do material requerido para construção do protótipo não ultrapassa R\$100.

¹ Pvc, cloreto de polivinila, no caso o produto conhecido como Contact®



Figura 5 – Foto do protótipo construído para demonstrações em sala de aula

Todas as **tabelas** deverão ser numeradas seqüencialmente, conforme o exemplo abaixo:

Conclusões

As novas tecnologias, entre outras coisas, são muito dependentes da miniaturização, o que exige uma melhor compreensão – especialmente pelos alunos de áreas tecnológicas - de fenômenos envolvendo manipulação/ interação de fluidos em pequenas dimensões. Este trabalho apresenta metodologia e experimentos simples para demonstrar tais conceitos. O arranjo proposto pode ser montado rapidamente utilizando-se vidraria comum de laboratórios de Química e, caso haja interesse do professor exibir tais experimentos em demonstrações em sala de aula, um conjunto portátil pode ser facilmente confeccionado.

A compreensão da interação entre gás e líquido, ou líquido e líquido, em microcanais é fundamental para a fabricação e/ou operação de equipamentos que atendem a várias operações, como por exemplo, *sprays* e misturadores. Apesar dos resultados serem qualitativos, a boa reprodutibilidade permite comparação, por exemplo, com resultados obtidos pelo uso de simulação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

[1] J. Garcia-Serna, L. Perez-Barrigon, M.J. Cocero, “New trends for design towards sustainability in chemical engineering: Green engineering”, Chemical

Engineering Journal, Volume 133, Issues 1-3, 15 September 2007, Pages 7-30

[2] B. F. C. Giannetti, M. V. B. Almeida, " *Ecologia Industrial Conceitos, Ferramentas e Aplicações*", Ed. Edgard Bücher, São Paulo, 2006

[3] J. G. Arbúcias, " *Melhoria da Sustentabilidade pela Aplicação do Conceito de Ecologia Industrial: estudo de caso no setor eletroeletrônico.*", Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008

[4] Urmila Diwekar, " *Green process design, industrial ecology, and sustainability: A systems analysis perspective*", Resources, Conservation and Recycling 44 (2005) 215–235

[5] Bruno Gagnon, Roland Leduc, Luc Savard, " *Sustainable Development in Engineering: A Review of Principles and Definition of a Conceptual Framework*" Environmental Engineering Science, Volume 26, Number 10, 2009

[6] Maria Lúcia Pereira da Silva, Rogerio Furlan, Idalia Ramos, " *Development of Miniaturized Structures and Setups for Research and Teaching of New Concepts in Engineering*", Session M5A, 9th International Conference on Engineering Education, San Juan, PR, July 23 – 28, 2006

[7] D. L. Hjeresen et. al., Green Chemistry and Education, Journal of Chemical Education, Vol. 77 No. 12, p. 1543-1547, Dec. 2000.

[8] Silva, M.L.P. e Gameiro, J.G., " *Pre-Concentrators: Trends And Future Needs.*", Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 25, n. 3, 2006, p. 123-130,

[9] Carvalho, A. T.; Simões, E. W.; Silva, M. L. P. " *Microreatores Para Avaliação De Adsorção: Simulação, Fabricação E Testes*", Boletim Técnico da FATEC-SP, BT/24, 2008, p. 28-32,

[10] Lílian Marques Silva, " *Conjunto de estruturas miniaturizadas para manipulação de misturas*", Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010

[11] L. M. Silva, R. R. Lima, E. W. Simões, M. L. P. da Silva, Proposal of Portable Equipment for Pretreatment in Chemical Analysis, vol 2, no. 1, 134-141, 2010

Contato

Mayara Minini, estudante da FATEC/SP, curso de Mecânica de Precisão e aluna de iniciação científica, srat_may@hotmail.com, fone 11-33222217.

Eduardo Yoiti Matsuy, estudante da FATEC/SP, curso de Materiais, Processos e Componentes Eletrônico e aluno de iniciação científica, eyoiti@hotmail.com, fone 11-33222217.

Roberto da Rocha Lima, doutor em Engenharia e especialista em laboratório do Instituto de Física da USP, rrlima@if.usp.br, fone: 11- 30916813

Eduardo Yoiti Matsuy

Maria Lúcia Pereira da Silva, doutora em Físico-Química e professora plena da FATEC/SP, no curso de Materiais, Processos e Componentes Eletrônico, malu@lsi.usp.br, fone 11-33222217.