

# INTERDISCIPLINARIDADE COMO CONSEQUÊNCIA DE TRABALHOS CONJUNTOS ENTRE NÍVEL TÉCNICO E SUPERIOR

DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p51-60>

Walter Pichi Jr.,<sup>1</sup> Daniel Couto Gatti,<sup>2</sup> Maria Lúcia Pereira da Silva<sup>3</sup>

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo criar metodologia de ensino, de caráter interdisciplinar, para a área ambiental e com o uso de equipamentos de baixo custo. A conscientização ambiental, por si só, não garante uma compreensão real da criticidade dos problemas atuais e, nesse contexto, mensuração de sistemas simples pode ser um caminho para tal compreensão. A metodologia utilizou a ideia de formação de forças-tarefa e de interação entre dois ou mais níveis de educação profissional, privilegiando a aprendizagem por solução de projetos (PBL). Enquanto coube aos alunos do ensino técnico o desenvolvimento dos testes e a exposição dos resultados, alunos de graduação e também graduados incumbiram-se da orientação guiada de tais alunos. O resultado obtido foi exposto no Congresso de Tecnologia da FATEC/SP do ano de 2014, no qual tanto estudantes de ensino médio quanto de graduação foram atendidos num processo de aula experimental. As múltiplas interações desses grupos heterogêneos de alunos foram úteis para melhorar a compreensão dos processos ambientais, como demonstrado por entrevista não estruturada.

**Palavras-chave:** Conscientização ambiental; compostos orgânicos voláteis; interdisciplinaridade; PBL.

## ABSTRACT

### INTERDISCIPLINARITY AS RESULT OF THE INTERACTIVE WORK BETWEEN TECHNICAL LEVEL AND HIGHER

This work aims the development of interdisciplinary methodology for teaching on the environmental area by the use of low cost equipment. Although environmental awareness is real nowadays that does not mean an actual understanding of the critic situation of day-by-day problems. Therefore, the development of simple stratagems for measuring real situations can facilitate this understanding. Methodological approach makes use of task forces and interaction among high schools students from a technical school and undergraduate fellows from technological faculty. It was also used the project based learning approach (PBL). Whereas high school students developed tests and methods for exposure the respective data, undergraduate persons provided advising in a guided perspective. Results were displayed on Technological Congress of FATEC/SP in the year of 2014. On this week, high school and undergraduate students were exposed to the material previously developed in an experimental class. Interviews with some players demonstrated that the multiple interactions that raised from these heterogeneous groups showed to be useful for develop the understanding of environmental processes.

**Keywords:** Environmental awareness; volatile organic compounds; mixing; interdisciplinary; PBL.

1 M. Sc., PUC-SP, SP/Brasil; jrww01@gmail.com

2 Prof. Dr., PUC-SP, SP/Brasil; daniel@puensp.br

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

## 1 INTRODUÇÃO

Alguns conceitos são de extrema importância para a área de engenharia, devido à complexidade do mundo moderno. Esse é o caso de “multidisciplinaridade”, “interdisciplinaridade” e “transdisciplinaridade”. Segundo CHOI (2006, 2007, 2008), esses termos são normalmente mal utilizados. Assim, enquanto “disciplina” já constava em dicionários formais há longo tempo, apenas na década de 1970 multidisciplinaridade e interdisciplinaridade foram definidas, sendo que transdisciplinaridade não era considerada nessa época. O autor, então, define tais termos: 1. a multidisciplinaridade trabalha o conhecimento de múltiplas disciplinas, mas permanecem os limites de cada campo de estudo; 2. a interdisciplinaridade analisa, sintetiza e harmoniza as conexões entre disciplinas criando, um novo “todo”; e 3. a transdisciplinaridade integra as ciências naturais e sociais num contexto humanitário e, ao fazê-lo, transcende as barreiras de cada campo de estudo.

Savery (2006) revisou uma abordagem bastante promissora de ensino e conhecida por cerca de quatro décadas: PBL (*Problem-based learning*), e apresentou suas inúmeras vantagens. Sua origem remonta também à década de 70, e foi inicialmente utilizada nas áreas de saúde, uma vez que, em medicina, se trabalha com problemas complexos e sistêmicos. Essa abordagem, multidisciplinar e focada no aluno, avançou rapidamente para outras áreas de ensino, tendo sido adotada, já ao fim do século XX, mesmo em escolas de ensino básico. Segundo o autor, PBL potencializa para os estudantes o desenvolvimento de pesquisa, a integração de teoria e prática, a aplicação de conhecimento e o desenvolvimento de competências/habilidades na solução de problemas. É crítico, portanto, há seleção dos problemas, de preferência interdisciplinares, e um tutor, para guiar a aprendizagem, levando a experiência a um bom termo. Não somente a solução de problemas, mas também estudos de caso e a assim denominada aprendizagem por projetos (*Project-based learning*, *PrBL*) podem ser vistas como parte do conceito de PBL. Estudos de caso e projetos ajudam no desenvolvimento do pensamento crítico, além de propiciar análise e síntese mais apurada.

Para a área de engenharia, devido à rápida evolução tecnológica, a avaliação de sistemas complexos tornou-se o dia a dia, ou seja, o uso de PBL, de modo geral, pode ser bastante útil, muito embora seja mais comum a utilização específica da aprendizagem por projetos, muitas vezes, também denominada PLE (*Project-led education*). A PLE foi vista como uma maneira de desenvolver competências transversais e de evitar desistências no início dos cursos de engenharia (FERNANDES, 2014). A autora usou essa estratégia no primeiro ano de um curso de mestrado e envolveu pesquisadores, tutores, ou seja, privilegiou a interação entre vários atores, de aluno de graduação à pós-graduação, e verificou uma alta interatividade entre todos.

O ensino de questões ambientais é igualmente complexo, não só pelo número de variáveis existentes como também pela atitude das pessoas frente ao tema, que, segundo Lovelock (2006), pode ser descrita de preconceituosa a até dogmática. Assim, torna-se fundamental orientar os alunos para uma melhor compreensão do assunto e, nesse aspecto, a experimentação pode ser de grande ajuda, ou seja, atuando como propõe a abordagem PBL.

Um problema ambiental sério são as emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs, VOCs, em inglês). Por exemplo, em edifícios, é comum a existência de formaldeído, molécula carcinogênica advinda da fumaça de cigarros e plásticos (MOZETO, 2001). Por outro lado, devido ao baixo limite de detecção desses compostos, são necessários, para sua localização, equipamentos custosos, como cromatógrafos a gás (ALVES, 2006).

Para o ensino na área de engenharias, mesmo no início da graduação formal, é comum o uso de *kits* (DONOHUE; RICHARDS, 2008). No país, Boesing usou *kits* e a metodologia de PBL num curso de engenharia para construção de protótipos (BOESING *et al.*, 2008). Em trabalho anterior (PICHIRI JR., 2011), um *kit* de baixo custo para ensino de cromatografia foi desenvolvido e testes de laboratório demonstraram o bom limite de prospecção dos detectores de COVs.

Portanto, pelo anteriormente exposto, fica clara a urgência em se tratar de certos temas e as vantagens do uso de abordagens que favoreçam metodologias ativas e instrumentação adequada. Assim,

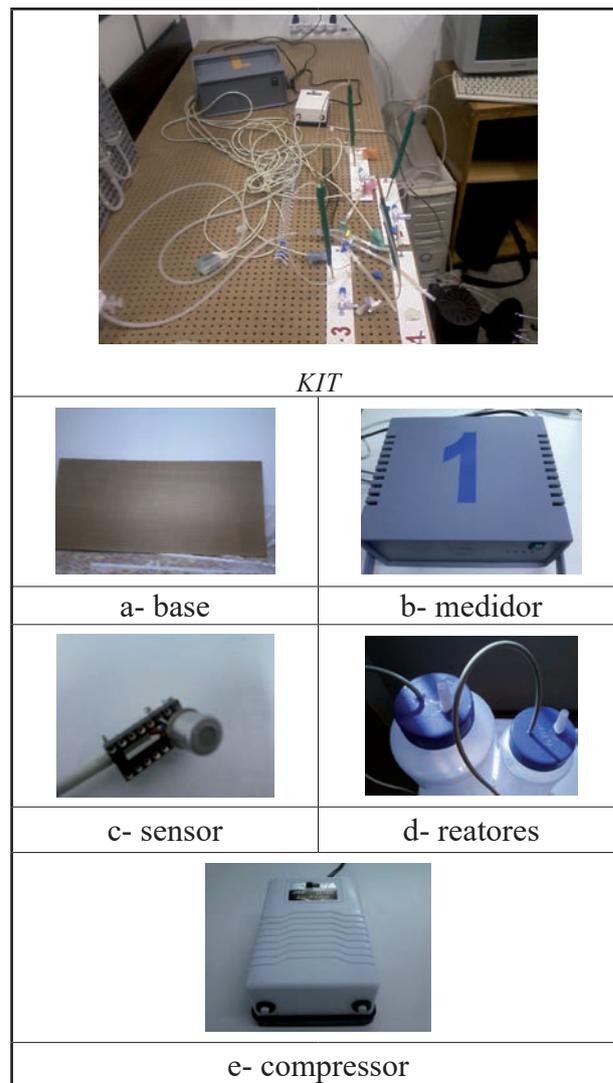
este trabalho teve como objetivo criar metodologia de ensino, de caráter interdisciplinar, para a área ambiental e com o uso de equipamento de baixo custo.

## 2 METODOLOGIA

Principalmente por se tratar de trabalho na área ambiental, as atitudes, durante todo o processo, não apenas no uso de protótipos, mas também quando do desenvolvimento de processos, são importantes para criar hábitos ambientalmente corretos em qualquer situação, e, em especial, na área produtiva. Portanto, estabeleceu-se como condição *sine qua non* o uso de sistemas de baixo custo e ambientalmente corretos, além do respeito aos “12 Princípios da Engenharia Química Verde” (SHONNARD, 2003; JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, 2011; TSOK, 2004).

O principal instrumento do teste é um protótipo, já mencionado, responsável pela medida de compostos orgânicos voláteis na faixa de 50ppm a 300ppm (PICHIRI JR., 2011). Essa faixa de medida é adequada para determinação de contaminação pela maioria dos COVs. Esse protótipo (formado por medidor e sensor) foi adaptado a uma base e recebeu partes e peças auxiliares, que permitem a medida na faixa pré-estabelecida, tanto estaticamente como em fluxo contínuo. Para tanto, recipientes, com função de reatores e compressor de ar, como os utilizados em aquários de 50 litros, para permitir o fluxo contínuo, foram fixados à base. Todas as conexões do sistema são de uso hospitalar (Hartmann®); assim, apesar do baixo custo, são bastante reproduzíveis e com pouca probabilidade de vazamento. A adição de pequenas quantidades de ar contaminado com vapor de compostos orgânicos é feita com o uso de seringa de insulina de 0,03 ml (30 unidades). As principais partes desse arranjo experimental podem ser vistas na Figura 1. Os dados obtidos são gravados em computador pessoal (não apresentados na figura). Os reagentes utilizados, para simular contaminação por compostos orgânicos, foram álcool isopropílico e acetona, grau P.A. (para análise), mas material semelhante pode ser adquirido em casas fornecedoras de produtos cosméticos (grau USP), ou seja, são de fácil acesso.

**Figura 1 – Arranjo experimental para teste de compostos orgânicos voláteis (COVs): a) base; b) medidor; c) sensor; d) reatores para medida; e) compressor.**



A questão intrínseca e relevante que este trabalho procura responder, e que, no mais, parece ser comum a todos os professores, em diversos países, é como se utilizar, de modo eficiente, dos equipamentos eletrônicos, especialmente os diários, para demonstração de conceitos complexos. Como exemplo, podemos citar análise do ar, em áreas restritas ou confinadas, monitoramento de gases, termodinâmica, dinâmica dos fluidos, aquecimento e transferência de massa, controle de processos, entre outros. Assim, a metodologia de projeto e produto, considerando-se, em especial, as propostas para a área de eletroeletrônicos, se insere nesse contexto. Um modelo possível é o CESD (*Cooperative Experimental System Development*), que sugere “integrar

ativamente o usuário durante todo o processo; testar protótipos em situações reais ou muito próximas das reais e fazer projetos sob medida” (PERRY, 2005 *apud* PICHI JR., 2011). O que também é consistente com uma nova forma não linear de pensar o projeto, conhecida como “4Ps do *Design*”, já que o pensar do ser humano é reconhecidamente não linear. Por fim, tal abordagem é adequada, como já afirmado, aos 12 princípios de Engenharia Verde (SHONNARD, 2003; JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, 2011; TSOK, 2004). Um modo não linear de agir pode ser a formação de equipes heterogêneas, com pessoas com *background* e idades diferentes (FERNANDES, 2014). Além disso, como o trabalho utiliza a ideia de formação de forças-tarefa e de interação entre dois ou mais níveis de educação profissional, privilegiando a aprendizagem por solução de projetos (PrBL ou PLE), uniram-se cinco alunos de ensino médio, uma estagiária de graduação e um graduado (auxiliar de professor) com dois professores e tutores do ensino superior. Coube aos alunos do ensino técnico o desenvolvimento dos testes e a exposição dos resultados; alunos de graduação e também graduados incumbiram-se da orientação guiada de tais alunos, ou seja, também respeitando a metodologia de ensino proposta pelo PBL (*Problem-based learning*), dando empoderamento a cada um dos integrantes da força-tarefa.

O arranjo experimental, após vários testes desenvolvidos pelos alunos de nível técnico – sempre acompanhados dos respectivos pares da graduação, foi considerado certificado e apresentado no Congresso de Tecnologia da FATEC/SP, do ano de 2014. A exposição ocorreu de forma que os cinco alunos de nível técnico se revezassem no estande, onde ocorriam as demonstrações, garantindo sempre dois alunos presentes no espaço por, pelo menos, 4 horas/dia, durante a semana. Os alunos não apenas faziam as demonstrações como também respondiam as dúvidas sobre as características do arranjo experimental, ou seja, eram responsáveis por todas as tarefas, muito embora pudessem ser assistidos pelo auxiliar de professor, que permaneceu continuamente no estande. O público atendido nessas demonstrações foi bem diverso, uma vez que o Congresso de Tecnologia da FATEC/SP é comumente visitado não apenas pelos alunos de graduação da

instituição, como também por alunos de outras faculdades e/ou profissionais da região sul/sudeste, e mesmo por alunos interessados em prestar vestibular nessa faculdade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para compreensão dos resultados obtidos com o uso do arranjo experimental, em ambiente aberto e diversificado, este item foi estruturado da seguinte forma: primeiro explicam-se os testes e apresentam-se resultados típicos, para que o leitor entenda as potencialidades do arranjo construído e as demonstrações que ocorreram com tal arranjo. Descrevem-se, então, as principais interações que ocorreram durante a exposição no estande, encerrando-se com uma avaliação crítica do que se considera serem as principais conquistas obtidas nesse projeto.

#### 3.1 Experimentos em modo estático desenvolvidos no arranjo construído

Os recipientes usados como reatores foram escolhidos com 0,5 L e 1 L, para facilitar o manuseio e, também, o cálculo estequiométrico de inserção de contaminantes. Esses cálculos são necessários devido à faixa de detecção dos sensores utilizados. Para facilitar a visualização do procedimento de inserção de contaminante nesses frascos, a Figura 2 apresenta o passo a passo a ser realizado, e a Tabela 1 os respectivos cálculos. Inicialmente (Figura 2A), reveste-se a boca do recipiente contendo o reagente com filme de PVC (Magipack®). Para remover uma amostra, perfura-se o filme plástico com a seringa e retira-se amostra considerável, no presente exemplo, 0,03 ml (Figura 2B). A vantagem de recolher grande quantidade é que se evitam erros de leitura na obtenção da amostra. Descarta-se parte da amostra, de acordo com o interesse de medida, nesse caso, 0,01 ml (Figura 2C). Adiciona-se quantidade apreciável de ar para diluir a amostra, nesse exemplo 0,03 ml e, por fim, insere-se no reator, no presente caso, 0,01 mL (Figura 2D).

Pela análise da Tabela 1, por sua vez, observa-se que não deve ser possível fazer a medida com os respectivos sensores (faixa de medida fora do determinado anteriormente, de acordo com o item me-

todologia), e a tentativa de medida pode checar o resultado teórico obtido.

**Figura 2 – Passo-a-passo a ser realizado no procedimento de inserção de contaminante nos reatores apresentados na Figura 1.**

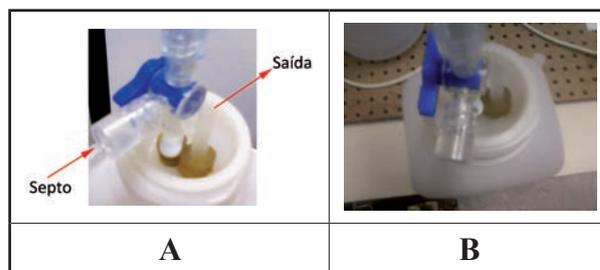
	
a- revestimento do recipiente	b- retirada de 0,03 ml
	
c- medida com 0,01 ml	d- inserção de 0,01 ml

**Tabela 1 – Cálculos da diluição apresentada na Figura 2.**

Passo	Concentração do reagente (álcool isopropílico)
A	33 mmHg a 20°C
B	$PV = nRT$ e molecg-g do álcool = 60 g $33.0,030.10^{-3} = n.62,3.(20+273)$ $n = 5,4.10^{-8}$ $m = 3,2.10^{-6}g$ ou seja 3,2 g
C	$m = 1,1.10^{-6}g$ ou seja 1,1 µg
D	$1,1 \mu\text{g} \quad \text{---} \quad 0,03 \text{ mL}$ $X \mu\text{g} \quad \text{---} \quad 0,01 \text{ mL}$ $X = 0,37 \mu\text{g}$
Massa de ar nos reatores	Densidade do ar = $1.1.10^{-3} \text{ g/cm}^3$
	Reator de 1 l $1,1.10^{-3} \text{ g} \quad \text{---} \quad 1 \text{ cm}^3$ $X \text{ g} \quad \text{---} \quad 1000 \text{ cm}^3$ $X = 1,1 \text{ g}$
Concentração final	Reator de 1 l $0,37 \mu\text{g}/1,1 \text{ g}$ 0,33 ppm
	Reator de 0,5 l $0,37 \mu\text{g}/0,55 \text{ g}$ 0,67 ppm

Para compreensão dos possíveis usos dos recipientes alocados como reatores, a Figura 3 apresenta detalhes de tais recipientes, e as figuras 4 a 6, resultados obtidos com o uso desse arranjo.

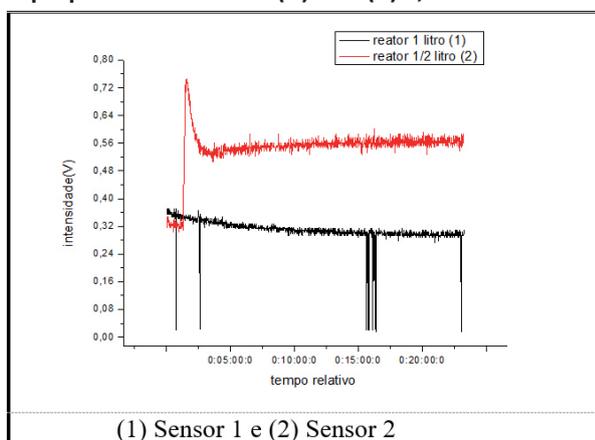
**Figura 3 – Recipientes utilizados como reatores no arranjo experimental da Figura 1: (A) detalhes da montagem, com septo pra inserção e saída de ar, e (B) vista geral.**



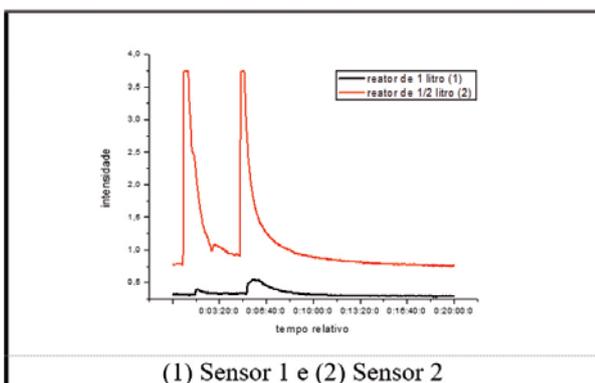
Como é possível observar na Figura 3, o reator é um recipiente plástico, da Nalgon®, ou seja, com volume bem definido e superfície pouco reativa. À tampa do recipiente foram adicionadas: a) uma válvula de três vias e septo. Enquanto o septo permite a injeção de pequeno volume de ar contaminado, para uma medida estática, a outra entrada da válvula é utilizada em conjunto com o compressor de ar A), e respectiva saída no recipiente para medida dinâmica B). É importante observar que também foi inserido nesse recipiente o sensor que determina a existência do composto e sua quantidade. A localização desse dispositivo é aproximadamente a 2/3 da máxima altura do recipiente. Nessas condições, a dispersão do reagente após a inserção pode ser observada em função do tempo, para, entre outras coisas, permitir discussões, por exemplo, sobre formação de plumas de contaminantes. Assim, resultados interessantes podem ser facilmente obtidos nesse arranjo, e as figuras 4 a 6 apresentam alguns exemplos. Nessas figuras, a inserção de álcool isopropílico é variada em quantidade. Para se obter inserção de pequenas quantidades, é necessária a diluição do contaminante, o que obriga o aluno a fazer cálculos estequiométricos (Tabela 1) e, principalmente, explicá-los para discutir os dados. A medida não é “instantânea”, ou seja, o equilíbrio na concentração do reagente inserido ocorre após vários segundos da inserção, o que, como abordado anteriormente, ajuda a discutir a dispersão de contaminantes no meio. Há um

limite para a medida do sensor, ou seja, é possível encontrar o ponto de saturação na medida e inter-relacionar isso com as faixas seguras de emissões de contaminantes. Por fim, a adição de várias amostras sequencialmente permite imaginar o que ocorre no caso de acúmulo de poluição, por exemplo, como é frequente em inversões térmicas na cidade de São Paulo.

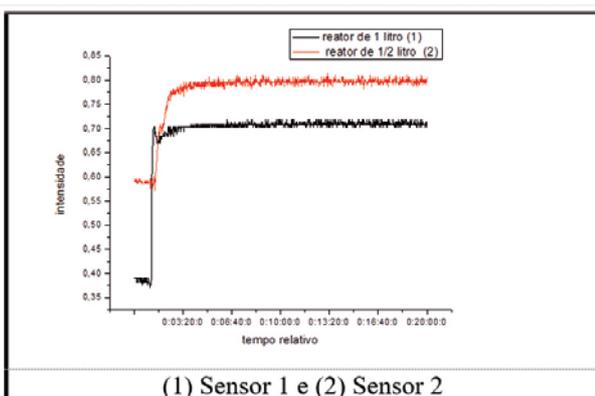
**Figura 4 – Gráfico da inserção de 10  $\mu$ L de álcool isopropílico ao reator de (A) 1L e (B) 0,5 L.**



**Figura 5 – Gráfico da inserção de 30  $\mu$ L de álcool isopropílico ao reator de (A) 1 L e (B) 0,5 L.**



**Figura 6 – Gráfico da inserção de 10  $\mu$ L de álcool isopropílico ao reator de (A) 1 L e (B) 0,5 L.**



### 3.2 Experimentos em modo dinâmico desenvolvidos no arranjo construído

A remoção dos contaminantes de dentro dos reatores é muito simples, porque são produtos ambientalmente corretos e usados em pequena quantidade. Contudo, essa remoção foi pensada para também favorecer a formulação de um ciclo de produção nas mentes dos alunos envolvidos, ou seja, evidenciar que nada é perdido na natureza, apenas troca de lugar, estado físico, etc. Portanto, com a ajuda do compressor de ar, é possível retirar o contaminante e, ao mesmo tempo, monitorar a “limpeza” do reator. Além disso, devido à boa sensibilidade dos detectores e da existência de oito deles, capazes de efetuar medidas simultaneamente, é possível monitorar o entorno do reator e observar como ocorre a dispersão desses reagentes. Por fim, para avaliar como atua um sistema de tratamento de efluentes convencional, como, por exemplo, um lavador de gás, pode-se adicionar à saída do sistema vidraria adequada (dedo frio), para recolhimento do contaminante em água, já que esses são solúveis, ou seja, para funcionar como lavador de gás. É importante observar que lavadores de gases são instrumentos comuns na remoção não só de contaminantes em fase líquida ou gasosa, como também particulados, sendo o setor sucroalcooleiro um bom exemplo dessa utilização, devido à alimentação de suas caldeiras, muitas vezes, dependentes da queima de bagaço de cana (FEREZEIN, 2014; MACEDO, 2014). Assim, em última análise, pode-se discutir fechamento de ciclos e suas dificuldades, como, por exemplo, como medir a quantidade de contaminante que ficou retida na água utilizada no lavador de gás ou mesmo a eficiência do lavador.

Fechamento de ciclo é a essência do conceito de “ecologia industrial” (GIANNETTI, 2006), que propõe que apenas energia solar possa ser gasta, como se fosse recurso infinito, enquanto todos os outros bens – não importa se matéria-prima ou co-produto ou mesmo os processos desenvolvidos por nós – devem ser vistos como parte dos sistemas terrestres. Muito embora o conceito de ecologia industrial seja relativamente recente, a abordagem de produção em ciclo não. É interessante notar que há 50 anos, Boulding (1966) já escrevia sobre a economia

da espaçonave Terra e propunha que a economia em ciclo, que existiria em futuro próximo, poderia ser chamada de “economia do astronauta”, porque a Terra seria vista como uma simples nave espacial, na qual não existiriam reservatórios ilimitados de materiais a serem extraídos ou poluição a ser destinada, e que, nesse contexto, o homem encontraria seu lugar em um sistema ecológico e cíclico. Assim, muito embora os recipientes usados como reatores possam rapidamente voltar à condição inicial de limpeza para serem reutilizados simplesmente pela adição de pequena quantidade de água, retirada e secagem, uma vez que os reagentes utilizados são solúveis em água, essa abordagem foi evitada, já que não favorece a conscientização ambiental nem cria a responsabilidade sobre os resíduos, adequando o comportamento à ideia de poluidor/pagador aceita na Constituição brasileira.

Assim, é possível criar uma situação de resolução de projetos/problemas que fomenta a interdisciplinaridade, que nasce pela percepção de vários vetores distintos, desde aquele mais intuitivo até o mais complexo. Intuitivo porque aponta de forma bastante linear desde a manipulação de fluidos até a produção de açúcar e álcool; linear porque permite a visão de indústria química e reatores com o “*scale up*” do arranjo experimental ora desenvolvido; e complexo porque assume desde conceitos complexos até a inter-relação com disciplinas aparentemente distantes, como economia e direitos adquiridos, mas, para muitos, difusos e pouco compreendidos. Essa abordagem também permite a extrapolação, por exemplo, com uma analogia com questões mais próximas do dia a dia, e normalmente negligenciadas, como o correto descarte e o aproveitamento do lixo. Nesse contexto, Rossato e Neto (2014), entre outros, utilizou a reciclagem de lixo para iniciar a educação ambiental de 650 alunos do ensino fundamental, o que, segundo a autora, permitiu uma maior interdisciplinaridade no ensino.

É certo que a resposta à pergunta última: “é possível recuperar o reagente da água utilizada no lavador de gás?” não é trivial, e que a resolução de tal questão não é esperada para os alunos de nível médio – os quais foram abordados com a intenção de se tornarem mais conscientes ambientalmente –, mas pode ser uma questão vital para os alunos de

graduação, mais aptos a discutirem desenvolvimento de tecnologia. Mesmo sendo essa uma pergunta aberta, ou seja, para a qual não se espera solução definitiva – ela cria as bases para a necessária inquietação em um profissional consciente. Na verdade, espera-se que os alunos/participantes do experimento observem que, por se tratar de um produto solúvel em água em qualquer proporção, o lavador de gás pode trabalhar em ciclo fechado, ou seja, quando a quantidade de contaminante for alta, que haja alguma forma nobre de destinação, como a destilação para obtenção do álcool. Dito de outro modo, é uma forma de deixar a força-tarefa consciente da necessidade de “pensar fora da caixa”, ou, parafraseando Steve Jobs, ter em mente que, muitas vezes, você não sabe o que quer, até alguém de fora da questão apontar-lhe.<sup>4</sup>

### 3.3 *Uso por terceiros*

O arranjo experimental permaneceu disponível toda a semana no Congresso de Tecnologia da FATEC/SP, em outubro de 2014. Inicialmente, esperava-se, nesse experimento, observar várias inter-relações e com intensidades diferentes, como apresentado na Figura 7. Assim, os alunos do nível médio, devido ao alto grau de liberdade, podiam interagir igualmente com todos os presentes na feira; por outro lado, os alunos de graduação, ou mesmo os professores, deveriam funcionar mais como observadores, ou seja, serem acessados, se tal ocorresse, por via indireta. Algumas dessas inter-relações efetivamente foram observadas; por exemplo, os alunos de nível médio atuaram de forma independente para atender a todos os interessados no estande, contudo, segundo nossa percepção, essa grande proatividade ocorreu devido à presença dos alunos de graduação, com quem os estudantes de nível médio estabeleceram boas relações de trabalho e pessoais. O indicativo da aparente necessidade do aluno de graduação como suporte é a maior interação (se comparada com o esperado) dos dois grupos (nível médio/graduação). Por outro lado, a interação do auxiliar do professor com os tutores

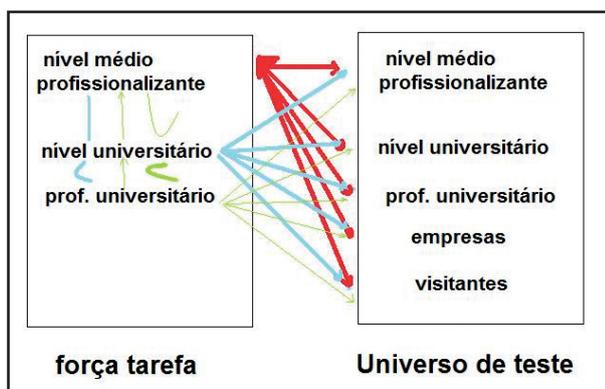
4 Segundo a revista *Exame*, a frase dita por Steve Jobs foi “Para uma coisa tão complicada, é realmente difícil conceber produtos com base em estudos do tipo “*focus groups*”. Muitas vezes, as pessoas não sabem o que querem até que mostremos a elas.” Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/15-frases-geniais-de-steve-jobs>>. Acesso em: 30 nov. 2014.

foi bem menor que o esperado, quase a zero. Isso é um indicativo da importância desse profissional no desenvolvimento de trabalhos práticos, e que não foi observado em trabalhos similares, tais como o de Fernandes (2014), anteriormente citado. Talvez porque, neste trabalho, o empoderamento ocorre principalmente no nível da pós-graduação, por si só, formada por pessoal com boa experiência anterior. Esse dado, então, sugere a adaptação de propostas como as de CUNNINGHAM (2007) ou de LOCKE (2009), para inserir um nível intermediário nos multiplicadores das ações de ensino. Outra inter-relação que ocorreu de modo inesperado foi providenciada pelos visitantes de empresas; nesse caso, esses pediram para falar diretamente com os professores responsáveis, ou seja, a presença do auxiliar de ensino não foi considerada por tais profissionais. A explicação mais provável é que esses visitantes estão acostumados a atuar nos níveis estratégicos, e não consideraram que as pessoas presentes poderiam responder às suas perguntas, mais voltadas para questões metodológicas ou de longo prazo, como continuação de pesquisa, etc.

Não se observou dificuldade, para qualquer visitante, não importa sua formação, para a compreensão do arranjo experimental.

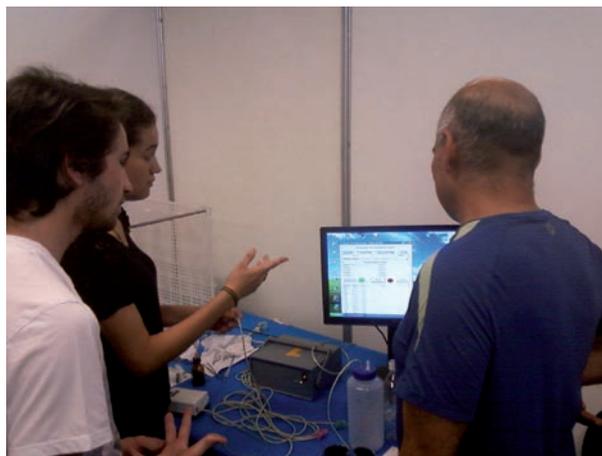
Por fim, as múltiplas interações dentro desse grupo heterogêneo de alunos (nível médio, em uma área distinta da formação do graduado, etc.) foram úteis para melhorar a compreensão dos processos ambientais, como demonstrado por entrevista não estruturada, após o término da exposição no referido Congresso.

**Figura 7 – Mapa conceitual das inter-relações entre a força-tarefa e os visitantes.**



Essas interações profícuas e a ansiedade dos alunos, principalmente os do ensino médio, no estande do Congresso de Tecnologia da FATEC, são um grande indicador para a conclusão de que PBL e interdisciplinaridade podem se dar com equipamentos de baixo custo (Figura 8).

**Figura 8 – Imagem da apresentação no Congresso de Tecnologia da FATEC/2014.**



## 4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um arranjo experimental, e respectivos testes feitos em campo, que tinha como objetivo aumentar a conscientização ambiental de alunos em vários níveis de formação. É importante salientar que o arranjo produzido é de baixo custo e suas partes e peças podem ser obtidas individual e facilmente por interessados em reproduzi-lo, mesmo que a respectiva compra tenha de ocorrer pela Internet. Mesmo os reagentes químicos, que costumam ser obstáculo no desenvolvimento de experiências em local fora de laboratório controlado, não representam problema, porque são ambientalmente corretos e podem ser facilmente obtidos em qualquer local de venda de produtos para fabricação de cosméticos.

O arranjo foi testado e apresentado em Congresso, por uma força-tarefa heterogênea, composta por alunos de mais de um nível de formação, e que se mostrou útil para melhorar a compreensão dos processos ambientais.

A interdisciplinaridade foi facilitada com o treinamento dos alunos para que entendessem que os reatores poderiam ser mais do que uma experiência, pois apresentavam outros problemas, como, o que

fazer com os resíduos, que, embora não sendo tóxicos, não poderiam ser descartados em lixo comum, pois não é o procedimento padrão em empresas.

Uma possível continuação dessa pesquisa pode ser a maior miniaturização desses reatores, o que, em trabalhos anteriores, já se mostrou bastante eficiente (CARVALHO, 2008; MININI, 2010; SILVA, 2006).

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP e ao CNPq.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, C.; PIO, C.; GOMES, P. **Determinação de hidrocarbonetos voláteis e semi-voláteis na atmosfera**. Química Nova, São Paulo, v. 29 n. 3, June, 2006, p. 477-488, DOI:dx.doi.org/ 10.1590/S0100-40422006000300014.
- 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.
- BOULDING, K. E. The Economics of the Coming Spaceship Earth. In: JARRETT, H. (Edit.) **Environmental Quality in a Growing Economy**, 1966, p. 3-14.
- CARVALHO, A. T.; SIMÕES, E. W.; SILVA, M. P. Microrreatores para avaliação de adsorção: simulação, fabricação e testes. **Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, v. 24, p. 28, 2008.
- CHOI, B. C. K.; PAK, A. W. P. Multidisciplinary, interdisciplinary and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 1. Definitions, objectives, and evidence of effectiveness. **Clinical and Investigative Medicine**, v. 29, n. 6, p. 351-364, 2006.
- CHOI, B. C. K.; PAK, A. W. P. Multidisciplinary, interdisciplinary and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 2. Promotors, barriers, and strategies of enhancement. **Clinical and Investigative Medicine**, v. 30, n. 6, p. E224-E232, 2007.
- CHOI, B. C. K.; PAK, A. W. P. Multidisciplinary, interdisciplinary and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: 3. Discipline, inter-discipline distance, and selection of discipline. **Clinical and Investigative Medicine**, v. 31, n. 1, p. E41-E48, 2008.
- COLLABORATION. ENVIRONMENTAL. SCIENCE. TECHNOLOGY, v. 37, p. 5.453-5.462, 2003.
- 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.
- FERNANDES, S., *et. al.* Engaging students in learning: findings from a study of project-led education. **European Journal of Engineering Education**, v. 39, n. 1, p. 55-67, 2014. DOI: 10.1080/03043797.2013.833170.
- GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial**: conceitos, ferramentas e aplicações, São Paulo: Edgar Blücher, 2006.
- GONÇALVES, E. M. *et al.* Análise de emissões de gases e material particulado em caldeiras do setor sucroalcooleiro. **Ciência & Tecnologia**: FATEC-JB, Jaboticabal, v. 6, n. 1, p. 15-21, 2014.
- JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, C. *et al.* Key green engineering research areas for sustainable manufacturing: a perspective from pharmaceutical and fine chemicals manufacturers. **Organic Process Research & Development**, v. 15, n. 4, p. 900-911, 2011.
- 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.
- LOVELOCK, J. E. **A vingança de Gaia**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.
- MACEDO, P. C., Rendimiento de morteros producidos con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar. **Revista . Ingeniería & Construcción**, v. 29, n. 2, 2014, DOI: /10.4067/S0718-50732014000200005.
- 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.
- MOZETO, A. Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 1, p. 41-48, 2001.
- PERRY, T. G. **Proposta de uma metodologia participativa para o desenvolvimento de software educacio-**

nal. Dissertação Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRS, 2005.

PICHI JR., W. **Construção de protótipo para ensino na área tecnológica: cromatografia como estudo de caso**. 123fls. Dissertação - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2011.

ROSSATO, I. F.; NETO, V. N. Trabalho de educação ambiental para conscientizar da importância na reciclagem para preservação do meio ambiente. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 98-116, 2014.

SAVERY, J. R. Overview of problem-based learning: definitions and distinctions. **Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning**, v. 1, n. 1, p. 9-20, 2006, DOI: [dx.doi.org/10.7771/1541-5015.1002](https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002).

SHONNARD, D. R., **Green Engineering Education Through A U.S.** [s.d.].

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.

TSOKA, C. *et al.* Towards sustainability and green chemical engineering: tools and technology requirements. **Green Chemistry**, v. 6, p. 401-406, 2004, DOI: [10.1039/B402799J](https://doi.org/10.1039/B402799J).

---

## DADOS DOS AUTORES



**Walter Pichi Jr.** – M. Sc. com o tema equipamentos de baixo custo para ensino; engenheiro formado pela Universidade São Judas, em 1983, e doutorando na PUC-SP. Professor na FMU.



**Daniel Couto Gatti** – Graduação em Ciência da Computação (1995). Mestrado em Comunicação e Semiótica pela PUC-SP (2002) e Doutorado em Educação Matemática pela PUC-SP (2009). Professor da Faculdade de BANDTEC, do IBTA-SP e da PUC-SP. Mantém linha de pesquisa na área de Educação.



**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.