

abenge

Volume 34 - Número 1

ISSN 0101-5001

Janeiro/Junho de 2015

REVISTA DE ENSINO DE ENGENHARIA

- Flávio Macedo Cunha* 3 ENSINO DE ENGENHARIA: ABORDAGEM PELA COMPLEXIDADE
DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p3-16>
- Carlos Alberto Czekster,
Luciano Andreatta C. da Costa* 17 COMPETÊNCIAS COMPORTAMENTAIS DE LIDERANÇA E GESTÃO NA ENGENHARIA CIVIL
DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p17-29>
- Mariana Pelissari Monteiro Aguiar Baroni,
Graziela Marchi Tiago* 31 PROPOSTA DE ATIVIDADE PARA O ENSINO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS ORDINÁRIAS EM CURSOS DE ENGENHARIA USANDO UM SISTEMA p-FUZZY
DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p31-42>
- Odílio Benedito Garrido Assis,
José Manoel Marconcini,
Luiz Henrique Capparelli Mattoso* 43 OPORTUNIDADES DE FORMAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA PARA ATUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÍCOLAS E NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS
DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p43-50>
- Walter Pichi Jr., Daniel Couto Gatti,
Maria Lúcia Pereira da Silva* 51 INTERDISCIPLINARIDADE COMO CONSEQUÊNCIA DE TRABALHOS CONJUNTOS ENTRE NÍVEL TÉCNICO E SUPERIOR
DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p51-60>
- Luiz Fernando Pinto, Roberto da Rocha Lima,
Maria Lúcia Pereira da Silva* 61 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>
- Rafael Alvise Alberti, João Carlos Furtado,
Liane Mahlmann Kipper* 73 SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA NO ENSINO DE ENGENHARIA: PROBLEMATIZAÇÃO E PROMOÇÃO DA VIVÊNCIA EM PROCESSOS PRODUTIVOS
DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p73-83>
- Jose Francisco Moreira Pessanha,
Fernando Luiz Cyrino Oliveira,
Reinaldo Castro Souza* 85 TEACHING STATISTICAL METHODS IN ENGINEERING COURSES THROUGH WIND POWER DATA
DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p85-92>

ENSINO DE ENGENHARIA: ABORDAGEM PELA COMPLEXIDADE

DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p3-16>

Flávio Macedo Cunha¹

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar uma análise de determinados aspectos relacionados ao ensino de engenharia na perspectiva da complexidade. A partir da ótica dos sistemas complexos, o processo de ensino-aprendizagem comporta um olhar que inclui tanto a ordem quanto a indeterminação, tanto a previsão quanto o imprevisto, tanto o específico quanto o geral. No caso do presente artigo, os aspectos destacados relacionam-se ao ambiente da sala de aula, à escolha de metodologias de ensino, à abordagem dos conteúdos, ao desenvolvimento de competências e à estruturação do currículo. Considera-se que as análises e decisões relativas ao planejamento e à operacionalização do ensino, o que inclui os aspectos citados, podem ser ampliadas e aplicadas a partir do referencial da complexidade. A título de ilustração, é apresentada uma síntese do projeto pedagógico de um curso de engenharia cujo currículo está sendo desenvolvido e orientado tendo como referência a abordagem complexa.

Palavras-chave: Complexidade; conteúdos e competências; ensino de engenharia.

ABSTRACT

ENGINEERING EDUCATION: AN APPROACH BY THE COMPLEXITY THEORY

The main goal of this paper is to present an analysis of some aspects related to engineering education based on complexity theory. From the point of view of complex systems, the teaching-learning process can be contemplated considering several aspects that include order and indetermination, the predicted and the unexpected and the specific and general. In this paper, the focus is on the classroom, choosing the education methodology, the content approach, the development of the competences and the curricular structure. It considers that analyses and decisions regarding education planning and programming can be amplified and applied from the complexity referential. In order to illustrate, a pedagogic project synthesis of an engineering course is presented, which curricular structure have been developed and oriented based on the application of complexity theory.

Keywords: Complexity; curricular contents and professional competences; engineering education.

¹ Mestre em Educação Tecnológica. Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC Minas e do Departamento de Engenharia Elétrica do CEFET MG.
email: fmcfavio@hotmail.com

INTRODUÇÃO

As Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (BRASIL, 2002), ao definirem competências e conteúdos, pautaram a maioria das discussões sobre o ensino nessa área, colocando em foco o desenvolvimento de competências e a abordagem dos conteúdos necessários à formação do engenheiro. Tomando como referência as últimas edições do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE 2011, 2012, 2013), as Seções Dirigidas focalizaram, entre outros, temas relacionados à “aprendizagem ativa”, termo apresentado em contrapartida à “aprendizagem passiva”, que, normalmente, corresponde às práticas tradicionais, tais como a aula expositiva centralizada no professor e as atividades de laboratório com procedimentos padronizados e direcionados para a comprovação de teorias. Por outro lado, as práticas associadas à aprendizagem ativa mudam o foco do processo do ensino, do professor para o estudante. As estratégias descritas apontam para a criação de ambientes de aprendizagem que permitam ao estudante “aprender a aprender”, juntamente com o desenvolvimento de competências que atendam às exigências profissionais necessárias ao engenheiro. Diversos trabalhos e teses, dentre os quais alguns são referenciados neste artigo, abordam temas nessa área e apresentam as vantagens e as dificuldades relacionadas à aplicação dessas práticas no ensino de engenharia. A inclusão das Atividades Complementares nos projetos pedagógicos constituiu, entre outras, uma prática que trouxe inovações significativas no ensino, como é demonstrado na pesquisa de Tonini (2007). Outra abordagem que tem sido ampliada na educação em engenharia é o ensino por problema/projeto, cuja aplicação prática consiste na metodologia PBL (*Problem/Project Based Learning*). Essa metodologia envolve uma inovação no processo ensino-aprendizagem, mediante a integração teoria-prática e a interdisciplinaridade. Nessa estratégia pedagógica, os estudantes trabalham em equipe e buscam resolver um problema ou um projeto. Os pontos mais destacados como vantagens da PBL relacionam-se ao desenvolvimento de competências necessárias ao desempenho profissional no campo da engenharia. Esses e outros aspectos são

brevemente mencionados no presente artigo, porém, o foco deste trabalho situa-se no debate entre as metodologias aplicadas – tradicionais/inovadoras –, na polêmica entre a ênfase nos conteúdos e no desenvolvimento de competências e na estruturação do currículo, que nem sempre é organizado de modo a viabilizar a aplicação integrada de metodologias ativas. A organização do currículo em disciplinas estanques e sem uma integração entre os diversos componentes pode levar o estudante a compor um conhecimento fragmentado e, não raro, mantê-lo envolvido num conflito que requer o ajuste de tempo para atender às diversas demandas do curso, com prejuízos para o seu processo de aprendizagem.

Considera-se que os pontos acima destacados podem ser compreendidos de forma mais ampla à luz da teoria dos sistemas complexos. Essa teoria aplica-se em situações da realidade nas quais há necessidade de considerar os diversos componentes de um sistema, não de forma isolada, mas devidamente interligados e interagindo entre si. Além desse aspecto, a complexidade considera a totalidade dos fatos em constante mudança, portanto, como sistemas que, para serem compreendidos adequadamente, precisam ser analisados na sua dinâmica processual. Dessa forma, é ainda necessário considerar que esses sistemas comportam a imprevisão e o acaso e que, como consequência, não admitem um pleno controle ao longo de todo o seu percurso. Essa abordagem pode ser compatível com o processo educacional. Assim, sua incorporação na análise das questões de ensino-aprendizagem e na fundamentação dos projetos curriculares pode ser adequada para orientar as discussões e as tomadas de decisões nesse campo do conhecimento. A proposta, no momento, é trazer essa leitura para dentro do processo de ensino, o que implica considerar as metodologias aplicadas no ensino de engenharia, analisar a interação no ambiente escolar, tal como a sala de aula, fazer uma releitura na definição de competências e no papel dos conteúdos disciplinares e compreender as diversas dimensões da dinâmica curricular da qual participam, conjuntamente, os estudantes e os educadores.

Nesse sentido, o presente artigo faz, sem a pretensão de esgotar o tema, uma breve abordagem à

teoria dos sistemas complexos, visando a aplicá-la a algumas questões educacionais; coloca em foco a “sala de aula”, a partir de uma visão que tem como referência a complexidade desse ambiente de aprendizagem; destaca algumas metodologias praticadas nas escolas de engenharia, considerando alguns aspectos do simples e do complexo em cada uma delas; destaca alguns pontos relativos aos conteúdos e competências que, por diversas vezes, se encontram no centro das discussões sobre o currículo, apresentando uma reflexão em relação à necessidade de considerar conjuntamente e de modo integrado, esses dois vetores no currículo de engenharia. Ainda, a título de ilustração, o currículo do curso de Engenharia de Energia da PUC Minas é brevemente descrito, destacando-se algumas questões práticas que serão discutidas neste artigo, tendo como referência os pontos acima citados.

SISTEMAS COMPLEXOS

O conceito de sistemas complexos pode constituir-se num referencial que propicie uma compreensão inovadora do processo educacional. Esse conceito, que chega a ser proposto como uma nova disciplina – a teoria dos sistemas complexos (NUSSENZVEIG, 2008) –, considera que determinados processos apresentam relações imbricadas de tal forma que é impossível abordá-los sem considerar a teia das relações que se estabelecem entre eles. Quando se refere à noção de complexidade, a primeira ideia que se apresenta é o seu contrário, a simplicidade. No entanto, a complexidade não exclui a simplicidade, mas deve ser considerada onde o pensamento simplificador falha. A abordagem das questões pela simplicidade foi parcialmente adequada para algumas áreas da ciência, como no modelo da física newtoniana, que considerou as partículas como sendo os constituintes básicos de um universo presumivelmente possível de ser ordenado e calculado. Essa abordagem foi também aplicada em situações que tinham como referência separar os eventos em partes independentes entre si, estabelecer uma relação linear de causa e efeito ou, ainda, isolar um objeto do seu meio, de modo a obter precisão e clareza sobre o mesmo. No paradigma da simplicidade, a visão da ciência tem como ponto de partida três princípios básicos que passam a ideia de um domí-

nio do conhecimento sobre a realidade. O primeiro princípio considera que todos os processos são possíveis de ordenação e são, conseqüentemente, determinísticos. Qualquer acaso, se houver, é devido a um conhecimento ainda insuficiente. O segundo princípio é o da separação dos fatos como método para o estudo detalhado dos fenômenos. Considera-se que esse método possibilita o conhecimento preciso e verdadeiro da realidade. O terceiro princípio implica garantir que o observador permaneça separado do seu objeto, sem nele interferir, também conhecido como a exclusão do sujeito no processo do conhecimento. Esses princípios se estabeleceram especialmente através do empirismo, do positivismo e do modelo comportamentalista. O saber, nessa concepção, estaria fundamentado na certeza, na previsão e no controle, mediante garantia da ordem, do determinismo, da separação e da independência do observador.

No final do século XIX, diversas áreas da pesquisa científica, entre elas a própria física, depararam-se com um conjunto de contradições em relação ao princípio da simplicidade que levaram à necessidade de considerar a desordem e a incerteza como integradas ao processo de conhecer. Morin (1999) destaca que a visão da ciência que herdamos, estruturada para garantir a certeza do conhecimento e encontrar a ordem dos fenômenos, não é adequada quando aplicada em áreas tais como a biologia e as ciências humanas e sociais. Isso porque, nessas áreas, o conhecimento está intrinsecamente relacionado à noção de complexidade. O paradigma da complexidade requer a análise conjunta da ordem e da desordem, assim como a incerteza em relação aos fatos observados (MORIN, 2005). Essa aparente contradição lógica na associação dos termos “ordem” e “desordem” é menos absurda que tentar descrever o mundo apenas na perspectiva da ordem ou da desordem. Desordem e ordem são essenciais no processo criativo. Nesse sentido, Morin (2005) ressalta que um universo que fosse apenas ordem não permitiria a criação e a inovação, e um universo que fosse apenas desordem não teria condições de conservar a novidade. Esse olhar remete aos sistemas com características de auto-organização, típicos dos sistemas vivos, que comportam desorganização e reorganização.

A ideia de desordem está ligada à noção de incerteza e de indeterminação, aspectos esses incompatíveis com a visão da ciência tradicional. Assim, o mundo determinístico perde seu lugar na manutenção das certezas, mediante a inclusão do acaso como parte da realidade. Como observa Morin (2005, p.201), “não sabemos se o acaso é uma desordem objetiva ou, simplesmente, o fruto de nossa ignorância”. Nessa perspectiva, nem sempre é possível saber se a incerteza associada a um fenômeno é fruto de uma insuficiência do conhecimento que impede de encontrar a ordem oculta na desordem ou se é um aspecto próprio da realidade observada. Como consequência, o “conhecimento é, pois, uma aventura incerta que comporta em si mesma, permanentemente, o risco de ilusão e de erro” (MORIN, 2002, p. 86). E, considerando a mudança introduzida no modelo de conhecimento a partir dos sistemas complexos, conclui Morin (2005, p.188):

A complexidade parece ser negativa [...] já que é a reintrodução de incerteza num conhecimento que havia partido triunfalmente à conquista da certeza absoluta.

Morin (2006) introduz, ainda, o paradoxo do uno e do múltiplo. Para compreender os fenômenos, torna-se necessário considerar os diversos aspectos inseparáveis da realidade, que se apresenta como um tecido de eventos. Assim, a abordagem pela complexidade exige que a análise de um aspecto da realidade seja considerada em relação com os demais. “A complexidade se apresenta com os traços inquietantes do emaranhado, do inextricável, da desordem, da ambiguidade, da incerteza...” (MORIN, 2006, p. 13).

Em síntese, ao considerar uma abordagem complexa no estudo de um fenômeno, deve-se levar em conta ordem e desordem conjuntas, a possibilidade do acaso e da incerteza como elementos próprios do sistema, e a interação entre os diversos eventos relacionados àquele sistema. Além desses fatores, a abordagem pela complexidade requer a inclusão do sujeito no processo do conhecimento, atuando em espaços consensuais; a não neutralidade dos sujeitos; e a não linearidade dos fatos.

De uma maneira geral, um sistema complexo apresenta as seguintes características (NUSSENZVEIG, 2008): é dinâmico e está em constante evo-

lução; é aberto, interagindo com o meio ambiente; cada unidade produz uma resposta aos sinais que recebe das outras, sendo que essa resposta não guarda uma simples relação de proporcionalidade ao estímulo recebido; o sistema responde aleatoriamente aos impulsos recebidos; o sistema se auto-organiza de forma espontânea, criando ordem a partir de um estado desordenado; podem surgir propriedades coletivas emergentes, com novas interações diante de estados críticos; o comportamento do sistema depende da história anterior; o sistema é adaptativo, isto é, envolve aprendizado em função da interação com o ambiente. Nesse sentido, um sistema adaptativo complexo (GELL-MANN, 1996) adquire informação sobre seu meio ambiente e sobre sua própria interação com esse meio, identificando regularidades e criando esquemas que possibilitam retroalimentar e atuar a partir desses esquemas. Cita-se como exemplo o cérebro, os sistemas ecológicos, o funcionamento do sistema imunológico, a evolução das sociedades humanas, o aprendizado e o raciocínio.

No sistema educacional, a ideia de simplicidade reflete-se, por exemplo, na estruturação do currículo em disciplinas estanques e sem integração com outros componentes curriculares, nas práticas de ensino que são voltadas para a exposição de conteúdos, sem buscar uma interação com os aprendizes, nas aulas de laboratório que focalizam unicamente guias procedimentais, no estudo de temas, sem considerar a dinâmica de sua construção e o seu processo de produção. Essa postura é comum, ainda, quando o objeto de ensino não tem uma conexão com a realidade, como, por exemplo, estudar uma teoria sem buscar sua integração com situações reais do mundo do trabalho ou da futura profissão do estudante.

O paradigma da complexidade pode ser uma referência adequada para abordar questões no campo educacional, como a organização curricular, o planejamento do ensino, a definição de metodologias de ensino-aprendizagem, as operações mentais, a interconexão entre as diversas áreas de conhecimento, a interação no ambiente escolar, tal como a sala de aula, a avaliação da aprendizagem, entre outros aspectos. O paradigma da complexidade torna-se igualmente um marco referencial sobre o qual se

estruturam as metodologias inovadoras no ensino, uma vez que, como veremos, essas metodologias apresentam várias características relacionadas aos sistemas complexos. Sem a pretensão de esgotar o tema, alguns desses aspectos, tais como o ambiente da sala de aula, as metodologias de ensino e as definições de modelos curriculares são, a seguir, focalizados à luz da teoria dos sistemas complexos.

A SALA DE AULA

A sala de aula é o lugar do encontro. É o ambiente onde pessoas com visões de mundo, interesses, valores e expectativas diversas se encontram para elaborarem, em conjunto, um produto, que é a aprendizagem. Alunos e professores aprendem sempre, quando se colocam nessa postura de abertura. Para que essa aprendizagem seja possível, o espaço da sala de aula está intrinsecamente envolvido com o processo de construção e desconstrução do conhecimento. Dessa forma, é também espaço da dúvida, mais que da certeza, da abertura mais que dos dogmas, dos questionamentos mais que das respostas prontas. Comporta o planejamento e a improvisação, o cumprimento de metas, assim como a mudança de direção, a ordem e o caos. O professor precisa abrir mão do total controle, se quiser realizar, na sua plenitude, o seu papel na sala de aula. A aula é ponto de partida que admite várias finalizações. Assim, as dúvidas e as perguntas surgem como parte inerente ao processo da aula, e não precisam ser silenciadas mediante respostas certas e eficazes. Por isso, deve ser também lugar para elaborações de respostas construídas coletivamente, com a participação dos sujeitos, e baseadas em conceitos e fundamentos ancorados em teorias e práticas passíveis de refutação e de reelaboração. O saber no espaço da aula é sempre provisório, assim como na vida, orienta-se a partir de proposições que visam a compreender o mundo dos fenômenos em permanente possibilidade de mudança. O conhecimento produzido na sala de aula precisa também ser manejado com o uso adequado da instrumentação e da técnica. Não é, portanto, um conhecimento simplesmente transmitido, mas elaborado, testado, internalizado pelos sujeitos. Como escreve Demo (2000, p. 9), “a aprendizagem precisa da técnica como instrumento, mas é, no âmago, expressão política”. Desenvolve-se nes-

se contexto, o sujeito capaz de construir sua história com autonomia e capacidade de inovar. O professor também aprende, tem dúvidas e não tenta ocultar esse fato aos seus alunos, pois se entende que ocupam o mesmo barco. É nesse cenário que está sendo gestado o futuro profissional, não encerrado num mundo de ficções, de manipulações e de certezas absolutas. Nessas circunstâncias, as competências são desenvolvidas e a aprendizagem torna-se, antes de tudo, um processo de aprender a aprender. É a partir de uma postura de sinceridade e de abertura que os saberes são estruturados e tornam-se uma ponte para aplicação na profissão.

O estudante precisa compreender que seu trabalho atual na sala de aula já traz as demandas e desafios que as funções futuras em sua profissão irão exigir. Portanto, a sala de aula exige compromisso com os resultados e as implicações sociais que deles emanam. Os produtos da engenharia implicam mudanças para a sociedade, interferem nos comportamentos, mudam valores e estão ligados às estruturas de poder e a interesses muitas vezes conflitantes. Um produto da engenharia deve ser baseado em conhecimentos bem fundamentados, ser tecnicamente eficiente e seguro na sua aplicação e manipulação. O processo pelo qual se chega ao produto, no entanto, segue um percurso sinuoso. Um projeto de engenharia admite uma diversidade de soluções, até chegar a um produto final. Um carro é testado inúmeras vezes antes de chegar ao mercado. Uma linha de produção está sujeita a falhas, imprecisões e alterações de procedimentos, até que alcance o resultado pretendido. O processo criativo comporta tentativas e erros, mudanças de rotas e de estratégias. As inovações existem porque um produto nunca está finalmente pronto e acabado.

Assim, as ciências exatas e as teorias são referenciais para simulações e previsões, são trilhas que apoiam o desenvolvimento de projetos, de artefatos e tecnologias, mas não garantem, por si só, a exatidão do resultado.

Uma teoria não é o conhecimento; ela permite o conhecimento. Uma teoria não é uma chegada; é a possibilidade de uma partida. Uma teoria não é uma solução; é a possibilidade de tratar um problema (MORIN, 2005, p. 335).

Nesse cenário, que inclui o processo de criatividade, é natural que os sujeitos envolvidos passem por ansiedades e até mesmo queiram desistir. Não existe, necessariamente, um caminho linear e certo no processo criativo. Quanto mais criativo, mais suor. Por isso, a sala de aula pode ser entendida também como um cenário prospectivo da realidade do mundo do trabalho. Os desvios que parecem indicar perda de tempo, os conflitos e as ansiedades, que muitas vezes se tenta evitar, devem ser integrados conscientemente como etapas e não como falhas no processo de aprender. Então, entra o papel das avaliações, dos prazos, dos resultados, das exigências de compromisso que a sala de aula precisa resguardar, pois, antes de ser uma simplificação, esse espaço deve ser um lugar que assimila e integra-se com a realidade. Esses aspectos são próprios de uma abordagem pela complexidade.

Quando se considera a prática do ensino, existe uma tendência de optar pela simplificação, pois essa postura traz mais sensação de segurança e de domínio da situação, assim como do controle do processo educacional. No entanto, uma abordagem simplificadora que desconsidera a diversidade de situações e de possibilidades relacionadas ao processo ensino-aprendizagem pode ser limitante, tanto em relação à apropriação dos conteúdos pelo estudante quanto ao desenvolvimento de competências profissionais. Nesse caso, entra o papel da metodologia, que pode tender para a simplificação ou seguir a trilha da complexidade.

O PAPEL DA METODOLOGIA

As metodologias tradicionais e comportamentais (KURI, citado por BELHOT, 1997) tendem a reproduzir um cenário simplificador, quando prevalece apenas o papel do professor como transmissor do conhecimento, aplicando a aula expositiva e a padronização no tratamento das questões de aprendizagem. No modelo tradicional, a aula expositiva é adequada para apresentar a síntese de um tema específico ou a introdução de uma teoria. Da mesma forma, o modelo comportamentalista é utilizado nas estratégias de instrução programada, de estímulo-resposta e de experimentação, tendo como referência uma orientação empírica. Essas metodologias não podem ser majoritárias no processo, pois

deixam lacunas na aprendizagem, especialmente em relação à compreensão das situações reais e aplicadas ao mundo do trabalho, além de não possibilitar o desenvolvimento de competências adequadas à formação profissional.

Existem metodologias mais apropriadas à abordagem pela complexidade que se relacionam à aprendizagem ativa. Moretto (2009) considera um conjunto de princípios fundamentados na perspectiva construtivista sociointeracionista como o modelo adequado para abordar o contexto escolar em situações complexas, e coloca o foco desse modelo no desenvolvimento de competências, cujas características mais significativas são: ênfase na pesquisa, na investigação e na solução de problemas pelo próprio estudante; foco maior no processo que no produto da aprendizagem; desenvolvimento da autonomia e do comprometimento do estudante com seu processo de aprendizagem. Assim, uma situação-problema, para ser considerada de forma adequada e próxima da realidade, implica a abordagem complexa. Essas abordagens envolvem alguns pontos fundamentais, quais sejam: a compreensão do problema deve supor uma variedade de relações e interconexões; pontos de vistas opostos precisam, muitas vezes, ser tratados no conjunto das relações; exige dos sujeitos envolvidos na ação a análise de suas concepções prévias, em interação com o contexto do problema; implicam desafios relacionados à estrutura cognitiva dos sujeitos envolvidos e podem levar a situações inteiramente novas em termos de tratamento e de soluções para o problema.

Essas metodologias que se relacionam à aprendizagem ativa incluem, principalmente, a abordagem por problema/projetos, denominada de postura híbrida, e conhecida como *Problem/Project Based Learning* (OLIVEIRA, TOZZI, ELARRAT, 2013). No presente artigo, deixando fora de discussão a distinção entre o uso dos termos projeto/problema, o interesse é destacar que, com essa metodologia, os estudantes atuam em contextos condizentes com os descritos pelos sistemas complexos. Nesse caso, as situações de ensino-aprendizagem são multifacetadas, apresentando desafios similares aos das condições reais da atividade profissional e exigem dos estudantes envolvimento com pesquisa, com análise e solução de problemas. A pesquisa, nesse caso,

é uma prática aplicada em situações diversificadas e focalizada na solução de um problema e no desenvolvimento de um projeto. O papel do professor relaciona-se ao planejamento de uma estrutura adequada para o desenvolvimento dos trabalhos junto aos estudantes. Muitas vezes, surgem questões não previstas em que o professor também atua como pesquisador.

Com relação à sala de aula em que a metodologia de aprendizagem por problemas/projetos é aplicada, surgem algumas mudanças que interferem no formato da sala, em termos de disposição dos móveis e mobilidade dos alunos, na forma de comunicação entre os alunos, envolvendo os grupos de trabalho, no atendimento dos grupos pelo professor, de modo a orientar e apresentar caminhos para tratar os problemas, no tempo para a realização das tarefas pelos alunos, tendo em vista grades horárias padronizadas.

A tentativa de integrar situações de aprendizagem com o mundo do trabalho, mediante a aplicação da metodologia de aprendizagem por problemas/projetos deve, no entanto, resguardar alguns pontos. Inicialmente, é preciso avaliar sob quais aspectos o problema/projeto possibilita simulação de situações em ambientes vivenciados no mundo do trabalho. Esse aspecto requer uma escolha criteriosa e possível de uma situação-problema bem dimensionada. É importante ainda destacar que, na empresa o objetivo do projeto é obter um produto, enquanto na escola o objetivo do projeto é propiciar um meio para a aprendizagem. Na empresa, as etapas e a hierarquia de decisão sobre o projeto, coordenados pelos engenheiros, estão relacionadas a fatores como interesse econômico e político envolvendo a experiência profissional requerida para a execução do trabalho. Na escola, o condutor do processo é o professor, atento sempre à autonomia do estudante, com foco na aprendizagem de conceitos e de fundamentos teóricos. Dessa forma, o ensino está apoiado no processo e não no produto da aprendizagem, que é a base do modelo cognitivista (BELHOT, 1997).

O professor, nesse processo, desempenha o papel de organizar e dirigir situações de aprendizagem. Situações de aprendizagem, conforme destaca Perrenoud (2000, p. 26), correspondem àquelas

que as didáticas contemporâneas encaram como *situações amplas, abertas, carregadas de sentido e de regulação*, as quais requerem um método de pesquisa, de identificação e de resolução de problemas (grifo do texto original).

Nesse caso, a aula expositiva não é garantia da eficácia da aprendizagem pelo aluno, uma vez que essa tem como base um sistema que se constitui de cima para baixo e que, muitas vezes, desconhece as representações e as situações concretas dos aprendizes. Permanece aqui a questão de Saint-Onge (citado por PERRENOUD, 2000, p. 24): “Eu, ensino, mas eles aprendem?”. Mesmo que os métodos tradicionais permaneçam válidos em diversos aspectos, eles não são suficientes como garantia de aprendizagem, numa perspectiva ampla, o que inclui a compreensão adequada dos conceitos, a aplicação das teorias em situações reais e o desenvolvimento de determinadas competências. Ou seja, colocar todo o foco da aprendizagem no desenvolvimento e abordagem dos conteúdos não é suficiente para uma aprendizagem, principalmente no modelo pedagógico em que os conteúdos são traduzidos em objetivos de aprendizagem e no qual o professor se limita a cumprir os conteúdos previstos. Nesse modelo pedagógico, o método de avaliação, como um exame escrito ou oral, pode ser a prova de que o aluno assimilou o conteúdo. No entanto, apenas para permanecer no foco da formação do engenheiro, esse aprendizado não é suficiente, ou seja, essa pedagogia não consegue abranger as situações complexas que envolvem as atividades que o profissional deverá enfrentar.

É pertinente, ainda, destacar uma questão de ordem epistemológica, ao considerar a aprendizagem por problemas/projetos e sua relação com conceitos teóricos. O desenvolvimento de um projeto e/ou a solução de um problema iniciam-se com a elaboração de questões e com a proposição de observações na linguagem de uma teoria que possibilite uma abordagem científica condizente com o contexto em estudo. Assim, para analisar um fenômeno que relacione conceitos de força, de energia, de campo eletromagnético, por exemplo, é importante uma apropriação dos termos e da linguagem teórica relacionada a esses conceitos. Essa é uma situação que requer a apropriação da teoria para orientar a observação de fenômenos ou o planejamento de

experimentos. Na concepção da ciência convencional, as “proposições de observação são sempre feitas na linguagem de alguma teoria e serão tão precisas quanto a estrutura teórica ou conceitual que utilizam” (CHALMERS, 1993, p. 54). Nesse sentido, o ensino orientado por problemas/projetos requer que o estudante tenha uma fundamentação teórica que dê sustentação à abordagem das questões que ele deve formular. O conhecimento avança na direção de uma ampliação e de um aprofundamento da teoria e dos conceitos estudados. Assim, ao estruturar atividades de ensino que envolvem desenvolvimento de projetos e análise de situação-problema, é importante considerar a integração dessas práticas com outros componentes curriculares que forneçam, paralelamente, fundamentos teóricos compatíveis com os temas em estudo, o que pode implicar, muitas vezes, a aplicação da aula expositiva convencional.

Portanto, a metodologia aplicada apresenta uma estreita relação com o processo de apropriação do conhecimento pelo estudante, o que envolve a aprendizagem de conceitos teóricos, as aplicações práticas, através de projetos ou problemas e, juntamente com esses procedimentos, o desenvolvimento de competências. Isso abre a possibilidade de aplicar tanto aulas expositivas quanto a abordagem pelo problema ou desenvolvimento de projetos, por exemplo. A diversificação de modelos metodológicos, integrados entre si, pode ser condizente com a visão da complexidade. A ideia de utilizar um único modelo pode levar a um caminho simplificador. O desenvolvimento de competências profissionais é tão essencial quanto a apropriação de conteúdos disciplinares. Daí a importância de se articular conteúdos e competências no processo de ensino-aprendizagem.

CONTEÚDOS E COMPETÊNCIAS

O foco do currículo no desenvolvimento das competências profissionais do engenheiro compromete o cumprimento dos conteúdos disciplinares? Essa questão presente nas discussões sobre ensino de engenharia citadas anteriormente já é analisada, de forma mais ampla, por Perrenoud (1999), no artigo “Construir competências é virar as costas aos saberes?”. O autor inicia sua reflexão combatendo a

visão daqueles que consideram que a missão da escola de transmitir conhecimentos fica comprometida quando o foco se volta para o desenvolvimento de competências. Argumenta que essa objeção é injustificada, uma vez que a maioria das competências mobiliza certos saberes disciplinares e remete a situações nas quais é preciso tomar decisões e resolver problemas. Argumenta, ainda, que apenas possuir conhecimentos não significa ser competente, ou seja, pode-se conhecer determinado conceito e não saber mobilizá-lo de modo pertinente em uma situação de trabalho. Defende que a transferência de conhecimentos não é eficiente, mas sim a mobilização de saberes, e que essa mobilização é exercida em situações complexas que obrigam a estabelecer o problema antes de resolvê-lo. Muitas vezes, o conhecimento é apresentado fora de qualquer contexto. Portanto, é preciso explorar as relações entre competências e programas escolares. E conclui que o papel da escola não será suficiente como uma fonte para acumular saberes, se não aprender a servir-se deles.

É pertinente, ainda, considerar alguns pontos relativos à abordagem por competências no âmbito educacional, que encontram possibilidades de aplicações através da aprendizagem por projetos. O tema competências é importado do campo empresarial e tem em vista preparar o profissional para as demandas do mercado de trabalho. Dessa forma, é prudente questionar, tendo em vista o processo educacional, até que ponto e sob quais aspectos os interesses do mundo empresarial coincidem com interesses da sociedade em geral. Esse questionamento não consiste em simples retórica, mas se volta para o papel fundamental da educação no âmbito da sociedade. É importante avaliar o que é um projeto com interesses de grupos políticos e mesmo ideológicos e o que representa um projeto de nação. É pertinente considerar a diferença entre um ensino que prepara para o mercado e um ensino que prepara para o “mundo do trabalho”. Nesse caso, o mundo do trabalho implica um contexto social que incorpora, mas também consegue avaliar os interesses econômicos e de poder. Essa seria uma das possibilidades de aplicação de uma das premissas educacionais que visam ao desenvolvimento da visão crítica na forma-

ção profissional e que incluem uma ampliação das competências profissionais.

Portanto, a pergunta volta-se para questionar qual modelo de competências deve ser adotado? Se o foco estiver na eficiência e no desempenho, o ensino volta-se para condutas práticas (modelo behaviorista). Se o foco estiver nos produtos e resultados, o ensino fica direcionado para atividades e procedimentos em detrimento dos fundamentos técnico-científicos. Em geral as diversas propostas de desenvolvimento de competências no ensino de engenharia destacam a dimensão construtiva, processual e contextual, e relacionam-se ao desenvolvimento da cultura, dos conhecimentos e dos saberes comportamentais. No entanto, num ambiente educacional, deve-se ter em mente, além dessas competências, o foco na autonomia, na emancipação, nas transformações do mundo do trabalho e também na crítica das competências requeridas e dos conteúdos (DELUIZ, 2001). Esse é um dos papéis essenciais do professor no processo.

O problema entre a abrangência de conteúdos e o desenvolvimento de competências constitui uma questão de fundo para os projetos curriculares. Ribeiro (2008), ao abordar a aplicação de PBL na educação em engenharia, destaca que um fator de frustração para alguns docentes é a impossibilidade de cumprir todos os conteúdos através da abordagem de um problema. O fator tempo é essencial no aprofundamento e na abrangência dos conceitos estudados, quando o ensino é direcionado por problema/projeto. Assim, o desempenho conceitual dos alunos que aplicam essa metodologia pode ficar defasado em comparação com os alunos que usam os métodos tradicionais. Uma vez que a metodologia de abordagem por problema/projeto não consegue cobrir integralmente os conteúdos, como consequência, surgem mais lacunas nos conhecimentos conceituais dos alunos. No entanto, o autor chama a atenção para dificuldades inerentes à pesquisa educacional, em função da intangibilidade e da simultaneidade do fenômeno educacional. Ribeiro (2008) destaca também a questão da abrangência *versus* profundidade. Há, geralmente, uma sensação de que, por meio de métodos expositivos, a aprendizagem fica mais eficiente, uma vez que uma quantidade mais ampla de conteúdos é transmitida. No

entanto, deve-se reforçar que a simples transmissão de conteúdos não garante aprendizagem.

Não se quer aqui reduzir a importância do domínio do conteúdo, mas reforçar que esse domínio deve estar relacionado ao desenvolvimento de competências que consideram as situações complexas em que a profissão se desenvolve. Para alcançar essas competências, é necessário, durante o processo de ensino-aprendizagem, ultrapassar a exposição metódica, incluindo o aluno ativamente no processo da aprendizagem, explorando a realidade das situações, integrando os conteúdos disciplinares no contexto da profissão e, dessa forma, ampliando a apropriação ativa dos saberes. Isso inclui, portanto, organizar as atividades a partir das percepções dos alunos, atentando para suas dificuldades cognitivas e partindo de suas representações prévias, para, então, incorporar novos elementos a essas representações. Sendo assim, a aprendizagem não é garantida mediante uma estocagem de informações na mente do estudante, mas deve possibilitar ao mesmo o desenvolvimento de uma compreensão do processo no qual ele se insere e ajudá-lo a transpor os desafios da aprendizagem. Esse aspecto inclui a mobilização dos alunos para compreenderem o contexto do problema sobre o qual estão atuando.

O desenvolvimento de competências, na perspectiva das práticas inovadoras, requer, portanto, o envolvimento dos alunos em atividades de pesquisa e em projetos que se relacionam às questões vinculadas à área profissional. Esse procedimento deve ir além do enfrentamento de uma situação-problema que visa, muitas vezes, a obter um resultado, mesmo que parcial e incompleto. Trata-se de um método que conduz os alunos à compreensão, se não à construção da teoria. No entanto, alguns aspectos relativos a essas metodologias inovadoras devem ser destacados. Ribeiro (2005) chama a atenção para o fato de que a inserção da PBL no currículo, muitas vezes, vem crescer um conjunto diversificado de práticas metodológicas sem uma articulação entre essas, através do projeto pedagógico do curso. O estudante convive com um conflito de métodos e de demandas e tem que se organizar individualmente para atender às exigências do curso. Além desses fatores, tanto professores quanto alunos deparam-se com o problema do tempo disponível dentro do

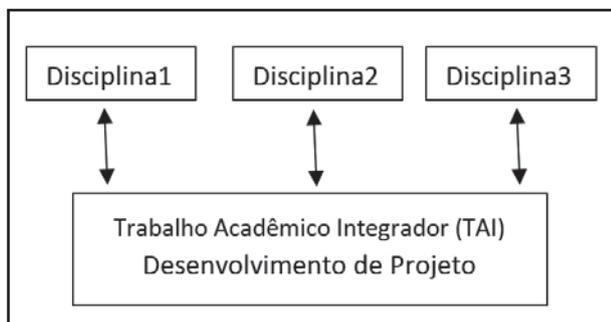
contexto escolar, aspecto esse que não tem uma solução simples. Diversos autores que discorrem sobre o tema PBL alertam que esse não é um recurso didático para resolver todos os problemas de ensino de engenharia.

Voltando-se para o currículo, Ribeiro (2008) destaca que alguns modelos que adotam a aprendizagem por projetos no ensino de engenharia apresentam um recorte transversal de currículo, aplicando-se o modelo PBL híbrido. Outros currículos adotam um modelo parcial de implantação PBL. A aprendizagem por projetos pode ser melhor aplicada quando está inserida no cerne do projeto pedagógico do curso, não se restringindo a uma iniciativa isolada de uma ou mais disciplinas. Essa busca de uma construção integrada de metodologias, que considera competências e conteúdos, é um dos pilares do projeto pedagógico do curso de Engenharia de Energia da PUC Minas, cuja síntese é apresentada a seguir.

UMA APLICAÇÃO NO ENSINO DE ENGENHARIA

O curso de Engenharia de Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) tem como referência pedagógica a abordagem integradora, a visão sistêmica, a inter e a transdisciplinaridade (PUC Minas, 2005). Tendo em vista essas referências, o currículo é estruturado de modo a viabilizar interação entre dois componentes curriculares principais, quais sejam, as disciplinas e os Trabalhos Acadêmicos Integradores (TAI) (Figura 1).

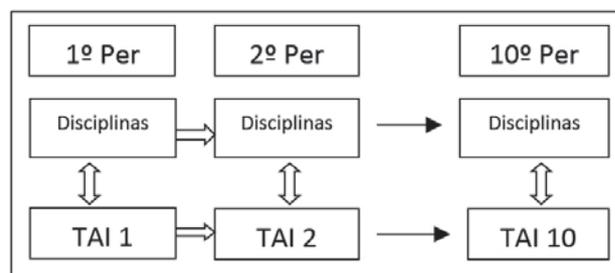
Figura 1 – Constituição típica de integração entre disciplinas e TAI em um período do curso.



As disciplinas são agrupadas por área de conhecimento e organizadas sequencialmente, ao logo

dos dez períodos do curso, contemplando os conteúdos curriculares básicos, profissionalizantes e específicos do curso. O modelo de aula inclui, além da exposição clássica de conteúdos, o uso de exemplos e de aplicações práticas, o incentivo à leitura de textos e discussões, a pesquisa complementar sobre temas tratados na sala de aula. As atividades desenvolvidas em cada disciplina devem estar sistematicamente integradas ao componente TAI. Esse modelo curricular tem uma sequência ao longo de todo o curso, do primeiro ao décimo período, sendo que o TAI é estruturado de modo a apresentar uma ampliação da complexidade do trabalho anterior, à medida que o aluno avança no curso. (Figura 2).

Figura 2 – Sequência curricular do curso com integração disciplinas/TAI.



As práticas educativas relacionadas aos TAI são desenvolvidas na forma de projetos e são organizadas de modo a interagir com os conteúdos estudados nas disciplinas. Essas atividades são realizadas por grupos de alunos, orientados por professores, geralmente mais de um professor, dependendo das áreas que os projetos abordam. O TAI 1 e o TAI 2, cujo foco é o desenvolvimento da autonomia e a preparação do estudante para aprender a trabalhar com uma postura ativa e interdisciplinar, apresentam temas diversificados, porém integrados com os conteúdos disciplinares desses períodos. A partir do TAI 3, no terceiro período, os grupos iniciam um projeto cujo foco é o suprimento energético de uma região específica, denominada de “ilha”. Essa ilha corresponde a uma região geográfica real, cujas características – população, características geográficas, recursos energéticos, demandas de energia e projeções de crescimento – são pesquisadas pelos estudantes. Os temas dos trabalhos são relacionados à área de energia e os conteúdos são apropriados aos conhecimentos estudados junto às disciplinas de cada período. A sala de aula do TAI é constituída

de computadores com sistema multimídia e mesas de reuniões para que os estudantes possam trabalhar em grupos auxiliados por professor(es) orientador(es). Os projetos desenvolvidos nos períodos posteriores ao terceiro período são, geralmente, programados de modo a ampliar e aprofundar o estudo de suprimento energético da ilha, a partir dos subsídios e conteúdos das disciplinas. Os conteúdos de algumas disciplinas são desenvolvidos tanto em sala de aula convencional quanto em laboratórios, com instrumentação prática. As aulas de laboratório, dependendo da natureza do tema, são desenvolvidas a partir das demandas do projeto trabalhado no TAI ou fornecem subsídios ao desenvolvimento desses trabalhos. Deve haver uma integração entre a teoria trabalhada na disciplina, o tema abordado no laboratório vinculado à disciplina e o projeto desenvolvido no TAI. O sistema de avaliação integra os conteúdos e conhecimentos desses componentes. Em termos de quantificação, são definidos 60% dos pontos para avaliações individuais nos conteúdos de cada disciplina e 40% para o projeto desenvolvido no TAI, definido pelos professores envolvidos no processo e discutido em conselho de classe. Há, ainda, outros componentes curriculares que são aplicados durante o curso, tais como seminários, atividades de pesquisa e extensão além do estágio curricular e TCC. O TCC é desenvolvido nos dois últimos períodos do curso, podendo contemplar um aprofundamento do TAI (anteriormente realizado) ou podendo estar vinculado a um tema específico do estágio.

Essa descrição sucinta do curso de Engenharia de Energia corresponde a uma estrutura curricular que possibilita trabalhar conteúdos e competências de uma forma integrada. Nesse modelo de estruturação – disciplinas/TAI –, os aspectos fundamentais requeridos para a formação profissional, quais sejam, o desenvolvimento de competências e a aprendizagem dos conteúdos são integrados e são passíveis de serem trabalhados, uma vez que a própria estrutura do currículo estabelece essa relação. Enquanto as disciplinas fornecem os fundamentos conceituais pertinentes ao projeto desenvolvido no TAI, as atividades e a metodologia aplicada ao TAI envolvem os estudantes com trabalho em equipe, abordagem de situação-problema, aplicação de

questões relacionadas à engenharia em situações reais, elaboração de procedimentos de pesquisa, entre outras. Trata-se de situações que viabilizam o desenvolvimento de diversas competências requeridas para o engenheiro. O estudante depara-se com o desafio de solucionar problemas demandados pelo projeto e encontra nas disciplinas em oferta no período um conjunto de recursos, de informações e conceitos que apoiam a solução desses problemas. Não raramente, alguns temas e conceitos ultrapassam aqueles ofertados pelas disciplinas no momento, fato esse que deve ser resolvido com o professor orientador do TAI. Muitas vezes, as questões que surgem na sala de aula junto ao professor de uma determinada disciplina são oriundas de questões que o projeto do TAI está fomentando. Assim, a interação disciplina/TAI é consequência da própria estrutura curricular. As disciplinas fornecem o material teórico e a linguagem que dá suporte às questões e demandas para desenvolvimento do projeto no TAI. Esse, por sua vez, suscita no estudante o interesse pelos temas abordados nas teorias e conteúdos disciplinares.

Neste tópico, não há a pretensão de explorar com detalhes os diversos aspectos pertinentes ao currículo do curso de Engenharia de Energia, mas destacar alguns pontos relacionados ao processo ensino-aprendizagem que foram abordados neste artigo e que remetem aos conceitos de complexidade. Esses pontos, que o projeto pedagógico do curso propõe alcançar, relacionam-se aos seguintes aspectos: 1) considerar o currículo como um processo que envolve complexidade, uma vez que o ensino-aprendizagem é elaborado em contextos de constante mudança, com pessoas atuando com situação-problema e trabalhando com objetos de estudo que, por si só, requerem uma visão sistêmica, como é o caso da energia num mundo globalizado; 2) possibilitar a ampla abordagem dos conteúdos disciplinares e o conhecimento de fundamentos teóricos relacionados aos temas disciplinares, permitindo que a abordagem dos problemas seja integrada com a teoria; 3) estimular o desenvolvimento de competências requeridas ao exercício profissional; 4) tratar as questões temáticas relacionadas aos projetos desenvolvidos pelos alunos visando à apropriação da linguagem teórica e de termos relativos à pro-

fissão; 5) propiciar procedimentos e metodologias que conduzam os estudantes a buscar a aprendizagem ativa; 6) estruturar os trabalhos de modo a dar continuidade e ampliação do projeto ao longo do curso, envolvendo, ainda, o planejamento para cumprimento dos prazos e a avaliação dos resultados.

Diversos aspectos têm dificultado a implementação desse modelo curricular. O primeiro é o modo como o professor se envolve com a aplicação do projeto. Mesmo que muitos estejam motivados nesse processo, há fatores que interferem, tais como o tempo de dedicação ao trabalho e disponibilidade para atendimento aos grupos. Há, também, uma tendência de manter um padrão tradicional na sala de aula, sem conseguir integrar com modelos inovadores. A coordenação do curso realiza, constantemente, reuniões com a equipe de professores promovendo discussões e avaliação da aplicação do projeto pedagógico, porém, com dificuldades de tempo e de aprofundamento nos temas. Os alunos também trazem suas expectativas e costumes com modelos padronizados de ensino e nem sempre se adaptam bem ao modo de trabalho, além das tradicionais dificuldades de operacionalização dos grupos. É fundamental que haja também o comprometimento do estudante com o seu processo de aprendizagem. A avaliação, tanto da aprendizagem dos alunos quanto do processo em si, também requer adequações e novas abordagens, de modo a incluir o desenvolvimento das competências. O planejamento das atividades no curso, envolvendo os professores, tem sido comprometido pelos fatores acima citados, especialmente pelo fato de não haver uma homogeneidade de conceitos sobre complexidade, cujos principais aspectos foram mencionados acima. A rotatividade de professores tem outro fator complicador no processo de melhoria e ampliação da metodologia do curso.

Alguns aspectos positivos, no entanto, precisam ser destacados. O curso de Engenharia de Energia encontra-se entre os melhores cursos avaliados pelos alunos da universidade. Trata-se de um dos cursos com os alunos mais satisfeitos, especialmente em função da metodologia aplicada. Existem diversos relatos de alunos declarando que o curso tem uma prática metodológica diferenciada, fato esse que torna o aprendizado mais amplo, principalmen-

te quanto à preparação para o mercado de trabalho. Em uma pesquisa realizada por Cunha *et al.* (2011), os engenheiros supervisores de estágio nas empresas em que os alunos do curso realizam estágio, indicaram que esses apresentam desempenho superior quando comparados com estagiários de outros cursos. Ainda, para concluir, os avaliadores do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), no processo de reconhecimento do curso, destacaram, em seu relatório, o diferencial positivo que a metodologia representa em relação aos métodos convencionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como anunciado inicialmente, este artigo considera o ensino de engenharia, tanto no contexto da organização curricular quanto nas práticas, compatível com os modelos descritos como sistemas complexos. Essa referência pode facilitar a compreensão dos ambientes de ensino, permitir que os atores envolvidos no processo venham a assimilar as condições inerentes ao sistema, viabilizar um entendimento e a tomada de decisões quanto à definição de objetivos de aprendizagem, orientar o planejamento das atividades e integrar os diversos componentes curriculares onde as práticas são efetivadas. Além disso, educar para uma profissão implica lidar com sujeitos em situações multifacetadas, trabalhar com temas inovadores, assumir a imprevisibilidade dos resultados e assimilar aspectos contraditórios inerentes a esses sistemas. Todos esses procedimentos são próprios dos sistemas complexos. Logicamente que, para incorporar esses elementos, é necessário um estudo aprofundado das relações entre os diversos conceitos e compreender mais detalhadamente alguns métodos específicos que podem ser apropriados do paradigma da complexidade. Mesmo considerando que os aspectos abordados neste artigo não foram profundamente tratados, os pontos citados buscaram delinear situações relacionadas às discussões sobre ensino de engenharia que podem ser analisadas à luz da teoria da complexidade. Assim, quando se trata do ambiente sala de aula, os conflitos e os problemas devem ser incorporados como parte e não como falhas do processo. As metodologias aplicadas podem ser avaliadas em função do objetivo que pretendem atingir, tanto do pon-

to de vista da aprendizagem de conteúdos quando do desenvolvimento de competências. Deve-se considerar que a complexidade inclui o simples. Portanto, pode-se promover a utilização de uma diversidade de métodos, porém, integrados no projeto curricular e visando a uma interação entre os diversos componentes, o que significa, na prática, aplicar a interdisciplinaridade. Quando se trata de conteúdos, competências e objetivos de aprendizagem, é pertinente integrar e não isolar esses elementos como se fossem concorrentes ou suscetíveis de serem destacados em grupos de controle e medidos separadamente. Assim, o currículo pode ser planejado de modo a viabilizar a implantação desses aspectos de forma integrada, evitando-se a fragmentação e o acúmulo de diversos métodos e de atividades desconectadas entre si. Quando há uma fragmentação, o estudante fica submetido a um amontoado de demandas e o mesmo passa a ver seu curso como um sistema de barreiras a serem vencidas, e não um processo organizado de trabalho que viabilize sua aprendizagem.

Em síntese, e especialmente no caso do presente artigo, considera-se que a preparação de um profissional no campo da engenharia pode ser compreendida como um processo que envolve complexidade. Dessa forma, o ensino comporta uma teia de relações entre diversos elementos, tais como a não compartimentalização do saber, a necessidade de considerar o acaso, assim como a organização, no processo de aprendizagem, a visão do planejamento do ensino sempre pronto para alterar seus rumos, a contextualização do ensino no sistema mais amplo, o que significa relacionar ciência, tecnologia e sociedade. Finalmente, e não menos importante, deve-se destacar o lugar e o papel dos sujeitos envolvidos – estudantes e educadores –, que mudam continuamente durante o processo de ensinar-aprender.

REFERÊNCIAS

- BELHOT, R. Vairo. **Reflexões e propostas sobre o “ensinar engenharia” para o século XXI**. São Carlos: Escola de Engenharia USP, 1997 (Tese Livre Docência).
- BRASIL. CNE/CES 11, de 11 de março de 2002, institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**, 9 de abril de 2002. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2002.
- CHALMERS, Alan. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.
- CUNHA, Flávio M. *et al.* Perfil ocupacional dos alunos estagiários do curso de Engenharia de Energia da PUC Minas. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA – COBENGE, **Anais**. Blumenau, 3 a 6 de out. 2011.
- DELUIZ, Neide. O modelo das competências profissionais no mundo do trabalho e na educação: implicações para o currículo. **Boletim Técnico do Senac**. Rio de Janeiro: Ed. SENAC Nacional, v. 27, n. 3, p. 13-25, set./dez. 2001.
- DEMO, Pedro. **Conhecer e aprender: sabedoria dos limites e desafios**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.
- GELL-MANN, Murray. **O quark e o jaguar: aventuras no simples e no complexo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.
- KURL, N. P. **Abordagens do processo ensino-aprendizagem**. São Carlos: Centro de Tecnologia Educacional para Engenharia – CETEPE, 1993.
- MORETTO, Vasco P. **Planejamento: planejando a educação para o desenvolvimento de competências**. Petrópolis: Vozes, 2009.
- MORIN, Edgar. Por uma reforma do pensamento. In: PENA-VEGA, Alfredo; NASCIMENTO, Elimar P. do (Org.). **O pensar complexo: Edgar Morin e a crise da modernidade**. Rio de Janeiro: Garamond, 1999, p. 21-34.
- MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. São Paulo: Cortez, UNESCO, 2002.
- MORIN, Edgar. **Ciência com consciência**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2006.
- NUSSENZVEIG, Moysés. **Complexidade e caos**. Rio de Janeiro: Ed UFRJ/Copea, 2008.
- OLIVEIRA, Vanderli F. de; TOZZI, Marcos J.; ELARRAT, José Hélio A. (Org.). **Desafios da educação em engenharia: formação em engenharia, internacionalização, experiências metodológicas e proposições**. Brasília, DF: ABENGE, 2013.
- OLIVEIRA, Vanderli F. *et al.* (Org.). **Desafios da educação em engenharia: vocação, formação, exercício profissional, experiências metodológicas e proposições**. Brasília, DF: ABENGE; Blumenau: EdIFURB, 2012.
- PERRENOUD, Philippe. **Dez novas competências para ensinar**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

PERRENOUD. **Construir competências é virar as costas aos saberes?** Disponível em: <<http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php1999.html>>. Acesso em: 27 fev. 2014. (Publicado originalmente em **Résonances, Mensuel de l'école valaisanne**, n. 3, Dossier Savoirs et compétences, november 1998, p. 3).

PUC Minas. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia**. Belo Horizonte, 2005.

RIBEIRO, L. R. C. **A aprendizagem baseada em problema: uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores**. (Tese Doutorado). São Carlos: UFS-Car, 2005.

RIBEIRO, L. R. C. Aprendizagem baseada em problemas na educação em engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**. Brasília, DF: ABENGE, v. 27, n. 2, p. 23-32, jul./dez. 2008.

TONINI, Adriana. **Ensino de engenharia: as atividades acadêmicas complementares na formação do engenheiro**. (Tese de Doutorado). Belo Horizonte: UFMG, 2007.

DADOS DO AUTOR



Flávio Macedo Cunha, formado em Engenharia Elétrica, pela UFMG (1980) e em Filosofia, pela PUC Minas (2002). Mestre em Educação Tecnológica. Professor da PUC Minas e do CEFET-MG.

COMPETÊNCIAS COMPORTAMENTAIS DE LIDERANÇA E GESTÃO NA ENGENHARIA CIVIL

DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p17-29>

Carlos Alberto Czekster,¹ Luciano Andreatta Carvalho da Costa²

RESUMO

O presente estudo é o resultado de um trabalho de pesquisa das mais valorizadas competências comportamentais de liderança/gestão que os engenheiros devem demonstrar no exercício de cargos de gestão de suas organizações.

Palavras-chave: Competência; comportamental; liderança; gestão.

ABSTRACT

BEHAVIORAL SKILLS OF LEADERSHIP AND MANAGEMENT IN CIVIL ENGINEERING

The present paper is the result at a research about the most valued behavioral skills of leadership/management that the engineers must demonstrate along the exercise of management positions in their organizations.

Keywords: Competence; behavior; leadership; management .

INTRODUÇÃO

Com frequência, as organizações indicam engenheiros para ocupar os cargos de gestão baseadas na qualificação técnica dos mesmos, sem considerar suas competências comportamentais de liderança/gestão.

Observa-se que as universidades brasileiras colocam no mercado de trabalho, a cada ano, centenas de engenheiros, nas suas diferentes modalidades, com pouca vivência organizacional e extremamente acadêmicos.

Existem cerca de 900 instituições de ensino superior no Brasil, com quase 2 milhões de alunos matriculados. O ensino superior brasileiro tem muitas instituições particulares e poucas tornam-se universidades; cresceu em quantidade e não melhorou em qualidade. As atuais mudanças nas Instituições de Ensino Superior (IES) estão sendo impulsionadas pela nova LDB, por novo cenário socioeconômico, globalização e concepção de qualidade. Nesse sen-

tido, o estudante precisa que a universidade ofereça formação de acordo com as necessidades do mercado de trabalho (ALMEIDA, 2001).

A busca de alternativas para uma melhor adaptação às exigências do mercado, atualmente, tem levado grande parte dos engenheiros a optarem por uma formação complementar após a graduação. As escolas de engenharia sempre se orgulharam de formarem profissionais competentes no gerenciamento e na criação de técnicas, tecnologia e procedimentos, mas o enfoque sempre foi racional, lógico e voltado exclusivamente para soluções de caráter tecnológico. A formação humanista do engenheiro nunca foi um ponto forte da sua capacitação. Essa lacuna pode ser observada, até o momento, no currículo das escolas de engenharia, nas quais as disciplinas de vocação humana não têm acompanhando as necessidades do profissional no mercado de trabalho. Os engenheiros, ainda hoje, são valorizados pelas organizações, porém, são forçados a buscar formação adicional para serem capazes de exercer,

¹ Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Metodista do IPA, Engenheiro Eletricista pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; czekster@gmail.com

² Professor na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), no Centro Universitário UniRitter e na Fundação Liberato; andreatta.luciano@gmail.com

de forma satisfatória, as tarefas e os desafios que lhes são apresentados pelo mundo dos negócios. Um bom engenheiro é aquele que não somente é capaz de desenvolver e implementar novas tecnologias, mas aquele que é capaz de levar a sua equipe a aumentar a produção e sua qualidade. Esse profissional deve estar apto a liderar sua equipe e mobilizá-la para o crescimento da empresa. Ele deve ser capaz de gerir recursos técnicos, humanos e financeiros. Ele deve estar em dia com as flutuações do mercado e com os avanços tecnológicos, e estar sempre buscando novas oportunidades. Infelizmente, nossas escolas de engenharia ainda não estão se mostrando capazes de suprir todas essas novas necessidades advindas das mudanças e revoluções dos últimos anos (ALMEIDA, 2001).

Considerando a realidade da formação de engenheiros no Brasil, verifica-se que há um enfoque maior na aquisição de competências técnicas e que, mesmo essas não estão em um grau de qualidade requerido pelo mercado de trabalho. Destaca-se, ainda, que, no rol de disciplinas do curso, poucas são as que capacitam para as competências comportamentais e de liderança.

REFERENCIAL TEÓRICO

A formação acadêmica nas Engenharias deixa a desejar ao ter em seus currículos muitas disciplinas técnicas visando somente à especialização do curso e poucas dando ênfase à gestão. Poucas vezes, durante o processo de aprendizado, o aluno é orientado a desenvolver suas competências comportamentais e de gestão, consideradas como diferenciais na hora de disputar uma vaga de gestor (DUTRA, 2001).

O conteúdo técnico não é mais o único diferencial para a escolha de um determinado gestor, haja vista que o currículo acadêmico é muito semelhante, na maioria das universidades. Hoje, o recrutamento de profissionais para cargos de gestão acontece baseado no perfil comportamental, com a busca de valores e competências comportamentais, alinhadas à identidade e às necessidades organizacionais (DESSLER, 2003).

O que são competências?

O conceito de competência foi proposto de forma estruturada, pela primeira vez, por David Mc-

Clelland (1973), na busca de uma abordagem mais efetiva para os testes nos processos de escolha de pessoas para as organizações. O conceito foi rapidamente ampliado, para dar suporte a processos de avaliação e para orientar ações de desenvolvimento profissional.

MacClelland assim apresenta o conceito de competência:

Observáveis características individuais – conhecimento, habilidades, objetivos, valores – capazes de prever/causar efetiva ou superior performance no trabalho ou em outra situação de vida.

Para Parry (1996), o conceito de competência é:

um agrupamento de conhecimentos, habilidades e atitudes correlacionados, que afeta parte considerável da atividade de alguém, que se relaciona com o resultado/entrega, que pode ser medido segundo padrões pré-estabelecidos, e que pode ser melhorado por meio de treinamento e desenvolvimento.

No Brasil, essa temática da competência vem sendo trabalhada por Joel Dutra (2004) sendo como “a capacidade de transformar conhecimentos e habilidades em entrega”, e por Fleury e Fleury (2000) como:

um saber agir responsável e reconhecido, que implica mobilizar, integrar, transferir conhecimentos, habilidades, recursos que agreguem valor econômico à organização e valor social ao indivíduo.

Para Ruzzarin, Amaral e Simionovschi (2006), competências são:

o conjunto dos conhecimentos, das habilidades e das atitudes requeridas para cada posição dentro da organização. Em uma outra visão, seria o somatório entre as competências técnicas (conhecimentos) e as competências comportamentais (habilidade e atitudes) requeridas para cada função.

Competências comportamentais de liderança/gestão

a) As competências comportamentais

Segundo Macareno (2009), o desenvolvimento de novas competências empresariais e humanas, para adequação à era do conhecimento e de novos

indicadores de competitividade, implica capacidades para rever conceitos herdados e mudar modelos mentais presentes nas atitudes de cada um. O modelo das competências adotado pelos teóricos franceses esclarece sobre um novo perfil de empresas e de profissionais identificado por um “saber fazer” que se faz necessário, que alinha habilidades técnicas e comportamentais para o enfrentamento de ambientes adversos e complexos, compartilhamento de novos valores e de novos modelos de gestão – um novo planejar, organizar, dirigir e controlar, que requer liderança.

Até há algum tempo, as organizações buscavam colaboradores inteligentes, com base nas habilidades técnicas exigidas para o exercício de funções específicas. No contexto de aprendizagem contínua e de utilização do conhecimento do trabalhador para agregar valor ao serviço, as habilidades comportamentais ganharam mais força, com a exigência de um perfil mais criativo, capaz de apresentar ideias inovadoras (presentes no indivíduo que é capaz de “sentir”). Então, a criatividade deve estar presente não só no exercício da função, mas também nos relacionamentos interpessoais, no trabalho em equipe, nas ações empreendedoras e na proatividade. Sabese que todos esses atributos são desenvolvidos a partir da expressão da capacidade emocional do indivíduo. Isso equivale a dizer que um colaborador com capacidade de rever seu comportamento no trabalho também poderá desenvolver a capacidade de sentir sobre o que o cerca e como interage com tudo isso, para, então, poder agir de forma coerente com o cenário das transformações.

O paradigma social emergente de um raciocínio menos linear e menos mecânico, para uma visão de maior flexibilidade e fácil adaptação às mudanças, coloca um desafio para o desenvolvimento das competências, pois as pessoas podem ficar divididas em como orientar suas ações.

Os desafios enfrentados pelos administradores aumentaram, porque, cada vez mais, a empresa depende das competências individuais: no caso, a complexidade e as contradições são comuns nos ambientes das empresas, e essas dependem das pessoas para atingir os melhores resultados, com base em um alto índice de desempenho humano. As empresas têm se equilibrado apoiadas no desenvolvimen-

to de competências organizacionais e individuais coerentes com novas demandas do mercado e com as estratégias organizacionais adotadas. Na próxima década, conviverão e superarão essa complexidade, não por meio de formas rígidas de administração, mas pela atuação com flexibilidade, criatividade e inteligência rara, administrando os paradoxos.

Trazendo para as vivências e realidades vividas pelos autores em suas práticas acadêmicas e profissionais, entenderemos o conceito de competências da seguinte forma: competências representam características possíveis de serem verificadas nas pessoas, incluindo conhecimentos, habilidades e atitudes que viabilizam uma performance superior.

De acordo com Macarenco (2009), o quadro atual das organizações e a competitividade no mercado apresentam outros valores e outras exigências, porque grande parte da economia está baseada na prestação de serviços e requer do trabalhador foco nas necessidades do cliente e no papel da organização, que é atendê-las. O operário, nesse contexto de aproximação com o cliente nas empresas, foi transmutado para o papel de colaborador, devendo utilizar também sua capacidade intelectual ou cognitiva para contribuir com o negócio. Exige-se das pessoas a capacidade emocional para saber atuar com o cliente externo ou interno. Além disso, é necessário ter flexibilidade diante do novo e ser menos resistente às mudanças, saber buscar novos conhecimentos para melhorar processos de trabalho e, ainda, entender que depende de cada talento presente na organização a perspectiva efetiva de construção de respostas às novas demandas.

Na chamada escola francesa, muito reconhecida no tratamento da questão das competências (e principal influenciadora na metodologia referenciada por RUZZARIN e SIMIONOVSKI, 2006), foi desenvolvida uma concepção muito difundida nos meios empresariais e acadêmicos, cuja classificação se sustenta em três elementos fundamentais:

- SABER (conhecimentos);
- SABER FAZER (habilidades);
- SABER SER, CONVIVER (atitudes).

Com base em longa experiência no tratamento desse tema, Le Boterf (1999) se propõe a revisar a noção e a classificação de competências, na medida

em que considera aquelas que são mais empregadas como relativamente genéricas. A partir daí, constrói um novo conceito e uma nova classificação dos elementos de competência, que obtêm bastante aceitação. Afirma, em primeiro lugar, que a competência não seria um estado de formação educacional ou profissional, tampouco um conjunto de conhecimentos adquiridos ou de capacidades apreendidas, mas seria, isto sim, “a mobilização e aplicação de conhecimentos e capacidades em uma situação específica, na qual se apresentam recursos e restrições próprias a tal situação”.

Por fim, Joel Dutra (2001), modernamente, tem associado diretamente os conceitos de competências com aqueles vetores que definem a “capacidade de entrega” que as pessoas têm em relação às suas atividades, processos, produtos e serviços, dentro dos seus respectivos espaços ocupacionais (o que é diretamente associado à ampliação do seu valor agregado dentro da organização, à medida que suas competências individuais vão atingindo maiores níveis de complexidade de atribuições e responsabilidades).

b) Competências de gestão

Competência é uma palavra utilizada, comumente, para designar pessoa qualificada a realizar algo. Já a qualificação é usualmente definida pelos requisitos associados à posição, ao cargo, ao estoque de conhecimentos da pessoa, certificados pelo sistema educacional.

Os conceitos sobre competências apresentados pelos autores nos permitem identificar alguns aspectos convergentes sobre essa noção:

- a competência é o resultado da mobilização, combinação, articulação, integração de conhecimentos, capacidades, experiências, atitudes;
- a competência acontece através da ação numa situação.

Na tentativa de explicar o fenômeno, cada autor apresentou sua própria lista de competências de liderança/gestão, o que resultou nas seguintes tendências:

- Sete mega-habilidades (por Burt Nanus): visão de futuro, domínio da mudança, desenho organizacional, aprendizado vitalício, iniciativa, in-

centivo ao compartilhamento/cooperação, altos padrões de integridade;

- Características baseadas em valores (por James O'Toole): integridade, responsabilidade, compreensão, respeito pelos seguidores;
- Sete hábitos das pessoas altamente eficazes (por Stephen Covey): proatividade, visão clara dos objetivos e das crenças, disciplina para fazer o mais importante, pensamento na vitória, empatia com o outro, sinergia/criatividade, busca do aprimoramento;
- Atributos do líder (por Max DePree): integridade, confiança nos outros, *insights*/discernimento, sensibilidade, coragem, senso de humor, energia/curiosidade intelectual, aprendizado por meio da experiência, planejamento, amplitude, presença com os liderados;
- Atributos da liderança (por John Gardner): energia, julgamento, impulso/iniciativa, conhecimento, empatia, compulsão para realizar, comunicação persuasiva, firmeza, coragem, conquista da confiança, estabelecimento de prioridades, domínio das situações, flexibilidade;
- Atributos desejáveis no perfil de um gestor (por Johann, em estudo sobre cultura organizacional das maiores e melhores empresas que atuam no Brasil): construtor de compromissos, transparência na tomada de decisões, proativo, inspirador de mudanças, foco nos clientes e nos resultados, comunicador, incentivador da criatividade, transparente em suas ações, empático, confiante no negócio/empresa, mobilizador de pessoas para resultados, polivalente, atualizado, visão estratégica e sistêmica, foco em resultados, gestor de mudanças, decisão rápida e objetiva, integridade, compromisso com a obtenção de resultados, dedicação ao trabalho, produtivo, participativo, decisões analíticas, com base em dados, despojado, assertivo, capacidade de elogiar e de motivar as pessoas, concentrado na melhoria da performance, ágil, simples, persistente e competente, mentalidade aberta, inovador, dotado de qualidade emocional, formador de equipes, motivador, visão global, focado nas pessoas, comunicador, devotado a qualidade, valoriza o ser humano, incentivo à inovação, paixão por aquilo que faz, participativo.

c) A busca de talentos através das competências comportamentais

- **Competências técnicas:
a standartização dessas competências**

Dutra (2001) diz que, ao escolher uma pessoa, além de verificar sua experiência, avaliamos como ela atua, sua forma de entregar o trabalho, suas realizações; enfim, cada um de nós usa diferentes formas de assegurar que a pessoa que estamos escolhendo terá condições de obter os resultados que necessitamos. Embora, na prática organizacional, as decisões sobre as pessoas sejam tomadas em função do que elas entregam, o sistema formal, concebido em geral a partir do conceito de cargos, as vê pelo que fazem.

Dutra (2001) cita um exemplo de dois funcionários, de mesmas funções e tarefas, que são remunerados e avaliados por esses parâmetros. Um deles, quando demandado a resolver um problema, traz a solução com muita eficiência e eficácia e é, portanto, uma pessoa muito valiosa. O outro não deixa o problema acontecer. Este é muito mais valioso, só que, na maioria das vezes, não é reconhecido pela empresa.

Dutra (2001) diz que considerar as pessoas por sua capacidade de entrega dá-nos uma perspectiva mais adequada para avaliá-las, orientar seu desenvolvimento e estabelecer recompensas. Sob essa perspectiva é que vamos analisar os conceitos de competência individual. Muitos autores procuram entender, como competência, a capacidade das pessoas em agregar valor à organização.

- **As competências comportamentais como diferencial na seleção de talentos**

Resende (2004) diz que, na atualidade, se fala muito em talentos: investir em talentos, formar e selecionar talentos, fazer a administração de talentos, cuidar da retenção de talentos. Talentos constituem, na verdade, pessoas com aptidões, habilidades e conhecimentos mais desenvolvidos. As organizações estão em busca de se tornarem mais competitivas e, para isso, precisam aumentar o seu quadro de pessoas com talentos. Cada vez mais, os talentos substituirão as pessoas comuns e medíocres e obterão mais respeito, *status* e recompensas nas organizações.

Dutra (2001) destaca também a importância de arrolar as competências “difíceis de se adquirir”, para que sejam identificadas no processo seletivo. Segundo ele, “quanto mais difícil a aquisição da competência, menos flexíveis devemos ser no momento da seleção”.

Dutra (2001) diz que o conceito de competência organizacional estimula a discussão sobre como compatibilizar as competências organizacionais e individuais. Dessa forma, as competências humanas não mais derivariam das trajetórias de sucesso de pessoas dentro da empresa, e sim dos objetivos estratégicos e das competências organizacionais. Busca-se não só uma integração com os objetivos estratégicos da empresa, mas também a integração da gestão de pessoas em si.

Le Boterf (1999) entende que competência não é um estado ou um conhecimento que se tem, nem é resultado de um treinamento. Na verdade, competência é colocar em prática o que se sabe em determinado contexto, marcado geralmente pelas relações de trabalho, cultura da empresa, imprevistos, limitações de tempo e de recursos. Nessa abordagem, portanto, podemos falar que a seleção deve observar a competência em ação, traduzindo-se em saber ser e saber mobilizar o repertório individual em diferentes contextos.

Dutra (2001) observa que, atualmente, temos que pensar a competência como o somatório das duas linhas, ou seja, como a entrega e as características da pessoa que podem ajudá-la na entrega com maior facilidade. Outra linha importante é utilizar a questão da competência associada à atuação da pessoa em áreas de conforto profissional, aproveitando seus pontos fortes e tendo maiores possibilidades de realização e felicidade.

Bispo (2013) diz que o ser humano é uma fonte de emoções e, através do seu comportamento, expressa as características de sua personalidade, mesmo que de forma inconsciente. Se, antes, revelar os sentimentos era considerado puro romantismo, muito evidenciado na literatura brasileira no século XIX, hoje, as emoções são vistas por outros prismas. Muitas organizações, por exemplo, quando realizam um processo seletivo, não avaliam o candidato apenas por sua bagagem técnica.

As competências comportamentais ou humanas, não importa a nomenclatura utilizada, pesam no momento da contratação. Mas, por que isso vem ocorrendo? Porque a aptidão em lidar com as emoções influenciará diretamente o comportamento das pessoas no dia a dia das organizações, inclusive a performance diante das atividades. As competências comportamentais valorizadas pelo mercado de trabalho que se encontram em alta, a partir de entrevistas, conversas com profissionais de RH e executivos dos mais variados segmentos, são as seguintes: trabalho em equipe, capacidade de negociação, liderança, comunicação, criatividade/inação, prudência, flexibilidade, otimismo, assertividade, ética, valorização da qualidade de vida, visão holística, compartilhamento de conhecimento, autodesenvolvimento e intuição.

Para Marques (2013), é na faculdade que buscamos e adquirimos conhecimentos técnicos, ferramentas para exercer nossa profissão; é ao longo de nossa vida e a partir das nossas experiências profissionais que vamos desenvolvendo as competências necessárias ao bom desempenho da carreira que iremos seguir e no cargo que iremos ou queremos ocupar.

Ainda segundo Marques (2013), existem competências comportamentais mais valorizadas pelo mercado, e que são essenciais para o alcance de sucesso profissional. Entre essas competências, o autor destaca dez, consideradas importantes pelas empresas: liderança, automotivação, trabalho em equipe, criatividade, comunicação efetiva, capacidade de negociação, flexibilidade, busca por conhecimento, bom humor e relacionamento interpessoal.

Kopschitz (2011) relata que um em cada três empregadores, no mundo, tem dificuldades para preencher vagas, e esse número só tende a aumentar. Embora 28% deles relatem que a falta de experiência dos candidatos é a principal barreira, as competências comportamentais são os fatores que, somados, mais são valorizados no mercado de trabalho atual. As conclusões são de estudo do ManPower Group, feito em 2011, com cerca de 60 mil organizações (de diferentes portes e setores), em 41 países, incluindo o Brasil.

Segundo a pesquisa, dos empregadores, 17% consideram colaboração/trabalho em grupo a com-

petência relevante que menos encontram entre os candidatos no mercado. Em seguida, vêm habilidades interpessoais (15%), entusiasmo/motivação (14%), profissionalismo (13%) e atenção a detalhes (10%). Características como: habilidade com ambiguidade/complexidade (9%), resolução de problemas (9%), e adaptabilidade/flexibilidade/agilidade (9%) são outras competências no alto do *ranking*, citadas por empregadores como sendo relevantes e, ao mesmo tempo, mais dificilmente encontradas em candidatos.

As chamadas competências comportamentais são uma forma de o profissional se diferenciar no mercado hoje – diz Márcia Almström, diretora de recursos humanos da ManPower Brasil.

Segundo Almström, saber colaborar e influenciar os demais é a competência mais exigida, pois ela é essencial para que as empresas consigam se superar e inovar no atual contexto de rápidas mudanças tecnológicas. Aí estaria contido o conceito de “liderança”, que não está ligado à hierarquia, mas à capacidade de conseguir seguidores para um objetivo comum.

Educação para o Século XXI

As ideias constantes no Relatório de Jacques Delors *et al.*, da Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI, para a UNESCO (2001), estabelecem quatro pilares para a educação contemporânea que, como um *continuum* educativo na vida das pessoas, perpassam a educação formal e a educação no mundo do trabalho como um conhecimento dinâmico do mundo, dos outros e de si próprio.

Para Delors *et al.* (2001), a ideia de “educação permanente” deve ser repensada e ampliada para “educação ao longo da vida”. Com os progressos atuais e previsíveis da ciência e da técnica, e com a importância crescente do cognitivo e do imaterial na produção de bens e serviços, todos devemos nos convencer das vantagens de repensar o lugar ocupado pelo trabalho na sociedade de amanhã. Portanto, além das necessárias adaptações relacionadas com as alterações da vida profissional, ela deve ser encarada como uma construção contínua da pessoa humana, dos seus saberes e aptidões, da sua capacidade de discernir e agir. Deve levar cada um a tomar

consciência de si próprio e do meio ambiente que o rodeia, e a desempenhar o papel social que lhe cabe enquanto trabalhador e cidadão.

Ainda segundo Delors *et al.* (2001), para poder dar resposta ao conjunto de suas missões, a educação deve organizar-se em torno de quatro aprendizagens fundamentais que, ao longo de toda a vida, serão os pilares do conhecimento: aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser.

Aprender a conhecer visa ao domínio do conhecimento como um meio e como uma finalidade da vida humana. Como meio, pretende que cada um aprenda a compreender o mundo que o rodeia, desenvolva suas capacidades profissionais e consiga se comunicar. O aumento dos saberes permite compreender melhor o ambiente sob os seus diversos aspectos, favorece o despertar da curiosidade intelectual, estimula o sentido crítico e permite compreender o real mediante a aquisição de autonomia na capacidade de discernir. É necessário ter uma cultura geral vasta e, ao mesmo tempo, trabalhar em profundidade determinado número de assuntos, devendo-se cultivar, simultaneamente, essas duas tendências.

Aprender para conhecer supõe, antes de tudo, aprender a aprender, exercitando a atenção, a memória e o pensamento. Aprender a fazer está mais estreitamente ligado à questão da formação profissional. Porém, aprender a conhecer e aprender a fazer são indissociáveis.

Para as economias industriais em que domina o trabalho assalariado, especialmente para os operadores e técnicos, tornou-se obsoleta a noção de qualificação profissional, levando a que se dê importância à competência pessoal. Essa competência se apresenta como uma combinação entre a formação técnica e profissional e o comportamento social, a aptidão para o trabalho em equipe, a capacidade de iniciativa e o gosto pelo risco. Qualidades como a capacidade de comunicar, de gerir e resolver conflitos tornam-se cada vez mais importantes, devido ao desenvolvimento do setor de serviços. Esse setor, bem como organizações ultratecnistas do futuro, exigirão qualificações mais comportamentais do que intelectuais – a intuição, o jeito, a capacidade de

julgar, aptidão para relações interpessoais serão altamente valorizadas.

Aprender a conviver é um dos maiores desafios da educação. Os seres humanos têm tendência a supervalorizar as suas qualidades e as do grupo a que pertencem e a alimentar preconceitos desfavoráveis em relação aos outros. Por outro lado, o clima geral de concorrência que caracteriza, atualmente, a atividade econômica tende a dar prioridade ao espírito de competição e ao sucesso individual.

Parece, portanto, que a educação deve utilizar duas vias complementares: a descoberta progressiva do outro e a participação em projetos comuns, para evitar ou resolver conflitos (preconceitos e a hostilidade latente) e dar lugar à cooperação no respeito pelos valores do pluralismo e da compreensão mútua.

Aprender a ser é a contribuição da educação para o desenvolvimento total da pessoa – espírito e corpo, inteligência, sensibilidade, sentido estético, responsabilidade pessoal, espiritualidade. Todo ser humano deve ser capaz de elaborar pensamentos autônomos e críticos para formular os seus próprios juízos de valor, de modo a decidir por si mesmo como agir nas diferentes circunstâncias da vida.

As quatro aprendizagens propostas por Delors *et al.* mostram a necessidade de se conceber a educação como um todo. No momento em que os sistemas educacionais formais tendem a privilegiar o acesso ao conhecimento em detrimento de outras formas de aprendizagem, é imprescindível que a educação corporativa consiga se inserir no resgate do “desenvolvimento das potencialidades humanas na sua totalidade”, cumprindo seu papel social e obtendo efetividade em seus resultados.

Educação Corporativa no Brasil

Para Eboli (2004), o surgimento de um novo ambiente empresarial caracterizado por profundas e frequentes mudanças, pela necessidade de respostas cada vez mais ágeis, para garantir a sobrevivência da organização, gera um impacto significativo no perfil de gestores e colaboradores que as empresas esperam formar nesses novos tempos.

Exige-se cada vez mais das pessoas, em todos os níveis hierárquicos, uma postura voltada ao auto-desenvolvimento e à aprendizagem contínua. Para

criar esse novo perfil, as empresas precisarão implantar sistemas educacionais que privilegiem o desenvolvimento de atitudes, posturas e habilidades, e não apenas a aquisição de conhecimento técnico e instrumental.

A educação corporativa ganhou foco e força estratégica, evidenciando-se como um dos pilares de uma gestão empresarial bem sucedida.

Eboli (2004) coloca também que, analisando-se as dez empresas mais admiradas no Brasil, listadas na pesquisa realizada e publicada pela revista *Carta Capital*, em outubro/2003, quanto aos fatores-chave considerados para a classificação, nota-se que a maioria se refere a uma postura empresarial pautada por ética, inovação, compromisso com o país, compromisso com RH, respeito pelo consumidor, responsabilidade ambiental e responsabilidade social. Isso significa que são os aspectos relativos ao comportamento e às atitudes que estão imprimindo as características diferenciadoras de estilo e qualidade da gestão empresarial.

METODOLOGIA

Com o intuito de informar as técnicas de pesquisa e obtenção dos dados que foram adotadas na confecção do presente estudo, é apresentada a estratégia metodológica. Serão verificados o levantamento de dados, tipo de vertente, as técnicas de coleta, método aplicado e as técnicas de análise de dados deste estudo.

a) Tipo de pesquisa

A pesquisa é uma ferramenta que objetiva trazer respostas a problemas expostos. Usando de um processo racional e sistemático, a pesquisa visa resolver problemas encontrados (GIL, 1999).

Para a realização deste trabalho, foi feita pesquisa de caráter exploratório. Segundo Gil (1999), a pesquisa exploratória visa desenvolver novas ideias, esclarecer assuntos e conceitos. Esse tipo de pesquisa, segundo o autor, é utilizado quando se tem um assunto muito amplo a ser trabalhado e quando se busca um esclarecimento. A pesquisa exploratória é particularmente útil quando o responsável pelas decisões dispõe de poucas informações ou não sabe muito sobre o assunto pesquisado. Assim, a desco-

berta é a busca dessa pesquisa, e não o testar hipóteses (HAIR JR. *et al.*, 2005).

Collis e Hussey (2005) também afirmam que a pesquisa exploratória é realizada sobre um problema ou questão de pesquisa, quando há pouco ou nenhum estudo anterior. O objetivo desse tipo de pesquisa é procurar um padrão, não tendo sua utilidade para confirmar hipóteses e sim para novas descobertas. Mattar (1999) ainda acrescenta que a pesquisa exploratória é apropriada para os primeiros estágios da investigação, quando a familiaridade, o conhecimento e a compreensão do fenômeno por parte do pesquisador são, geralmente, insuficientes ou inexistentes.

Neste trabalho, foi utilizado o tipo de pesquisa exploratória para obtenção de informações e aproximação com o tema. Dessa forma, se fez a busca por conhecimento do mercado de engenheiros civis.

b) Vertente da pesquisa

Este estudo se utilizou de pesquisas qualitativas e quantitativas como vertente de pesquisa. A pesquisa qualitativa é, em si mesma, um campo de investigação. Ela atravessa disciplinas, campos e temas (DENZIN *et al.*, 2006). Migueles (2003, p. 75) acrescenta que esse tipo de metodologia tem maior ou menor validade dependendo da qualidade ou quantidade de fontes para a pesquisa e da representatividade em relação ao conjunto dos fenômenos que se quer conhecer.

A pesquisa qualitativa é baseada em amostras muito menores em relação à pesquisa quantitativa, pois ela vai mais a fundo na questão a ser analisada, trazendo significados e opiniões dos entrevistados que não seriam conseguidas através de uma abordagem mais superficial (MALHOTRA, 2006).

Um método quantitativo tem como objetivo, por natureza, focar na mensuração de fenômenos (COLLIS e HUSSEY, 2005). No presente estudo, o assunto para o pesquisador é novo, e, devido à utilização da pesquisa exploratória, a vertente principal da pesquisa de dados utilizada é a pesquisa quantitativa. O motivo do uso da pesquisa quantitativa é que, mais importante do que compreender as razões e intenções, nesse caso, é entender e quantificar os dados obtidos (MALHOTRA, 2006).

A pesquisa qualitativa, por sua vez, foi utilizada para a análise comparativa dos currículos das faculdades de Engenharia Civil da região metropolitana de Porto Alegre.

c) Método de pesquisa

O método de pesquisa utilizado para a elaboração deste estudo foi o de levantamento de campo, através de questionário – vertente quantitativa (ROESCH, 2005), e pesquisa documental, através de observação (instrumento/quadro de observação).

Para a pesquisa quantitativa, foi elaborado um questionário para obter as informações dos engenheiros. O questionário é um conjunto de perguntas criadas, em uma determinada sequência lógica, a fim de coletar dados e medir os fenômenos. Bons *surveys* exigem a preparação de um bom questionário (HAIR JR. *et al.*, 2005). O questionário exige um esforço intelectual para a sua elaboração e para que ele consiga atingir o seu propósito com mais facilidade, que é responder aos objetivos de pesquisa. Um bom questionário deve conter, além da sequência lógica de perguntas, uma introdução para explicar, a quem vai responder, o objetivo da pesquisa, uma explicação de como responder cada pergunta e questões de simples resposta. Para auxiliar na mensuração dos resultados, é ideal que o questionário se utilize de perguntas fechadas, com várias opções (ROESCH, 2005). Apesar dos vários princípios científicos que existem para a elaboração de um bom questionário, nenhum deles garante o sucesso do mesmo. Para Malhotra (2006), a elaboração é mais uma arte do que uma ciência.

d) Técnica de coleta de dados

Para estudos exploratórios, tem sido constantemente utilizada a técnica de pesquisa documental para seu desenvolvimento.

Na vertente quantitativa, o método *survey* foi utilizado para buscar informações dos engenheiros civis. O *survey* é uma técnica para coletar os dados primários de indivíduos. Nessa técnica, são questionadas opiniões de pessoas a respeito de determinado assunto, assim como informações gerais, como sexo, faixa etária, tempo de formado, renda, entre

outros. Os *surveys* podem ser enviados de duas formas: através de correio ou de *surveys* eletrônicos, que fazem a coleta pela Internet. Esse método é utilizado quando se quer obter uma amostra alta, com um número elevado de entrevistados (HAIR JR. *et al.*, 2005).

e) Técnica de Análise

Após a coleta de todos os dados da pesquisa, há a análise e interpretação dos resultados obtidos. A análise de dados deve ser realizada para que as informações possam ser organizadas para, posteriormente, serem interpretadas. A interpretação dá sentido aos dados recolhidos na pesquisa realizada. Esses dados servem para serem observados, com dados de outras pesquisas coletadas para o estudo, enriquecendo os resultados obtidos com a interpretação realizada (GIL, 1999).

Para a pesquisa quantitativa, a análise dos questionários *surveys*, enviados eletronicamente, deve ser feita por meio da tabulação dos resultados de pesquisa, que é o processo de agrupar e contar as respostas obtidas (GIL, 1999). A tabulação dos resultados dos engenheiros foi feita eletronicamente, pela própria ferramenta utilizada. As perguntas foram enviadas por e-mail. Gil (1999) é de opinião de que a tabulação eletrônica é muito mais segura para poder armazenar os dados posteriormente, além de reduzir o tempo nessa etapa. Para Malhotra (2006), os dados, após serem coletados dos questionários, permitem uma compreensão melhor sobre o tema do projeto de pesquisa realizado e devem ser analisados com cuidado, para que possam trazer a resposta do problema de pesquisa.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nos materiais disponibilizados pelo *site* e pelo coordenador de curso da Instituição B, pode-se observar que, no discurso de apresentação do próprio curso de Engenharia Civil da faculdade, já há um destaque para a carreira do engenheiro civil como um futuro líder, gestor de projetos, gestor de área funcional, gestor de uma empresa.

Analisando as informações da grade curricular de cada IES, consegue-se visualizar a importância dada para a inclusão de disciplinas que desenvol-

vam competências comportamentais de liderança/gestão.

A Instituição A é a faculdade que possui o maior percentual de carga horária em disciplinas que contribuem para o desenvolvimento de competências comportamentais de liderança/gestão, com 5,2% da carga horária total do curso.

Já se pode verificar que a Instituição B tem um percentual de 4,8% da carga horária total do curso (menor que o da Instituição A), mas somente com duas disciplinas que, na análise das ementas, são identificadas como tendo uma contribuição significativa para a aquisição de competências comportamentais de liderança/gestão.

A Instituição C é a IES que apresentou 4% do total da carga horária do curso com disciplinas que desenvolvem competências comportamentais de liderança/gestão. Aparecem, ainda, disciplinas muito importantes que agregam na aquisição dessas competências, mas como disciplinas optativas.

A Instituição E e a Instituição F ficaram em um patamar abaixo de 3% da carga horária total e a Instituição D não apresentou nenhuma disciplina que contribua para a aquisição de competências comportamentais de liderança/gestão.

A Instituição G também ficou em um patamar abaixo de 3% da carga horária total, mas tem um conjunto importante e diferenciado de disciplinas optativas que contribuem no desenvolvimento das competências comportamentais de liderança/gestão. Porém, estando disponibilizadas como disciplinas optativas, essas não garantem a escolha dos alunos na composição da sua carga horária total no curso de Engenharia Civil.

Analisando os resultados do questionário enviado aos engenheiros, identificou-se que os respondentes à pesquisa, segundo sua autoavaliação, acreditam que, em média, nas competências comportamentais de liderança/gestão, 6,3% precisam se desenvolver; 38,3% demonstram o necessário para o cargo, e 55,4% superam as expectativas do cargo.

Considerando o perfil dos engenheiros respondentes à pesquisa, pode-se depreender que, apesar das IES não terem em suas grades curriculares disciplinas que contribuam de maneira significativa para a aquisição de competências comportamentais

de liderança/gestão, os engenheiros conseguiram, segundo sua avaliação, desenvolver essas competências.

Como, ao se desenvolver essa pesquisa, a suposição era de que os engenheiros avaliariam que não possuíam essas competências ou as possuíam de forma parcial, não se pensou em colocar no questionário uma questão que teria sido muito importante e esclarecedora. A pergunta que poderia ter sido colocada após cada questão seria:

Se você se avaliou, na competência acima, como: “demonstra na medida do esperado”; “demonstra acima do esperado”; ou “demonstra permanentemente acima do esperado”, informe como você acredita que desenvolveu essa competência e assinale, das alternativas abaixo, as duas que mais contribuíram para a sua maturidade/prontidão:

- Disciplinas na faculdade de Engenharia Civil.
- Disciplinas na pós-graduação.
- Na prática, no exercício de minhas atividades profissionais.
- Coaching* dos meus gestores.
- Tendo líderes/gestores que foram exemplo.
- Educação corporativa (treinamentos oportunizados pelas empresas).
- Cursos que busquei como autodesenvolvimento.

À medida que essa questão, que teria sido esclarecedora, não fez parte do estudo, o que foi feito foi a interpretação com base na percepção/julgamento do autor. Como esse conjunto de engenheiros da amostra é de profissionais, em sua maioria, classificados como “*senior*” (mais de 50% com pós-graduação, com 21 anos ou mais de formação e atuando como líderes/gestores), pode-se supor que esses engenheiros desenvolveram as competências de liderança/gestão através de contribuições de disciplinas de uma pós-graduação ou do exercício de suas atividades. Uma pós-graduação, para ter contribuído na aquisição das competências em estudo, não pode ter sido focada no técnico, mas sim no desenvolvimento para gestão, como: Especialização em Gestão

Empresarial, MBA em Liderança Estratégica de Negócios e Pessoas, Mestrado em Administração, entre outros similares. Essas pós-graduações podem ter sido subsidiadas pelas empresas ou ter sido um investimento dos profissionais, como forma de auto-desenvolvimento. Na atividade profissional, podem ter se desenvolvido pelo método de experimentação (erros e acertos), por treinamento de um superior imediato (*Coaching*), através de cursos oferecidos pelas empresas ou, ainda, realizados no mercado, também como autodesenvolvimento.

Uma forte possibilidade, pelo acompanhamento de políticas e práticas de gestão de pessoas no mercado, é de que as empresas tenham oferecido, para esses engenheiros que foram promovidos de cargos técnicos para cargos de gestão, cursos *in company* (fechados para a empresa) ou os enviaram ainda para cursos abertos (disponíveis no mercado de trabalho).

CONCLUSÕES

Crescer profissionalmente, em grande parte dos casos, significa assumir um cargo de liderança/gestão. Mas nem todos os profissionais têm o perfil ou estão preparados para ser um gestor no momento em que esse desafio é oportunizado.

Neste trabalho, acreditamos que criamos a possibilidade de contribuir com o questionamento de como a grade curricular da Engenharia Civil pode ser revista para desenvolver conhecimentos, habilidades e atitudes que melhor preparem engenheiros civis para o mercado de trabalho, uma vez que esses, muito rapidamente, no exercício de suas atividades/responsabilidades, acabam tendo um cargo de liderança/gestão.

O aspecto a ser considerado é: como e com qual rapidez essas mudanças podem ser implementadas nas grades curriculares das faculdades de Engenharia Civil?

Não se pode esquecer que a atividade do engenheiro civil é prioritariamente técnica, mas, ao mesmo tempo, deve-se levar em conta que, na prática, esses profissionais logo assumem desafios de gestão, tais como atração, retenção, desenvolvimento e mobilização de pessoas e, para essas novas responsabilidades, não são as competências técnicas que farão a

diferença, mas sim as competências comportamentais de liderança/gestão.

Sabemos que essas mudanças são realizadas ao longo de todo um demorado processo, começando pela escolha de uma visão de futuro, de um perfil de formação, proposição de novas estratégias e novas metodologias. O importante seria trazer um pouco da realidade do mundo do trabalho para o mundo acadêmico, com a finalidade de permitir que os novos engenheiros civis saíssem mais prontos para as competências comportamentais consideradas pelas organizações como competências duráveis e diferenciadoras para a seleção, retenção e promoção de líderes e/ou gestores.

Outro aspecto que é preciso abordar é o quanto as organizações têm necessidade de suprir as lacunas de competência comportamental em seus quadros de líderes e/ou gestores. Se a Academia ainda não forma de acordo com o que seja necessário às organizações, essas terão que suprir as competências diferenciadoras de estilo e qualidade da gestão empresarial. Segundo Delors *et al.* (2001), a educação deverá pautar-se em quatro aprendizagens fundamentais que, ao longo da vida, serão os pilares para o desenvolvimento das competências necessárias: aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser.

As IES ainda estão focadas em fornecer conteúdos para o aprender a conhecer, e pouco têm evoluído no sentido de fornecer conteúdos e metodologias voltadas para o desenvolvimento do aprender a fazer, aprender a conviver e do aprender a ser.

Fica, então, para a educação corporativa (conjuntos de oportunidades de desenvolvimento de pessoas dentro das organizações) o fornecimento de possibilidades de cursos para suprir, no curto e médio prazos, as lacunas de competências comportamentais de liderança/gestão.

O perfil da formação de engenheiro civil preparado para ser um líder/gestor implica mudanças curriculares nos cursos de engenharia, tanto com relação ao conteúdo a ser tratado quanto às metodologias a serem adotadas.

Para desenvolver em um engenheiro civil competências como comunicação, trabalho em equipe, transparência, iniciativa, liderança, negociação, empatia, agente de mudanças, paixão pelo que faz,

entre outras, é necessário encorajar, deliberadamente, uma atitude interna nos estudantes, é necessário colocá-los em um ambiente onde a atitude desejada seja corrente, onde a atitude em questão seja constantemente exigida e exemplificada.

Identificamos lacunas que as grades curriculares possuem na formação de engenheiro civil, bem como identificamos que as organizações precisam desenvolver aqueles que são promovidos de cargos técnicos, ou mesmo que sejam selecionados no mercado, para capacitá-los a exercerem cargos de liderança/gestão.

Mas, e os próprios estudantes de Engenharia, ou os profissionais já atuando nas organizações ou mesmo como empreendedores, quando vão perceber que a sua contribuição para a sociedade, mesmo que tenham uma formação técnica, pode se dar através das suas funções em equipe e da mobilização de outros profissionais?

É preciso que os próprios engenheiros mudem os modelos mentais e sejam mais gerenciadores das suas carreiras, procurando o seu autodesenvolvimento, independentemente da sua faculdade ou da organização em que trabalha.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Edvander Prudente de. **Mudanças no Ensino Superior no Brasil**, 2010. Disponível em <<http://www.webartigos.com/artigos>>. Acesso em: 15 fev. 2015.
- ALMEIDA, Rita de Castro Engler F. de. **Engenheiros – Líderes, temos formação para gerir pessoas?** Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobengeanteriores/2001/trabalhos/dtco12.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.
- COLLIS, Jill; HUSSEY, Roger. **Pesquisa em Administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- DENZIN, Norman K. *et al.* **O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- DESSLER, Gary. **Administração de Recursos Humanos**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- DUTRA, J. S. **Gestão por competências: um modelo avançado para o gerenciamento de pessoas**. São Paulo: Editora Gente, 2001.
- DUTRA, Joel; FLEURY, M. T. L.; RUAS, Roberto. (Org.) **Competências: conceitos, métodos e experiências**. São Paulo: Atlas 2008.
- FLEURY, A.; FLEURY, M. T. L. **Estratégias empresariais e formação de competências: um quebra-cabeça caleidoscópico da indústria brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1996.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de Pesquisa Social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- JR. HAIR, Joseph F. *et al.* **Fundamentos de métodos de pesquisa em Administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- LE BOTERF, G. **Compétence et navigation professionnelle**. Paris: Les Editions d'Organisation, 1999.
- MALHOTRA, Naresh. **Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de Marketing**. São Paulo, Atlas, 1999.
- McCLELLAND, David C. Testing for competence rather than "intelligence". **American Psychologist**, n. 28, Jan. 1973.
- MACARENCO, Isabel; DAMIÃO, Maria de Lurdes Zamora. **Competência, a essência da liderança pessoal: seja o melhor com o melhor do seu talento**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- PARRY, S. B. The quest for competencies. **Training, july**, p. 60, 1996.
- RESENDE, E. **O livro das competências**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.
- RESENDE, E. **A força e o poder das competências: conectada e integrada – competências essenciais, competências das pessoas, competências de gestão, competências organizacionais**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.
- RUZZARIN, Ricardo; SIMIONOVSKI, Marcelo. **Competências: uma base para governança corporativa**. Porto Alegre: AGE, 2010.
- RUZZARIN, Ricardo; AMARAL, Augusto Prates do; SIMIONOVSKI, Marcelo. **Sistema integrado de gestão de pessoas com base em competências**. Porto Alegre: AGE, 2006.

DADOS DOS AUTORES



Carlos Alberto Czekster. Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do IPA, a partir de 2013. É Engenheiro Eletricista (PUC/RS, 1982). Área de interesse: Engenharia Rodoviária.



Luciano Andreatta Carvalho da Costa. Engenheiro Civil (UFRGS – 1994), Licenciado em Matemática (UFRGS, 1998) e mestre e doutor em Engenharia (UFRGS, 2000 e 2004), com tese de doutorado premiada entre as dez melhores do Brasil, pelo programa PAPED da CAPES. É professor da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), tendo exercido uma série de atividades administrativas e acadêmicas, entre elas, coordenação de curso (2007-2011), presidência de Colegiado de Engenharias e Tecnologias (2007-2010), coordenação do Núcleo de Educação a Distância (2007-2008) e direção técnica da Secretaria da Ciência, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico do Estado do RS (Gestão 2011-2014). Organizador do livro *Educação em Engenharia: fundamentos teóricos e possibilidades didático-pedagógicas*, publicado pela Editora da UFRGS, em 2012, e autor de artigos científicos e capítulos de livros nas suas áreas de atuação. Foi também representante do Poder Executivo Estadual no Conselho Superior da UERGS (2011-2014). Principais áreas de atuação: aprendizagem na engenharia, ciência, tecnologia e inovação, utilização de tecnologias para a educação em engenharia.

PROPOSTA DE ATIVIDADE PARA O ENSINO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS ORDINÁRIAS EM CURSOS DE ENGENHARIA USANDO UM SISTEMA P-FUZZY

DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p31-42>

Mariana Pelissari Monteiro Aguiar Baroni,¹ Graziela Marchi Tiago²

RESUMO

Neste trabalho, apresentamos o uso da modelagem matemática como uma metodologia de ensino-aprendizagem de Equações Diferenciais Ordinárias (EDO), em cursos de engenharia. Mais especificamente, utilizamos uma modelagem a partir de um sistema *p-fuzzy*, que procura desenvolver os conteúdos de EDO, junto aos alunos de cursos de engenharia. Nossa intenção é criar um caminho com novos ambientes de aprendizagem, em que a participação do professor seja a de orientador das atividades e não de único detentor do conhecimento. Com base na teoria de resolução de problemas de George Polya, podemos dizer que sistemas baseados em regras *fuzzy* se diferenciam pela facilidade de compreensão, e por traduzir o pensamento humano em uma linguagem natural. Além disso, por se tratar de ensino de EDO, o sistema *fuzzy* consegue integrar, de forma natural, os conteúdos das disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral e Física à modelagem de EDO. Adicionalmente, nessa proposta, os alunos têm a liberdade de desenvolver e modelar suas próprias ideias na construção dos conhecimentos, e não são meros receptores de informação, assim como se espera, considerando as novas tendências de ensino.

Palavras-chave: Ensino-Aprendizagem; Equações Diferenciais Ordinárias; modelagem matemática; sistemas *p-fuzzy*.

ABSTRACT

ACTIVITY PROPOSAL FOR THE TEACHING ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENGINEERING COURSES USING A P-FUZZY SYSTEM

This work presents the use of mathematical modeling as a methodology of teaching and learning of Ordinary Differential Equations (ODE) in Engineering Courses. More specifically, a model is used, from a *p-fuzzy* system, which seeks to develop the contents of EDO, for students of higher education. In this proposal, you must create a path with new learning environments in which the participation of the teacher is that of guiding the activities and not the holder of knowledge. Through the George Polya problem solving theory, we can say that system based on fuzzy rules differ in the ease of understanding, and translate human thought in a natural language. Moreover, because it is teaching EDO, the fuzzy system can explain the contents of the disciplines of Differential and Integral Calculus and Physics to modeling EDO more easily. Additionally, in this proposal, students have the freedom to develop and shape ideas in the construction of knowledge, and they are not mere recipients of information, as well as expected new trends of education.

Keywords: Teaching-learning; Ordinary Differential Equations; mathematical modeling; *p-fuzzy* systems.

1 Professora, Doutora em Computação Aplicada, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSP) – *campus* São Paulo; mariana.baroni@gmail.com.

2 Professora, Doutora em Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSP) – *campus* São José dos Campos; graelamarchi@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Equações Diferenciais (EDs) fazem parte do ensino de Cálculo Diferencial e Integral da maioria dos cursos de graduação da área de Ciências Exatas e Engenharias. Sendo parte de um curso universitário, podemos refletir sobre o que dizem Teodoro e Vasconcelos (2003, p. 85) quanto à aprendizagem dos alunos nesse nível de ensino:

a aprendizagem universitária pressupõe, por parte do aluno, aquisição e domínio de um conjunto de conhecimentos, métodos e técnicas científicas de forma crítica. Iniciativa para buscar informações, relacioná-las, conhecer e analisar várias teorias e autores sobre determinado assunto, compará-las, discutir suas aplicações em situações reais [...].

Esperamos que os alunos de curso universitário sejam seres críticos e reflexivos, capazes de aplicar os conhecimentos adquiridos em situações-problema reais e de analisar os resultados de um ponto de vista técnico, discutindo possíveis erros de formulação ou de obtenção de dados, por exemplo.

Assim, devemos dar subsídios e auxiliar os estudantes, por meio de novas metodologias para uma aprendizagem de conteúdos satisfatória. Por que isso não pode ser feito utilizando estratégias apropriadas e baseadas nos avanços tecnológicos que estão disponíveis a esses alunos todos os dias?

Moreno e Azcárate (1997; 2003) verificaram, em parte de seu trabalho, que a aula tradicional, baseada em métodos analíticos e técnicas de resolução de EDs e solução de problemas modelados apresentados como exemplo, é predominante entre os professores universitários. Eles ainda apontam que esse estilo de ensino tem trazido uma sensação de fracasso entre os professores, e tem transformado os alunos em “resolvedores” de EDs. Por isso, a importância de se pensar em uma nova metodologia de ensino-aprendizagem em cursos de engenharia, os quais requerem aplicações em problemas reais e discussões sobre a formulação e os resultados adquiridos na modelagem.

Mas, como mudar essa prática e transformar esses alunos em seres atuantes, críticos e reflexivos?

A fim de melhorar a qualidade da aprendizagem de futuros engenheiros, de forma que desenvolvam competências e habilidades de aplicação

dos conhecimentos na resolução de problemas reais, muitos pesquisadores têm se dedicado a estudar os processos de ensino e aprendizagem, visando à compreensão de conceitos e produção de significados dos conteúdos relacionados às EDs. Diversos trabalhos sugerem que um enfoque qualitativo, baseado em situações-problema, que, para sua solução, sejam utilizados recursos computacionais, é uma possibilidade de ensino de EDs que favorece o processo de aprendizagem dos conteúdos (DE OLIVEIRA; IGLIORI, 2013).

No que trata as aplicações a problemas reais, J. Stewart (2013, p. 525) afirma que:

Quando cientistas físicos ou cientistas sociais usam cálculo, muitas vezes o fazem para analisar uma equação diferencial que tenha surgido no processo de modelagem de algum fenômeno que eles estejam estudando.

Assim, podemos dizer que, a modelagem é um processo eficaz no entendimento de fenômenos relacionados a situações reais.

Um exemplo de trabalho realizado com uma turma de Engenharia Química é o de Dullius, Veit e Araujo (2007). Nesse trabalho, os autores utilizam um material instrucional baseado em guias com questões intermediárias que leva o grupo de alunos a explorar um modelo pronto fornecido ou a elaborar um modelo para o problema proposto. Essa exploração ou elaboração de um modelo foi feita a partir de uma ferramenta computacional, um *software* de distribuição gratuita, que permite modelar um sistema a partir de um diagrama de fluxo. Dessa forma, os alunos foram instigados a analisar o comportamento da solução de uma EDO, para, na sequência, serem apresentados a métodos de obtenção de solução analítica. Outro trabalho que utiliza recursos computacionais no ensino de EDOs é o trabalho de Javaroni (2009). A autora descreve o processo de visualização dos alunos, no qual, em uma das atividades propostas, por exemplo, os alunos relacionaram campos de direções dados a EDOs apresentadas sem determinar algebricamente as soluções. Essa visualização, utilizando ferramentas computacionais, motivou os alunos a uma discussão matemática sobre o comportamento da solução procurada e os guiou no desenvolvimento analítico de uma solução.

Esses e outros trabalhos se mostraram promissores e tiveram como premissa apresentar o estudo qualitativo de EDOs a partir de situações-problema e visualização de gráficos e tabelas. Mas, muitas vezes, os autores “esbarram” na dificuldade dos alunos em entender o significado de derivada como taxa de variação, e assim introduzir a modelagem matemática de fenômenos reais utilizando EDOs. Neste trabalho, buscamos o entendimento desse significado a partir de regras de inferência de um sistema *p-fuzzy* e, conseqüentemente, da modelagem matemática de um problema real.

A abordagem de EDs utilizando sistemas *fuzzy* é relativamente nova e pode ser encontrada em diversos trabalhos, sendo exploradas tanto no aspecto de definições de regras de inferência para aproximação com a solução desejada (FERREIRA, 2011; FERREIRA, 2012) quanto na formulação de modelos para estudo de um fenômeno natural (LEITE; BASSANEZI, 2010). Entretanto, uma abordagem de ensino de EDOs em cursos de engenharia utilizando sistemas *p-fuzzy* é um conceito inédito do ponto de vista metodológico.

O sistema *p-fuzzy* foi escolhido, primeiramente, pela experiência das autoras com esse tipo de abordagem e também com a experiência em sala de aula e em trabalhos de iniciação científica, quando da apresentação dos conceitos de EDOs para alunos de engenharia.

Este trabalho está dividido em mais quatro seções: a próxima apresenta uma breve explanação de sistemas *fuzzy* e *p-fuzzy*; a seção seguinte explicita a metodologia utilizada para encontrarmos a solução do problema utilizando um sistema *p-fuzzy*; a penúltima seção ilustra nossa proposta de apresentação do problema aos alunos, com a utilização do sistema *p-fuzzy*, e como essa apresentação pode motivá-los no processo de aprendizagem dos conteúdos relacionados; e, por fim, a última seção traz nossas discussões finais e perspectivas futuras com relação a este trabalho.

SISTEMAS FUZZY E P-FUZZY

Nesta seção, apresentamos alguns conceitos da teoria de conjuntos *fuzzy*, necessários para a compreensão do texto, sendo que uma descrição mais aprofundada pode ser encontrada em Barros e Bas-

sanezi (2006), em Tiago, Baroni e Fonseca (2014) e em Barrantes (2011).

O termo “*fuzzy*” foi pela primeira vez citado em 1962, pelo Dr. Lotfi Zadeh, considerado o pai da lógica *fuzzy*, em um jornal sobre engenharia chamado *Proceedings of the IRE* (ZADEH, 1962).

Um paradoxo que pode nos ajudar a entender a lógica *fuzzy* é o “Paradoxo de Epimênides”,¹ que pode ser enunciado da seguinte forma: Era uma vez um acusado que disse: “Enquanto a minha mentira não for desvendada, continuarei mentindo”. Em seguida, o juiz disse: “Se o acusado mentir, seu advogado também mentirá”. Por fim, o advogado disse: “Quem for capaz de desvendar a minha mentira dirá a verdade”. Qual deles está mentindo?

Como analisar esse paradoxo? Se Epimênides diz a verdade, então, ele está mentindo; e se ele está mentindo, então a sua afirmação é verdadeira. Essas proposições violam o Princípio da Não-Contradição da lógica clássica, pois uma proposição não pode ser verdadeira e falsa ao mesmo tempo.

O ser humano toma decisões a partir de sua habilidade de exercitar a análise e o controle baseado no método *fuzzy*. Um exemplo: suponha que você está dirigindo a uma distância de 1 km do carro à frente, e a sinalização indica 60 km/h. Entretanto, a maioria dos outros carros está por volta de 65 km/h. É comum e mais seguro você decidir por “seguir o fluxo”. Como definir com precisão a decisão de “seguir o fluxo”? Esse tipo de análise *fuzzy*, o ser humano faz a todo o momento, já que alguns carros estão acima de 65 km/h e outros abaixo. Então, como avaliar?

Em vista disso, um conjunto *fuzzy* pode ser visto como uma generalização dos conjuntos clássicos. Ele pode ser entendido como um conjunto que permite que elementos tenham graus diversos de pertencimento a esse conjunto. Além da função de pertinência, um conjunto *fuzzy* deve ser associado a um conceito linguístico, como, por exemplo, “Excelente”. Essa associação é utilizada para facilitar a construção das regras pelo especialista, sendo assim, compreensível. Adotando uma base de conhecimento (regras de inferência) que relacionam essas

1 Epimênides foi um poeta, filósofo e místico grego, que viveu em meados dos anos 600 a.C. na cidade de Creta (BOWDER, 1982). Ele aparece também no Novo Testamento, na Epístola que o apóstolo Paulo escreveu a Tito (Tito 1:12).

funções de pertinência constrói-se o mecanismo de inferência (YEN, 1999).

Nos conjuntos *fuzzy*, as funções de pertinência e as regras de inferência são obtidas a partir do problema proposto, sendo necessário um conhecimento parcial por parte do “especialista” para a modelagem do sistema. No caso do problema proposto neste artigo, para determinar a velocidade de um corpo em queda livre e sua velocidade terminal, esse conhecimento prévio do especialista baseia-se nos conhecimentos físicos do problema, no conhecimento do comportamento da velocidade inicial com resultados de dados experimentais e, principalmente, em conceitos de taxa de variação da velocidade do corpo, ou seja, em conteúdos abordados em Cálculo Diferencial e Integral.

A estrutura de um sistema baseado em lógica *fuzzy* possui quatro etapas: fuzzificação, base de regras, inferência e defuzzificação. Na teoria *fuzzy*, valores intermediários, chamados de grau de pertinência, são permitidos, e a produção dessas funções que definem graus de pertinência é chamada de “fuzzificação”. A fuzzificação, então, é o processo no qual são definidas as variáveis de entrada e de saída, para as quais são atribuídos termos linguísticos que descrevem seu estado. É nessa etapa do processo que são construídas as funções de pertinência.

Todos os conjuntos *fuzzy* representando as variáveis relacionadas por funções de pertinência são chamados de base de conhecimento. Um conjunto de regras de inferência é adotado para manipular a base de conhecimento. O método mais utilizado para representar o conhecimento humano é através de expressões de linguagem natural como: SE (antecedente) ENTÃO (consequente).

A base de conhecimento tem informações incertas, porém significativas para a modelagem do sistema. Essa incerteza é completamente resolvida com a entrada e saída dos conjuntos *fuzzy* e com a estratégia de manipulação da base de conhecimento pré-definidas. A base de conhecimento utilizada neste trabalho foi modelada com informações significativas para o sistema, de acordo com informações qualitativas do problema modelado (TIAGO; BUENO; BARBOSA, 2011).

Em seguida, é definido o modelo de inferência utilizado. Os tipos de modelos de sistemas de inferência *fuzzy* são diferenciados pela habilidade em representar diferentes tipos de informação, ou seja, na forma que se representa a base de regras. O modelo de inferência utilizado neste trabalho é o modelo Mamdani (MAMDANI, 1975 e 1976), que é o modelo mais utilizado na literatura e que inclui os modelos linguísticos baseados em coleções de regras SE-ENTÃO. Maiores detalhes podem ser encontrados em Tiago, Baroni e Fonseca (2014) e em Barrantes (2011).

Após definidas as regras e o método utilizado, ocorre à inferência. Na defuzzificação é necessário um processo de tradução do conjunto *fuzzy* resultante do método de inferência para um número real. Na literatura existem alguns métodos de defuzzificação, entre eles: centroide, centro dos máximos, média dos máximos, princípio da máxima associação, também conhecido como método da altura, e bissector.

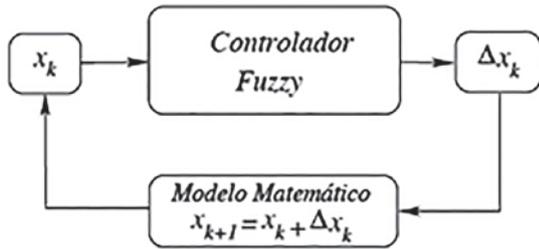
A escolha da estratégia de defuzzificação utilizada no sistema deste trabalho foi realizada de forma empírica, por meio do desempenho na simulação para o caso em análise. O método de defuzzificação escolhido foi método centroide, bastante utilizado na literatura e que retorna o centro da área sob a curva.

Todos esses processos de inferência *fuzzy*, definidos anteriormente, podem ser vistos como controladores *fuzzy*, uma vez que controlam a saída desejada pelo especialista, e são responsáveis pela dinâmica dos sistemas *p-fuzzy*. Denominamos de sistema parcialmente *fuzzy* ou *p-fuzzy* ao sistema iterativo a seguir.

$$\begin{cases} x_{k+1} = F(x_k) \\ x_0 \in \mathbb{R}^n \end{cases}$$

em que $F(x_k) = x_k + \Delta(x_k)$. Aqui $\Delta(x_k) \in \mathbb{R}^n$ é chamado de variação e é obtido pela saída defuzzificada de um sistema baseado em regras *fuzzy* (CECCONELO, 2006). Sua arquitetura pode ser vista na Figura 1, a seguir.

Figura 1 – Arquitetura de um sistema p-fuzzy.



Fonte: Extraído de Santos e Bassanezi (2009).

Os sistemas p-fuzzy incorporam informações subjetivas tanto nas variáveis de entrada quanto nas variações e suas relações com as variáveis, sendo assim, uma ferramenta muito útil para modelar fenômenos cujo comportamento seja parcialmente conhecido. Por isso, surge a ideia de se utilizar os sistemas p-fuzzy como uma metodologia de modelagem e ensino-aprendizagem de EDOs em cursos de engenharia. Conhecidas as condições físicas do problema, podemos modelar a solução, por meio de sistemas p-fuzzy, sem identificarmos o modelo determinístico com a equação diferencial, apenas conhecendo o comportamento do problema, resultados experimentais e a variação de tempos em tempos da variável envolvida. Nesse contexto, esperamos que o aluno aprenda a modelar a solução do problema com conceitos de Cálculo Diferencial e Integral, utilizando taxas de variação da variável em estudo e só depois tendo contato com a formulação matemática do modelo determinístico, ou seja, a EDO envolvida, comparando com a solução obtida pelo sistema p-fuzzy. Isso conduz o aluno de engenharia ao aprendizado através de uma situação-problema real, fazendo uma ligação com outras disciplinas do seu curso e construindo resultados, sem a necessidade inicial de formular o modelo determinístico.

METODOLOGIA

O problema físico/Dados experimentais

O problema a ser considerado para o ensino-aprendizagem de EDO por meio de sistemas p-fuz-

zy consiste em descobrir uma função que melhor represente a velocidade de um corpo em queda livre, estimando sua velocidade terminal, ou seja, perto da superfície da Terra. Maiores detalhes desse problema podem ser obtidos em Chapra e Canale (2008) e Kozama e Tiago (2011).

Sabemos, com base na segunda lei de Newton que

$$F = ma$$

onde F é a força resultante agindo no corpo (N ou Kg m/s^2), m a massa do objeto (Kg) e a é a sua aceleração (m/s^2). A mesma pode ser usada para modelar e determinar esta velocidade. Um modelo para este caso pode ser deduzido expressando a aceleração como taxa de variação da velocidade no tempo. Assim:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F}{m}$$

onde v é a velocidade (m/s) e t é o tempo (s). Se a força resultante for positiva, o objeto acelerará. Se for negativa, o objeto vai desacelerar. Se a força resultante for nula, a velocidade do objeto permanecerá em um nível constante. Para um corpo em queda livre na vizinhança da Terra, a força resultante é composta de duas forças opostas: a força gravitacional, para baixo, F_D e a força da resistência do ar, para cima, F_U :

$$F = F_D + F_U$$

Se associarmos um sinal positivo à força para baixo, a segunda lei de Newton pode ser usada para escrever a força devida à gravidade como:

$$F_D = mg$$

onde g é a constante gravitacional, ou a aceleração devida à gravidade, que é aproximadamente igual a $9,8 m/s^2$.

A resistência do ar pode ser formulada de diversas maneiras. Uma abordagem simples é assumir que ela é linearmente proporcional à velocidade e age no sentido para cima, como em:

$$F_U = -cv$$

onde c é uma constante de proporcionalidade chamada coeficiente de arrasto kg/s . Portanto, quanto

maior a velocidade de queda, maior a força para cima devida à resistência do ar. O parâmetro c representa as propriedades de objetos em queda livre, como a forma ou a aspereza da superfície, que afetam a resistência do ar. No caso presente, c poderia ser uma função relacionada ao tipo de vestimenta utilizada, por exemplo, um macacão, ou da orientação usada pelo corpo durante a queda livre.

A força resultante é a diferença entre a força para baixo e a força para cima. Portanto, as equações combinadas fornecem:

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{c}{m}v$$

Essa é uma equação diferencial ordinária linear de primeira ordem não homogênea, escrita em termos da taxa de variação instantânea da variável que estamos interessados em estimar. Para se obter a solução analítica dessa equação, vamos considerar que o corpo esteja inicialmente em repouso, ou seja, $v = 0$ em $t = 0$, fornecendo um Problema de Valor Inicial (PVI) cuja solução é:

$$v(t) = \frac{gm}{c} \left(1 - e^{-\frac{c}{m}t} \right)$$

Observamos também que, após um tempo suficientemente longo, é atingida uma velocidade constante, chamada de velocidade terminal $v_t = \frac{gm}{c}$. Essa velocidade é constante porque, eventualmente, a força da gravidade estará em equilíbrio com a resistência do ar. Portanto, a força resultante é nula e a aceleração deixa de existir.

Para a modelagem do sistema p-fuzzy, utilizamos também dados experimentais obtidos por Chapra e Canale (2008), principalmente para verificar o comportamento da variação da velocidade com o tempo, e para definir uma velocidade inicial para o sistema fuzzy (Tabela 1). O problema em estudo considera para os cálculos $c = 12,5 \text{ kg/s}$ e $m = 68,1 \text{ kg}$, importantes para estimar qual velocidade terminal seria atingida pelo corpo em queda livre na modelagem p-fuzzy, que é $v \cong 53,39 \text{ m/s}$.

Tabela 1: Velocidades experimentais de um corpo em queda livre.

Tempo(s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Vel. Exp. (m/s)	10	16,3	23	27,5	31	35,6	39	41,5	42,9	45	46	45,5	46	49	50

Modelagem do sistema p-fuzzy

O modelo fuzzy foi desenvolvido com o auxílio do software Matlab, por meio de seu *toolbox fuzzy*. O MatLab (Matrix Laboratory) é um software de alto desempenho, criado no fim dos anos de 1970, por Cleve B. Moler, com interface amigável, voltado especialmente para o cálculo numérico (MATHWORKS, 2013). A potencialidade desse software está, principalmente, no seu conjunto de *toolboxes*, que são funções externas e adaptáveis para diferentes aplicações. O *toolbox fuzzy* é comumente utilizado para descrição e modelagem de sistemas baseados em lógica fuzzy, e foi aplicado para descrever o modelo deste trabalho.

Para o sistema p-fuzzy, foram construídos controladores fuzzy, a partir de um sistema baseado em regras fuzzy, que têm como variáveis de entrada “velocidades” (V) e de saída “Variaçãovel” (ΔV).

Para a variável “velocidades”, adotamos o seguinte conjunto de termos linguísticos, $V = \{\text{Média (M), Alta (A), Altíssima (AL)}\}$. A variação da velocidade com o tempo está representada, na Figura 2, por uma reta, que pode ser relacionada com os dados experimentais da Tabela 1.

Em virtude disso, e sabendo da alta taxa de variação das velocidades no conjunto Média (M), utilizamos, para a variável “Variaçãovel”, o seguinte conjunto de termos linguísticos: $\Delta V = \{\text{Baixa negativa (BN), Média Alta positiva (MAP), Alta positiva (AP)}\}$. Na Figura 2, podemos perceber que a velocidade é inversamente proporcional à taxa de variação da velocidade em relação ao tempo, sendo que a base com três regras foi escolhida a partir dessas informações.

Figura 2 – Reta usada para determinação da base de regras.

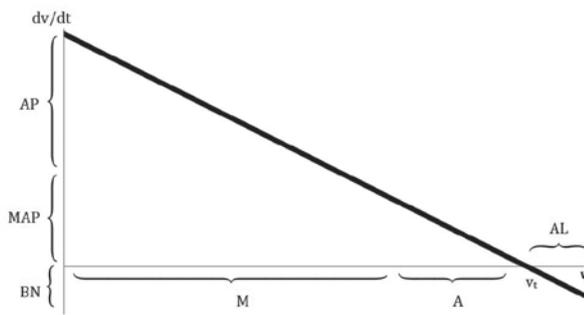


Figura 3 – Funções de pertinência para a variável de entrada “velocidades”.

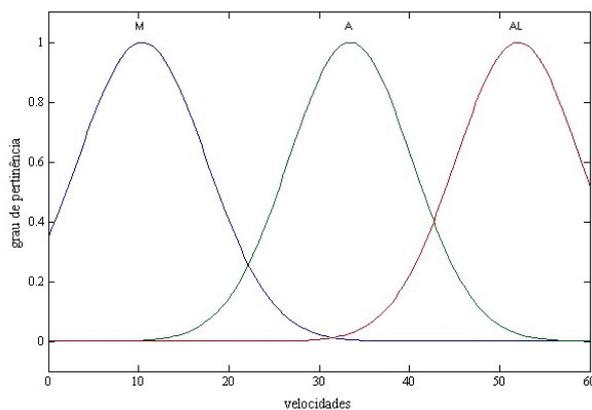
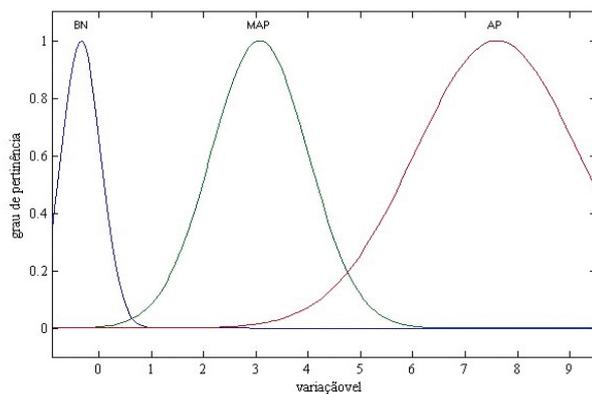


Figura 4 – Funções de pertinência para a variável de saída “Variaçãoovel”.



As funções de pertinência para as variáveis “Velocidades” e “Variaçãoovel” são apresentadas nas Figuras 3 e 4. Pelos testes analisados, verificamos que a função gaussiana escolhida suavizava os “bicos” formados na transição da velocidade de uma faixa a outra, em comparação com os testes usando a função trapezoidal. O método de inferência utilizado foi o Mamdani e o método de defuzzificação

escolhido foi o centroide, já que produziram os melhores resultados. No futuro, podem ser feitos testes com outro método de inferência e outro método de defuzzificação.

APRESENTAÇÃO AOS ALUNOS

Para a apresentação da solução do problema proposto aos alunos do curso de engenharia, utilizando modelagem por meio de sistemas *p-fuzzy*, será utilizada a metodologia de George Polya, que propõe que a resolução de problemas deve seguir quatro passos fundamentais: compreender o problema; desenvolver um plano; implementar o plano; e avaliar a solução (POLYA, 2006). A grande dificuldade na aprendizagem dos conceitos de EDOs é a forma como o conteúdo geralmente é apresentado. O que praticamos, geralmente, leva os alunos a memorizarem o uso de algoritmos com técnicas de solução, sem que se faça uso do pensamento crítico com modelagem e aplicação dos problemas propostos.

Segundo Polya (2006), a resolução de problemas propicia aos alunos o desenvolvimento de uma linha de raciocínio que pode contribuir com o entendimento dos métodos de resolução, em que o professor é o mediador da situação-problema que conduz os alunos à solução. Dessa forma, os alunos atuam como matemáticos, investigando problemas do seu cotidiano, abertos e desafiadores. Essa oportunidade, que o ensino a partir de resolução de problemas cria no ambiente escolar, parece ser um bom método para o ensino de EDOs em cursos de engenharia.

O problema proposto aos alunos para motivar a aprendizagem de EDOs é descobrir uma função que melhor descreva o comportamento da velocidade de um corpo em queda livre, desde o início do movimento até um tempo consideravelmente longo, depois do início da queda. Isso porque é comum, entre os alunos, a prática de esportes radicais, e essa problematização pode ser relacionada à prática do paraquedismo.

É apresentado aos alunos um conjunto de dados experimentais da velocidade de um corpo, como os descritos na Tabela 1. Esse corpo pode ser apresentado como um paraquedista “solto” por um avião. Outro ponto importante desse problema,

além de ser ligado ao cotidiano dos alunos, está no fato de proporcionar a interdisciplinaridade com conteúdos da disciplina de Física e de Cálculo Diferencial e Integral, disciplinas importantes para os futuros profissionais de cursos de engenharia.

Em um primeiro momento, passando pela fase de “compreender” o problema, podemos mostrar um vídeo de um salto para os alunos. Em seguida, indagar sobre quais as variáveis que estão envolvidas, fazendo-os perceberem que a velocidade depende do tempo. Além disso, questioná-los sobre algumas condições físicas, fazendo possivelmente algumas simplificações sobre o fato do corpo ter, no tempo $t = 0$, a velocidade inicial $v = 0$. Também fazer perguntas sobre quais outras condições estão envolvidas na queda do corpo, levando aqueles que já cursaram a disciplina de Física a se questionarem sobre a aceleração da gravidade, que levaria a uma força para baixo adotada como positiva e outra para cima, que dependeria da resistência do ar.

Em um segundo momento, passando para a fase de “desenvolver um plano” de solução para o problema, podemos questioná-los a respeito de possíveis teorias para a solução do problema. Eles podem tentar uma relação com o Método dos Mínimos Quadrados, fazendo uma ligação com a disciplina de Cálculo Numérico, já que foram considerados também dados experimentais no problema. Nessa fase, podemos sugerir que esbocem o gráfico da velocidade experimental, para que assim entendam o comportamento do gráfico de velocidade. Os resultados gráficos mostram que o gráfico da velocidade sobe muito rapidamente, mas, depois, começa a estabilizar, em curto espaço de tempo (15 segundos). Isso pode levar os alunos a observarem o comportamento da velocidade, questionando: por que estabiliza? Também perguntar sobre a aceleração da gravidade ou da força de resistência do ar. Com isso, o professor, como intermediador, pode perguntar como é possível relacionar essa velocidade com o tempo, e se os alunos conhecem algum problema relacionado com esse. Assim, o professor pode conduzir os alunos a relacionarem esse resultado com a taxa de variação da velocidade em relação ao tempo, e, com base no gráfico dos dados experimentais, mostrar a alta variação da velocidade, evidenciando a inclinação das retas tangentes, conectando, assim,

ao conteúdo da disciplina de Cálculo Diferencial. Com base na interpretação do gráfico, podemos perguntar o que os alunos esperam que aconteça depois dos 15 segundos apresentados, fazendo uma ligação com os saltos executados pelos paraquedistas. Nesse ponto, podem perceber que essa velocidade se estabiliza, e são informados de que é chamada de velocidade terminal. Com essa discussão, podemos chamar a atenção dos alunos sobre a importância da taxa de variação da velocidade em relação ao tempo, o que é imprescindível para a obtenção da solução do problema.

Em um terceiro momento, passando para a fase de “implementar um plano” de solução, o professor motiva os alunos a utilizarem conceitos de lógica *fuzzy* e a fazerem a modelagem do problema por meio de sistemas *p-fuzzy*.³ É interessante, nesse ponto, utilizar a ideia de que o sistema baseado em regras *fuzzy* deve ter como variável de entrada a velocidade, que pode ser até mesmo a primeira velocidade experimental de 10 m/s, já que são os dados que conhecemos do problema, e que a variável de saída deve ser a variação da velocidade. Isso pode ser feito perguntando aos alunos quais são as informações do problema, quais as variáveis fornecidas, e como eles esperariam obter a próxima velocidade, conhecendo a anterior. Devemos deixar claro que, utilizando o sistema *p-fuzzy*, esperamos que essa entrada nos forneça como saída a variação da velocidade e que, na próxima iteração, essa variação encontrada somada à velocidade inicial vai nos fornecer a próxima velocidade, e assim por diante. Dessa forma, instigamos os alunos a esboçarem o gráfico dos resultados experimentais para que, depois de algumas tentativas sobre como seriam tais variações das velocidades, consigam modelar a base de regras e percebam que, no início, com as velocidades baixa a média (M), a variação da velocidade é alta e positiva (AP); que, com velocidade alta, a variação fica menor, o que podemos chamar de média alta positiva (MAP), já que essa variação diminui, mas não tão rapidamente; e que, quando a velocidade fica altíssima (AL), a variação deve diminuir para atingir a velocidade terminal, chamando-a de baixa negativa

3 Aqui, é importante salientar que os alunos devem ter o conhecimento sobre lógica *fuzzy* e saber como utilizá-la. As autoras enaltecem, nesse momento, a importância de disciplinas optativas ou de oficinas temáticas para o ensino e aplicação de lógica *fuzzy* em cursos de engenharia.

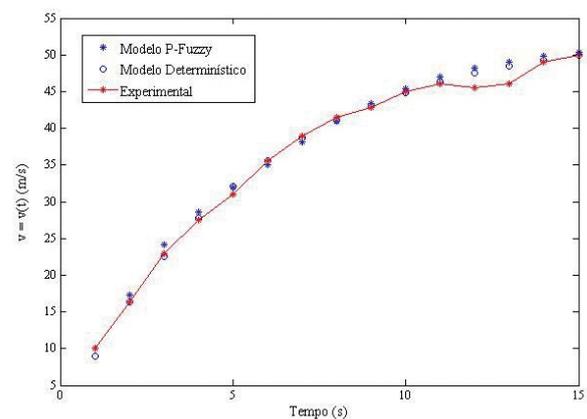
(BN). Os alunos podem propor outras modelagens, investigando melhores resultados. Assim, podemos levá-los a modelarem com diferentes funções de pertinência, trapezoidais ou triangulares, até chegarem na modelagem tipo gaussiana, que suaviza os dados, não formando “bicos” nas transições de velocidades.

A partir daí, os alunos farão a simulação do problema modelado com sistemas *p-fuzzy*. Em seguida, poderão comparar com os dados experimentais, e verificarão quais modificações podem ser feitas nas funções de pertinência para se atingir melhores resultados, alterando o domínio que as velocidades podem atingir, ou até o valor das funções de pertinência para a variável variação das velocidades. Aqui, é necessária a utilização de conhecimentos físicos para que os alunos percebam, pelos resultados experimentais, que a velocidade terminal, no caso do corpo do problema, com 68,1kg, está aproximadamente um pouco acima de 50m/s. Isso é o mais subjetivo de modelar, tanto por modelagem matemática, utilizando o modelo determinístico (EDO), quanto pelos sistemas *p-fuzzy*, já que o problema depende do peso do corpo e do coeficiente de arrasto.

Na última e quarta etapa, a de “avaliar a solução”, devemos questionar os alunos sobre outras possibilidades de resolver o problema; podemos mostrar, também, que esse tipo de modelagem pode ser aplicado a outros problemas e levá-los a perceber quais são esses problemas. Podemos perguntar o que esses problemas têm em comum: sempre há uma taxa de variação de alguma variável envolvida? Nesse momento, podemos iniciar a relação com a modelagem matemática determinística, utilizando as ideias de força gravitacional, força de resistência do ar, como enunciado na seção “O problema físico/Dados experimentais”, e assim obter a equação diferencial envolvida. Os alunos poderão perceber que o conteúdo já abordado, sobre EDO de primeira ordem linear não homogênea, possui uma aplicação no cotidiano, e que sua solução, já estudada, pode ser devidamente comparada ao resultado proposto com sistemas *p-fuzzy*. Podemos, nesse ponto, perguntar quais condições são necessárias para conseguir modelar utilizando sistemas *p-fuzzy*, para que percebam que já possuíam informações parciais do problema a ser modelado; e que essa modelagem

não apresenta dificuldades, fazendo apenas o uso de linguagem natural e de símbolos linguísticos, assim como de conteúdos já abordados, principalmente na disciplina de Cálculo Diferencial, contribuindo para a interdisciplinaridade. Os alunos, nessa fase, podem melhorar o resultado gerado pelo sistema *fuzzy*, já que podem comparar os 15 segundos iniciais experimentais com os resultados desenvolvidos pelo sistema *p-fuzzy* e com a solução analítica da EDO. Em seguida, podemos estimar a velocidade terminal, fazendo pequenos ajustes nas funções de pertinência para que atinja a velocidade pretendida. Um exemplo do resultado que pode ser obtido é apresentado na Figura 5, a seguir.

Figura 5 – Uma comparação entre o modelo utilizando o sistema *p-fuzzy*, o modelo determinístico e os dados experimentais para o problema do corpo em queda livre.



Dessa forma, ao utilizarem esse processo de investigação/apresentação, os alunos podem desenvolver o raciocínio com mais naturalidade, compreendendo a resolução, além de consolidar os conceitos envolvidos nas disciplinas de Equações Diferenciais Ordinárias, Cálculo Diferencial e Integral, Cálculo Numérico e Física. Essa interdisciplinaridade faz-se muito importante para os alunos de cursos de engenharia, dada a demanda exigida no mercado de trabalho desses futuros profissionais.

DISCUSSÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este artigo apresenta uma proposta do uso de modelagem matemática por sistemas *p-fuzzy* no ensino de EDOs para alunos dos cursos de engenharia.

Nossa proposta utiliza uma ferramenta computacional como base para a aula e o desenvolvimento de uma atividade por meio de um problema aplicado e próximo à vivência do aluno.

A atividade proposta neste trabalho sugere a apresentação do problema aos alunos a partir das quatro fases de resolução de problemas dadas por Polya (2006), de forma que o professor seja o mediador e os alunos atuantes e construtores do conhecimento. Dessa forma, com a mediação do professor, os estudantes têm a oportunidade de criar indagações relacionadas a conhecimentos já adquiridos. Essa ideia de mediar os questionamentos, a fim de criar a possibilidade de os alunos se indagarem e/ou perguntarem e/ou, ainda, de criarem relações quanto a conhecimentos prévios vai ao encontro do que Paulo Freire sugere como “início de conhecimento”:

O que o professor deveria ensinar – porque ele próprio deveria sabê-lo – seria, antes de tudo, ensinar a perguntar. Porque o início do conhecimento, repito, é perguntar. E somente a partir de perguntar é que se deve sair em busca de respostas e não o contrário (FREIRE; FAUNDEZ, 1998, p. 46).

A Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel, também contribuiu com o desenvolvimento deste trabalho, pois a construção dos modelos utiliza a estratégia de aprendizagem com a modelagem matemática como elemento significativo, trabalhando com uma situação-problema ligada ao cotidiano dos alunos, com uma interdisciplinaridade – com conteúdos da disciplina de Física e elementos da disciplina de Cálculo Diferencial e Integral. Segundo Ausubel (2003), com novos materiais, o educando é capaz de fazer a assimilação de conceitos não mais de forma arbitrária e literal, mas de forma cognitiva.

Também destacamos que a atividade sugerida apresenta um caráter interdisciplinar. Os alunos de cursos de engenharia podem estudar a modelagem a partir de conhecimentos da disciplina de Cálculo Diferencial e Integral (taxa de variação, por exemplo) e também da disciplina de Física.

O emprego da lógica *fuzzy*, a partir da utilização de um sistema *p-fuzzy*, justifica-se pela fácil compreensão do *toolbox* de *fuzzy* e, principalmente, devido à base de conhecimento ser construída utilizando conceitos linguísticos, ou seja, é baseada

numa linguagem natural, como por exemplo, AL – altíssima, MAP – média alta positiva, etc. Essa associação a conceitos linguísticos facilita a construção das regras pelos alunos e o entendimento do resultado obtido.

Outra vantagem da modelagem utilizando sistemas *fuzzy* em um ambiente de aprendizado como a sala de aula e que contribua para a construção do conhecimento matemático e, conseqüentemente, dos conceitos de EDOs, é trazido no trabalho de Corcoll-Spina (2010, p. 159). Ela afirma, a partir de seu trabalho, que podemos considerar que:

[...] quando o conhecimento (matemático) é resultado de uma ação frente a situações/contradições que emergem da realidade, fica mais e mais evidente que este é, ao mesmo tempo, resultado de atividade mental (cognição) e produto criativo dessa atividade [...].”

E também:

[...] os problemas apresentados e discutidos na pesquisa, não postos para o problema da matemática tradicional clássica, remetem o resolvidor para uma atmosfera de incerteza, provocando a opinião e a interpretação dos mesmos.

Logo, além de resolver um problema aplicado a uma situação real e promover indagações pelos alunos, proporcionamos uma atividade criativa. Esperamos que os alunos de engenharia sejam capazes de interpretar o resultado e validar a modelagem do problema a partir da observação dos dados, resultando, assim, no conhecimento matemático relacionado.

Como nos diz D’Ambrósio (1996, p. 80): “O grande desafio da educação é pôr em prática hoje o que vai servir para o amanhã”; e “Nenhuma teoria é final, assim como nenhuma prática é definitiva, e não há teoria e prática desvinculadas”. Com essas reflexões finais, esperamos que este trabalho sirva como sugestão para trabalhos futuros, de aplicação e publicação de relatos referentes ao uso dessa proposta em sala de aula.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Prof. Dr. Paulo Roberto Barbosa, pelas frutíferas discussões e apoio na publicação deste artigo, e ao fomento do IFSP (via edital 67/2012).

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Coimbra: Paralelo, 2003.
- BARRANTES, A. C. **Sistema de inferência fuzzy aplicado na avaliação discente**. 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em <http://matematica.spo.ifsp.edu.br/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=181>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- BARRROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. Tópicos de lógica fuzzy e bio-matemática. **Coleção IMECC – Textos Didáticos**. v. 5. Campinas: Unicamp, 2006.
- CECCONELO, M. S. **Modelagem alternativa para dinâmica populacional**: sistemas dinâmicos fuzzy. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. **Métodos numéricos para engenharia**. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.
- CORCOLL-SPINA, C. de O. **Lógica fuzzy**: reflexões que contribuem para a questão da subjetividade na construção do conhecimento matemático. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- D'AMBRÓSIO, U. **Educação matemática**: da teoria à prática. Campinas: Papirus, 1996.
- DE OLIVEIRA, E. A.; IGLIORI, S. B. C. Ensino e aprendizagem de equações diferenciais: um levantamento preliminar da produção científica. **Em teia – Revista de educação matemática e tecnológica Iberoamericana**, v. 4, n. 2, p. 1-24, 2013.
- DULLIUS, M. M.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. **Uso de recursos computacionais para o ensino e aprendizagem de equações diferenciais**. XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 2007, Anais... Disponível em: <[http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2007/artigos/268-Maria Madalena Dullius.pdf](http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2007/artigos/268-Maria%20Madalena%20Dullius.pdf)>. Acesso em: 9 mar. 2014.
- FERREIRA, D. P. L. **Sistema p-Fuzzy aplicado às equações diferenciais parciais**. 75 p. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- FERREIRA, T. F. **Sistemas p-Fuzzy modificados para dinâmicas populacionais**: modelagens e simulações. 138 p. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- FREIRE, P., FAUNDEZ, A. **Por uma pedagogia da pergunta**. 4. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1998.
- LEITE, J.; BASSANEZI, R. C. Sistemas dinâmicos fuzzy aplicados a processos difusivos. **Biomatemática**, v. 20, p. 157-166, 2010.
- JAVARONI, S. L. O processo de visualização no curso de introdução às Equações Diferenciais Ordinárias. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 28, n. 1, p. 17-25, 2009.
- KOZAMA, T. T.; TIAGO, G. M. Aplicação do método dos mínimos quadrados: problema do paraquedista em queda livre. **Sinergia**, v. 12, n. 1, p. 93-98, 2011.
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975.
- MAMDANI, E. H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 8, n. 6, p. 669-678, 1976.
- MATHWORKS. **About MathWorks**: Cleve Moler; Jack Little (Founders), 1994. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/company/aboutus/founders/cleve-moler.html>>. Acesso em: 8 out. 2013.
- MORENO, M. M.; AZCÁRATE, C. G. Concepciones de los profesores sobre la enseñanza de las Ecuaciones Diferenciales a estudiantes de Química y Biología. Estudio de Casos. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 15, n. 1, p. 21-34, 1997.
- MORENO, M. M.; AZCÁRATE, C. G. Concepciones y Creencias de los profesores universitarios de Matemáticas acerca de la enseñanza de las Ecuaciones Diferenciales. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 21, n. 2, p. 265-280, 2003.
- POLYA, G. **A arte de resolver problemas**: um novo aspecto do método matemático. Tradução e adaptação de Heitor Lisboa de Araújo. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. Título original: How to solve it, 1945.
- SANTOS, L. R.; BASSANEZI, R. C. Sistemas p-fuzzy unidimensionais com condição ambiental. **Biomatemática**, v. 19, p. 11-24, 2009.
- STEWART, J. **Cálculo**. v. II, São Paulo: Cengage Learning, 2013. Título original: Calculus: early transcendentals.
- TEODORO, A.; VASCONCELOS, M. L. (org.) **Ensinar e aprender no ensino superior**: por uma episte-

mologia da curiosidade na formação universitária. São Paulo: Mackenzie; Cortez, 2003.

TIAGO, G. M.; BARONI, M. P. M. A.; FONSECA, R. F. Avaliação discente: uma proposta utilizando a lógica *fuzzy*. **REVEMAT: Revista eletrônica de educação matemática**, v. 9, p. 87-109, 2014.

TIAGO, G. M.; BUENO, E. I.; BARBOSA, P. R. **Air quality monitoring using fuzzy logic**. In: 21st INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, Natal, 2011.

YEN, J. Fuzzy logic: a modern perspective. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, v. 11, n. 1, p. 153-165, 1999.

ZADEH, L. A. From circuit theory to system theory. **Proceedings of the IRE**, v. 50, n. 5, p. 856-865, 1962.

DADOS DAS AUTORAS



Mariana Pelissari Monteiro Aguiar Baroni, licenciada em Matemática, mestre e doutora em Computação Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LAC/INPE), professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), *campus* São Paulo, e dos Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática e PROFMAT, *campus* São Paulo, Membro do Grupo de Pesquisa em Matemática pura e aplicada à fenômenos realísticos e ao ensino básico e tecnológico do IFSP, *campus* São Paulo. Endereço para correspondência: Rua Pedro Vicente, 625, Canindé, São Paulo – SP, CEP: 01109-010, *E-mail*: mariana.baroni@gmail.com



Graziela Marchi Tiago, licenciada e bacharela em Matemática, mestre em Matemática Aplicada e doutora em Engenharia Mecânica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), *campus* São José dos Campos, SP, e dos Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu* Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática e PROFMAT, *campus* São Paulo, SP, Membro do Grupo de Pesquisa em Educação Matemática e Profissional (GPEMeP) do IFSP, *campus* São Paulo, SP. Endereço para correspondência: Rodovia Presidente Dutra, s/n, saída Km 145, Jardim Diamante, São José dos Campos – SP, CEP: 12223-201, *E-mail*: grazielamarchi@gmail.com

OPORTUNIDADES DE FORMAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA PARA ATUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÍCOLAS E NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p43-50>

Odilio Benedito Garrido Assis,¹ José Manoel Marconcini,² Luiz Henrique Capparelli Mattoso³

RESUMO

A nanotecnologia está se consolidando como uma das mais importantes ferramentas para o desenvolvimento da moderna agricultura. Através da manipulação da matéria na escala nanométrica (10^{-9} m), novos materiais, dispositivos e processos estão surgindo com efetivas contribuições para o aumento da produtividade, associado a uma redução de agroquímicos e, conseqüentemente, menor impacto ambiental, entre outros benefícios. As nanotecnologias têm por base a multidisciplinariedade, o que abre um potencial mercado de trabalho e atuação para profissionais de diversas formações. Mas será nas engenharias e em áreas correlatas que, certamente, se configurará a qualificação adequada. No presente texto, apresentamos algumas aplicações factíveis das nanotecnologias na área agrícola e na produção de alimentos, discorrendo sobre o programa governamental na área, Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, lançado em 2012, pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). São listados e discutidos os setores elencados como estratégicos por esse programa, assim como a situação atual com respeito à formação de recursos humanos qualificados em nanotecnologia.

Palavras-chave: Nanotecnologia; agroindústria; alimentos; formação de recursos humanos.

ABSTRACT

NANOTECHNOLOGY TRAINING OPPORTUNITIES FOR ACTIVITIES IN AGRICULTURAL SCIENCES AND FOOD PRODUCTION

Nanotechnology is consolidating as one of today's most important tools for the development of modern agriculture. Through the manipulation of the matter in the nanometric scale (10^{-9} m), new materials, devices and processes are emerging with effective contributions to productivity increasing, associated with reduction of agrochemicals and consequently lower environmental impacts, among other benefits. The nanotechnologies have a multidisciplinary base, which opens market opportunities for distinct professional backgrounds. But will be in engineering and related areas, which certainly will configure the appropriate professional qualification. In the present paper, the potential applications of nanotechnology in agriculture and food are presented. We consider the government program in the area, the Brazilian Nanotechnology Initiative, launched in 2012 by the Ministry of Science, Technology and Innovation – MCTI. The sectors listed as strategic as well as the current situation concerning the formation of qualified human resources in nanotechnology are discussed.

Keywords: Nanotechnology; agroindustry; food; human resources training.

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia, ou nanotecnologias, como atualmente é mais preconizado (MANGEMATIN e WALSH, 2012), consiste na junção de conhecimentos oriundos de várias áreas, como biologia, computação, física, eletrônica, materiais e similares, com o propósito de gerar soluções e produtos que tragam benefícios ao ser humano. Do ponto de vista científico, podemos entender a nanotecnologia como a manipulação da matéria na escala de 10^{-9} m. Uma definição mais ampla, contudo, é apresentada por Bawa *et al.* (2005), que, em uma tradução livre, pode assim ser compreendida: “A nanotecnologia é definida como o desenho, a caracterização, produção e/ou a aplicação de estruturas e dispositivos, por manipulação controlada do tamanho e da forma, na escala nanométrica, que gerem sistemas com pelo menos uma característica ou propriedade nova ou superior”. Essa definição é fundamental para a real contextualização do tema, pois indica que a inovação deve ser o resultado final do uso da nanotecnologia.

Cabe ressaltar que o controle e a compreensão dos processos que ocorrem em escala nanométrica são ainda incipientes e demandarão grandes esforços e pesquisas continuadas para que o domínio dessa ciência seja pleno. Contudo, é principalmente nos países em desenvolvimento que a aplicação das nanotecnologias trará os maiores impactos.

Segundo interessante estudo realizado por Salamanca-Buentello *et al.* (2005), a nanotecnologia poderá beneficiar um número estimado de cinco bilhões de pessoas. Esses benefícios serão decorrência direta ou mesmo indireta da melhoria dos processos de controle e análises, proporcionando uma maior eficiência na produção industrial e, em particular, da agroindústria, possibilitando o acesso a novos produtos por um maior número de consumidores.

Nesse contexto, diversos países de economia de base agropecuária, como o Brasil, a Índia, a Malásia, o México, a África do Sul e a Argentina, entre outros, têm estabelecido programas específicos de pesquisa em nanotecnologia e nanociências, em grande parte focada em aplicações no setor agroindustrial, meio ambiente, farmacêutico e alimentício.

Para países com esse perfil, Salamanca-Buentello *et al.* (2005) apontam dez áreas nas quais a nanotecnologia terá papel fundamental (Tabela 1). Desses dez itens, sete a oito estão diretamente vinculados à atividade agroindustrial ou ao processamento de alimentos, sendo, inclusive, temas abordados no programa oficial de pesquisa em nanotecnologia da Embrapa (REDE AGRONANO, 2014). Para se ter uma noção da expectativa de retorno das atividades em nanotecnologia, os recursos mundiais aplicados em pesquisa e desenvolvimento de processos e produtos de base nanotecnológica eram de US\$ 200 milhões em 2001 e estima-se que em 2015 já ultrapasse a casa do US\$ 1,2 trilhões (HARPER, 2011).

Tabela 1. Dez principais aplicações e benefícios oriundos da nanotecnologia para os países em desenvolvimento.

Posição relativa de importância	Aplicação da nanotecnologia
1	Geração, armazenamento e conversão de energia
2	Aumento da produção agrícola com redução de insumos
3	Tratamento de água e remediação ambiental
4	Exames e diagnose médica/veterinária
5	Sistemas de liberação controlada de drogas e agentes ativos
6	Processamento de alimentos e sua conservação
7	Poluição do ar e remediação atmosférica
8	Construção e desenvolvimento de novos materiais/bioproductos
9	Monitoramento da saúde/nanomedicina
10	Detecção e controle de pestes/rastreabilidade

Fonte: Adaptado de Salamanca-Buentello *et al.* (2005).

Segundo dados do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA), citados por Cezar (2011), o investimento público geral em nanotecnologia no Brasil (não somente em agricultura e alimentos), no período de 2000 a 2007, foi da ordem de R\$ 195 milhões, sendo desses uma pequena fração não divulgada exclusiva para pesquisa em áreas relacionadas ao agronegócio. A importância do tema, contudo é inegável, e, segundo dados governamentais, os recursos totais destinados à nanotecnologia podem atingir a casa do R\$ 300 milhões em 2014, constituindo, assim, um aporte financeiro significativo (PORTAL BRASIL, 2013).

NANOTECNOLOGIA NO AGRONEGÓCIO

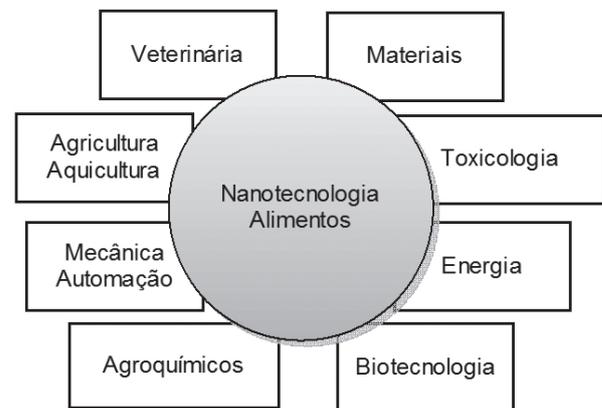
Como mencionado, a nanotecnologia não é uma ciência ou atividade isolada e sim uma área associada a demais conhecimentos básicos que, em conjunto, podem gerar benefícios em toda a cadeia produtiva e de consumo. Exemplos atuais de aplicações de nanotecnologia na agroindústria e na produção de alimentos são inúmeros, e as pesquisas atuais focam, entre outros tópicos: i) a confecção de dispositivos de liberação controlada, seja de agrotóxicos ou demais insumos, que promovam o aumento da produtividade, a redução da toxicidade, de impactos ambientais e a consequente segurança final do produto; ii) o desenvolvimento de dispositivos de rastreabilidade e registro individuais ou de lotes, por meio de sensores para a detecção e monitoramento de patógenos, desde a colheita, manufatura, processamento e transporte; iii) o estabelecimento de sistemas e técnicas que promovam a preservação, reduzam a maturação e controlem as qualidades nutricionais por meio de revestimentos *in situ*, ativos e comestíveis, que geram atmosferas controladas; e iv) a produção de embalagens chamadas “inteligentes”, que tenham indicativos de alterações globais, de composição, textura, aparência, temperatura ou ataque microbiano. Essas são apenas algumas, entre inúmeras possibilidades atualmente em desenvolvimento (PETERS *et al.* 2014).

Segundo inventário apresentado pelo *Project on Emerging Nanotechnologies* e pela *European Consumer's Association*, havia, em 2010, 1.317 produtos à base de nanotecnologia registrados, comercializa-

dos por 587 diferentes companhias, sendo, desses, 119 relacionados à agricultura e/ou a alimentos (GRUÈRE, 2012). Os dados apontam que, só no setor de alimentos, a nanotecnologia movimentou aproximadamente 200 milhões de dólares em 2014 (HARPER, 2014).

A pesquisa em alimentos com base nanotecnológica, contudo, é uma área relativamente recente, comparada com outros segmentos já consolidados, mas talvez seja o de maior interdisciplinaridade (Figura 1).

Figura 1 – Relação de áreas interacionadas com a pesquisa em nanotecnologia de alimentos.



Os alimentos, por serem muitas vezes organismos vivos e perecíveis, requerem técnicas múltiplas e boas práticas, além de procedimentos normatizados que devem ser respeitados e cuidadosamente implementados nos diversos estágios da cadeia produtiva. Ou seja, práticas ou ações específicas de nanotecnologia devem ser observadas, por exemplo, para as etapas de fertilização, plantio, colheita, embalagem, transporte, tornando esse campo de pesquisa consideravelmente complexo.

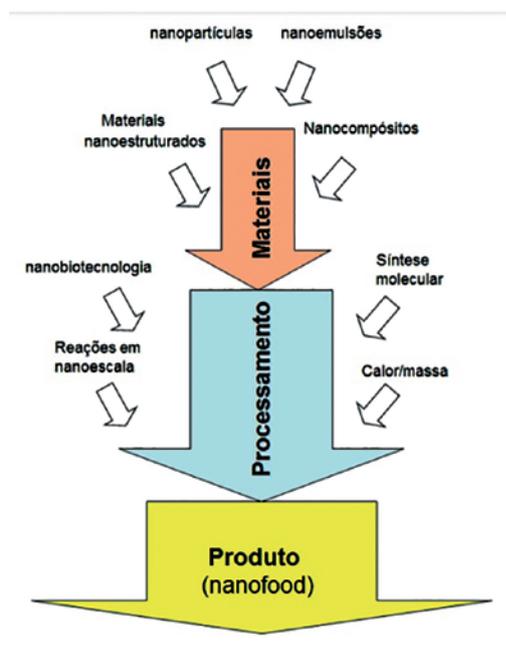
NANOALIMENTO

Com o uso ou aplicações de técnicas de nanotecnologia, um novo termo surge, o neologismo “*nanofood*”, ou, em sua versão aportuguesada, “*noalimento*”. *Nanofood* tem sido definido, em um conceito abrangente, como o alimento ou derivado que tenha sido cultivado, produzido, processado ou embalado usando técnicas ou ferramentas de nanotecnologia ou que venha a receber nanonutrientes ou nanopartículas controladamente adicionadas ou,

ainda, que, a partir da matéria-prima de qualquer alimento, essa seja nanoestruturada para o consumo humano. Estudos cada vez mais frequentes ligados ao mercado de *nanofoods* estão em andamento, com o planejamento de uma nova geração de alimentos e técnicas de processamento envolvendo nanotecnologia (HELMUT KAISER CONSULTANCY GROUP, 2009).

Com base no trabalho de Moraru *et al.* (2003), podemos esquematizar o ciclo de produção dos nanoalimentos, segundo sua ampla definição, em uma sequência de manipulações, de forma que, em cada etapa do processamento, algum fator nanotecnológico possa ser inserido ou identificados (Figura 2).

Figura 2: Esquema de uso de nanotecnologia em qualquer etapa da cadeia, para conceituação ampla de nanofood. Baseado nos argumentos de Moraru *et al.* (2003).



Uma das áreas em que tem sido registrada uma expansão, quando se trata de alimentos, é, sem dúvida, a do desenvolvimento de nanopartículas para a liberação controlada de agentes ativos. As tecnologias de encapsulamento fazem uso da formação de uma matriz orgânica com capacidade de reter o composto ativo, seja por imobilização superficial, seja por aprisionamento interno por períodos determinados de tempos (BRITTO *et al.*, 2012). A eficiência desses sistemas está baseada em diversos fatores, como a inexistência de interações fortes

entre as nanopartículas e a matriz (alimento), sua alta afinidade com os agentes a serem retidos, assim como a facilidade de sua posterior liberação. Essa tecnologia está diretamente relacionada à etapa de processamento, embora os demais segmentos possam também fazer uso da inserção de nanopartículas. Em suma, benefícios poderão ser gerados pela produção de novos materiais funcionais, com presença de enzimas ou biopolímeros com ações catalíticas que acelerem ou alterem reações, assim como novas combinações ou inserções, resultando em novos produtos, com sabores diferenciados, valores nutricionais distintos, enriquecidos, funcionais ou nutraceuticos. Nos EUA, termos como “nanocêutico” e “nanofuncional” já têm marca registrada e, frequentemente, produtos vêm identificados como “biofortificados” para evitar controvérsias com respeito à segurança da nanotecnologia. De um modo geral, uma nanopartícula é consideravelmente mais reativa (do ponto de vista químico) que partículas maiores. Devido ao seu tamanho, apresentam elevada área de interação e alta mobilidade, o que pode conduzir sua carga em posições ou homogeneidades não alcançadas por processos convencionais. Em 2011, em um fórum de discussão mundial (NANOALIMENTOS, 2011), foram discutidas a segurança das principais tecnologias aplicadas na produção e comercialização de alimentos. De forma similar, Garber (2006) aponta os potenciais setores comerciais da nanotecnologia na indústria alimentícia, compiladas na Tabela 2, adiante.

No Brasil, o programa oficial de nanotecnologia do governo federal, chamado de “Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia”, foi lançado em 2012 (MCTI, 2013) e define sete setores tidos como estratégicos para o desenvolvimento das nanotecnologias no país. Seis desses setores são assinalados como prioridades de financiamento estatal, e um sétimo, de âmbito livre, mas passível de apoio, uma vez identificada e justificada sua importância. Esses setores estão listados na Tabela 3.

Como é possível observar, os alimentos e a agroindústria não aparecem nominalmente como áreas prioritárias nessa primeira versão da Iniciativa, mas encontram-se intrinsecamente vinculados aos nanomateriais, e também aos nanossensores e nanodispositivos, como pode ser depreendido pelas

linhas apresentadas na Tabela 2. De um modo geral, os temas assumidos como estratégicos na plataforma oficial de desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil estão em boa sintonia com as áreas mun-

dialmente tidas como relevantes no tema, como previamente apresentado na Tabela 1 (SALAMANCA-BUENTELLO *et al.*, 2005).

Tabela 2. Potenciais aplicações comerciais da nanotecnologia em alimentos.

Processamento	Embalagem e conservação	Suplementos
Nanocápsulas para elevar a disponibilidade de nutracêuticos	Anticorpos imobilizados sobre nanopartículas fluorescentes para a detecção química de patógenos	Nutrientes em nanodimensões para facilitar a absorção
Nanoencapsulamento de odores e sabores	Nanossensores biodegradáveis para temperatura, umidade e tempo (monitoramento)	Compostos nanoencapsulados com melhor estabilidade e liberação controlada
Nanotubos e nanopartículas para elevar a viscoelasticidade	Nanoargilas e nanofilmes como matérias de barreira para prevenir degradações e prevenir absorção de oxigênio	Nutrientes nanoencapsulados para a liberação dos compostos ativos sem alteração de cor ou sabor dos alimentos
Infusão de nanocápsulas de esteroides para reposição de colesterol em carnes	Nanossensores para a detecção do nível de etileno e demais gases oriundos da maturação	<i>Sprays</i> para dispersão de moléculas ativas ou vitaminas para inserção de nutrientes <i>in situ</i>
Nanopartículas com agentes antimicrobianos seletivos	Coberturas antimicrobianas e antifúngicas com a presença de compostos inorgânicos	Uso de antimicrobianos naturais e de baixa toxicidade para humanos
Nanoemulsões para melhorar a dispersão de nutrientes	Filmes poliméricos com melhores propriedades de barreira e mecânica	Desenvolvimento de membranas com permeação controlada

Fonte: Adaptado de Garber (2006).

Tabela 3. Setores Estratégicos em Nanotecnologia, segundo o programa oficial brasileiro: Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (MCTI, 2013).

Setores Estratégicos	Atuação
1 - Nanomateriais	Nanomateriais a partir da biomassa (ex.: nanocelulose), polímeros de alta performance e com novas funcionalidades, nanocatalizadores, controle ambiental (água, ar, agrotóxicos), produtos para defesa.
2 - Saúde	Diagnóstico e controle epidemiológico de doenças negligenciadas e/ou tropicais, descentralização de serviços de saúde (<i>Lab on chip</i>).
3 - HPPC	Fotoproteção. Produtos HPPC impactam um grande mercado consumidor (o Brasil é o terceiro mercado mundial).
4 - Nanossensores e nanodispositivos	Sistemas de defesa, segurança pública e industrial, monitoramento ambiental, qualidade em processos/produtos, diagnósticos e monitoramento no complexo da saúde.
5 - Energia	Geração, armazenamento e uso eficiente de energia.
6 - Têxtil e vestuário	Agregação de funcionalidades (bactericida, antichama, resistência mecânica, antiprojéteis e barreira química).
7 - Outros setores	Definidos no âmbito do comitê interministerial.

FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS

No Brasil, como em diversos outros países do mundo, só recentemente se voltou para a criação de cursos específicos na área de nanotecnologia, sejam de graduação ou de pós-graduação. Por ser, como apresentado, uma ciência tipicamente multidisciplinar e de rápidos avanços tecnológicos, há uma natural dificuldade em estabelecer um currículo ideal às reais necessidades do país.

Muitos profissionais e pesquisadores atuantes no tema têm como titulação ou qualificação áreas correlatas, como física, computação, engenharias (praticamente todas), química e biologia, como formação básica. No programa oficial, conforme aprovado pela Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, a formação e o incremento de pessoal qualificado na área são citados como fundamentais. Segundo o documento, a formação pode ser estimulada pela concessão de bolsas de estudo destinadas exclusivamente a temas de nanotecnologia, atualmente oferecidas pelo sistema CAPES, CNPq, RHAe e FAPs, além da seleção de estudantes já matriculados a serem beneficiados pelo programa Ciência sem Fronteiras, para qualificação no exterior. Para suprir as necessidades em infraestrutura e facilitar a integração das competências, foi idealizada a criação do SisNANO, que consiste no *Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia*, uma rede gerenciada pelo MCTI, atualmente composta por dezoito Laboratórios Associados (laboratórios instalados em instituições de ciência e tecnologia) e oito laboratórios estratégicos (laboratórios federais, em unidades

de pesquisa), com caráter essencialmente multiusuário. Os laboratórios assumem o compromisso de disponibilizar tempo de uso dos equipamentos para usuários externos dedicados a pesquisas e ensaios propostos por empresas ou universidades, com uma cota de 50% do tempo dos laboratórios estratégicos e 15% do tempo dos considerados associados. Além da interação direta entre unidades e interessados, há editais de financiamento e chamadas temáticas.⁴

Cabe ressaltar que, segundo dados disponíveis no Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), havia, em 2014, 122 Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) financiados pelo CNPq, em parceria com as fundações estaduais de apoio à pesquisa (FAPs). Em dezesseis desses institutos, a nanotecnologia figurava como tema componente da pesquisa, com o envolvimento de estudantes de graduação e pós-graduação (CNPq, 2014). Além disso, a rede de nanotecnologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) está, desde 2006, inserida no setor, seja na articulação de projetos conjuntos, seja na orientação, pelos pesquisadores membros dessa rede, de alunos nos mais diversos programas de pós-graduação pelo Brasil (CARDOSO e ASSIS, 2014).

Diversos cursos de graduação e, em especial, de pós-graduação, têm em suas ementas o ensino dos fundamentos ou a nanotecnologia como objeto de estudo. Atualmente (2014), existem quatro cursos de graduação e cinco de pós-graduação que, nominalmente, titulam em nanotecnologia ou nanociência, conforme reconhecimento pela CAPES (Tabela 4).

Tabela 4. Cursos de graduação e de pós-graduação em nanotecnologia existentes no Brasil (CAPES, 2014).

Cursos	Instituição
Graduação	
Graduação em Nanotecnologia	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Graduação em Nanotecnologia	Universidade Paulista (UNIP)
Engenharia em Nanotecnologia	Pontifícia Universidade Católica (PUC-RJ)
Física com Habilitação em Materiais e Nanotecnologia	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Pós-Graduação	
Nanotecnologia Farmacêutica (M/D)*	Interinstitucional: (UFG/UFRGS/UFSC/UFSP/Unesp/UFOP/UFRN/UFPe)
Nanociência e Nanotecnologia (M/D)	Universidade de Brasília (UnB)
Nanociência (M/D)	Centro Universitário Franciscano (UNIFRA)
Engenharia de Nanotecnologia (M/D)	COPPE/UFRJ
Nanociências e Materiais Avançados (M/D)	Universidade Federal do ABC (UFABC)

*M/D: mestrado e doutorado.

4 A lista dos laboratórios participantes do SisNANO pode ser acessada na página do MCTI: <<http://nano.mct.gov.br/data/archive/1f3b275b40-4eb7134f234.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2014.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a formação de recursos humanos nos diversos níveis ainda não seja prioridade das Instituições de Ensino Superior (IES), vemos, hoje, a criação de novos cursos e/ou a inclusão do tema nanotecnologia em programas já existentes.

É inegável, no atual cenário, que a nanotecnologia se consolida como uma ciência, em caráter irreversível, e que, em breve, permeará incontáveis segmentos, sejam acadêmicos ou produtivos. As possibilidades de atuação no tema são múltiplas e, em particular, a agroindústria e os alimentos deverão despontar como grandes oportunidades.

Vemos, no ensino de engenharia, em particular, uma grande oportunidade de promovermos um salto na formação de recursos humanos para atuação nos setores de aplicação das nanotecnologias. Ainda que não especificamente direcionados para o tema, que os fundamentos dessa nova ciência façam cada vez mais parte dos currículos das diversas engenharias, para que, paulatinamente, haja plena disponibilidade de competências na área.

REFERÊNCIAS

- BAWA, R.; BAWA S. R.; MAEBIUS S. B.; FLYNN, T.; WEI, C. Protecting new ideas and inventions in nanomedicine with patents. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, Amsterdam, v.1, n. 2, p. 150-158, 2005.
- BRITTO, D.; MOURA, M. R.; AOUADA, F. A.; MATOSO, L. H. C.; ASSIS, O. B. G. N,N,N-trimethyl chitosan nanoparticles as a vitamin carrier system. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 487-493, 2012.
- CAPES. Cursos recomendados/reconhecidos. 2014. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/avaliacao/dados-do-snpq/cursos-recomendados-reconhecidos>>. Acesso em: 17 set. 2014.
- CARDOSO, V. F.; ASSIS, O. B. G. **Formação de recursos humanos: mestres, doutores e pós-doutores orientados na Embrapa Instrumentação**. São Carlos: Embrapa Instrumentação. 2. ed., 2014.
- CEZAR, G. **Investimento em nanotecnologia no Brasil é discreto**. 2011. Disponível em: <<http://www.revista-digital.om.br/2011/12/investimento-em-nanotecnologia-no-brasil-e-discreto/>>. Acesso em: 2 set. 2014.
- CNPq. **Institutos: INCTs por tema**. 2014. Disponível em: <http://estatico.cnpq.br/programas/inct/_apresentacao/por_tema.html>. Acesso em: 18 set. 2014.
- GARBER, C. **Nanotechnology food coming to a fridge near you**. Nanowerk LLC, 2006. Disponível em: <<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1360.php>>. Acesso em: 12 set. 2014.
- GRUÈRE G. P. Implications of nanotechnology growth in food and agriculture in OECD countries. **Food Policy**, Amsterdam, v. 37, n. 2, p. 191-198, 2012.
- HARPER, T. **Global funding of nanotechnologies & its impact**. 2011. Disponível em: <<http://cientifica.com/wp-content/uploads/downloads/2011/07/Global-Nanotechnology-Funding-Report-2011.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2014.
- HARPER, T. **Nanotechnology funding: a global perspective**. 2014. Disponível em: <http://nano.gov/sites/default/files/pub_resource/global_funding_rsl_harper.pdf>. Acesso em: 18 set. 2014.
- HELMUT KAISER CONSULTANCY GROUP. **Study: Nanotechnology in food and food processing industry worldwide, 2006-2010-2015**. Beijing: Helmut Kaiser Consultancy Group, 2009.
- MANGEMATIN, V.; WALSH, S. The future of nanotechnologies. 2012. Disponível em: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/65/80/34/PDF/future_of_Nanotechnologies.pdf>. Acesso em: 2 set. 2014.
- MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação: Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia. 2013. Disponível em: <<http://nano.mct.gov.br>>. Acesso em: 5 set. 2014.
- MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação: SisNANO. 2014. Disponível em: <<http://nano.mct.gov.br/data/archive/1f3b275b40-4eb7134f234.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2014.
- MORARU, C. I.; PANCHAPAKESAN, C. P.; HUANG, Q.; TASHISTOV, P.; LIU, S.; KOKINI, J. I. Nanotechnology: a new frontier in food science. **Food Technology**, Chicago, v. 57, n. 12, p. 24-29, 2003.
- NANOALIMENTOS. **El debate de los NANOALIMENTOS**. Grupo Nanomercado. 2011. Disponível em: <<http://www.nanoalimentos.com/component/content/article/35-noticias-de-nanoalimentos/51-el-debate-de-los-nanoalimentos>>. Acesso em: 2 set. 2014.
- PETERS, R. *et al.* Inventory of nanotechnology applications in the agricultural, feed and food sector. **External Scientific Report EN-621**. Parma: European Food Safety Authority, 2014, 125p.

PORTAL BRASIL: Nanotecnologia terá mais investimentos e novo curso. 2013. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2013/11>>. Acesso em: 1 set. 2014.

REDE AGRONANO. Rede de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2014. Disponível em <<http://www.agropediabrasilis.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 10 set. 2014.

SALAMANCA-BUENTELLO, F.; PERSAD, D. L.; COURT, E. B.; MARTIN, D. K.; DAAR, A. S.; SINGER, P. A. Nanotechnology and the developing world. **PLoS Medicine**, Cambridge, v. 2, n. 5, p. 383-386, 2005.

DADOS DOS AUTORES



Odílio Benedito Garrido Assis – formado em Física (Unesp), com mestrado em Engenharia Metalurgia (USP) e doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais (UFSCar). Realizou pós-doutorado na Cornell University (USA), na área de embalagens poliméricas ativas. É pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação da Embrapa (Embrapa Instrumentação), em São Carlos, desde 1997. Foi vice-coordenador do Programa de Nanotecnologia da Embrapa – Rede AgroNano – no período de 2006 a 2010, e coordenador durante o ano de 2011. Tem experiência na área de Ciência dos Materiais, com ênfase em Polímeros e Cerâmica, atuando principalmente no desenvolvimento de filmes finos, biopolímeros funcionais, embalagens e aplicações da nanotecnologia em conservação pós-colheita.



José Manoel Marconcini – formado em Engenharia de Materiais (UFSCar), com mestrado (UFMS) e doutorado em Química (UFSCar). É pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação da Embrapa (Embrapa Instrumentação), em São Carlos, desde 2006. Tem atuação junto ao Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA) com coordenação de projetos da Rede AgroNano. Tem experiência na área de Ciência dos Materiais, com ênfase em polímeros, atuando principalmente no processamento e caracterização de biomateriais, como nanocompósitos de matriz polimérica, fibras naturais e reciclagem de polímeros.



Luiz Henrique Capparelli Mattoso – tem graduação, mestrado e doutorado em Engenharia dos Materiais, pela UFSCar, com pós-doutorado junto ao USDA-ARS, Western Regional Research Center (USA), na área de produtos naturais e nanotecnologia. É pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação da Embrapa (Embrapa Instrumentação), em São Carlos, desde 1994, atualmente no cargo de chefe geral. Foi um dos idealizadores do LNNA e da Rede AgroNano da Embrapa, sendo seu coordenador no período de 2006 a 2010 e vice-coordenador de 2010 a 2014. Tem experiência na área de Ciência dos Materiais, com ênfase em polímeros, atuando principalmente no desenvolvimento de sensores, processamento e caracterização de polímeros condutores, materiais nanoestruturados e emprego de fibras naturais em compósitos.

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.,¹ Daniel Couto Gatti,² Maria Lúcia Pereira da Silva³

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,

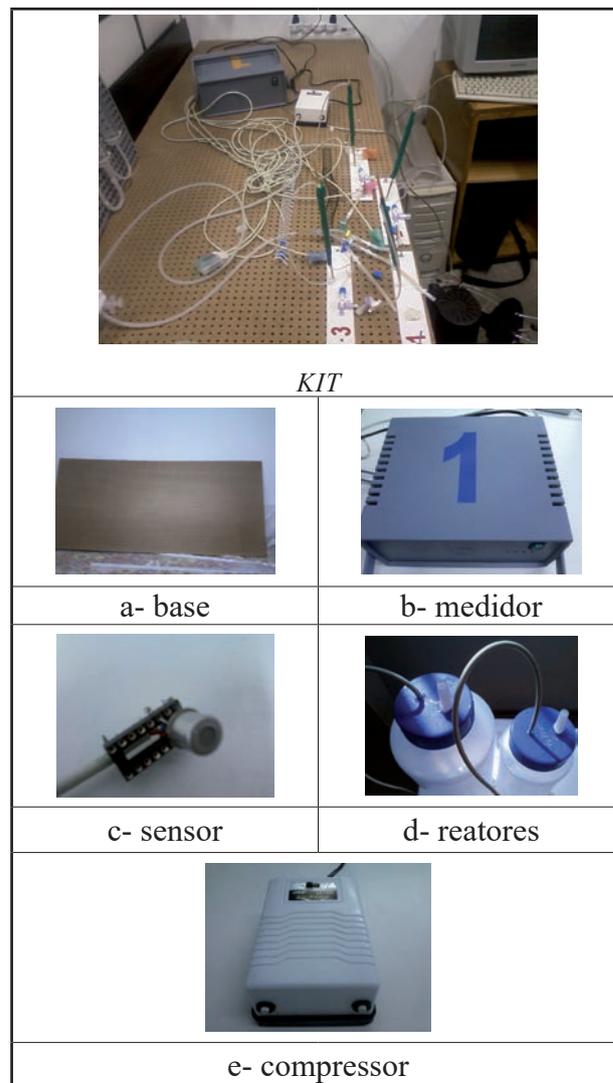
este trabalho teve como objetivo criar metodologia de ensino, de caráter interdisciplinar, para a área ambiental e com o uso de equipamento de baixo custo.

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 (PICHI 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.

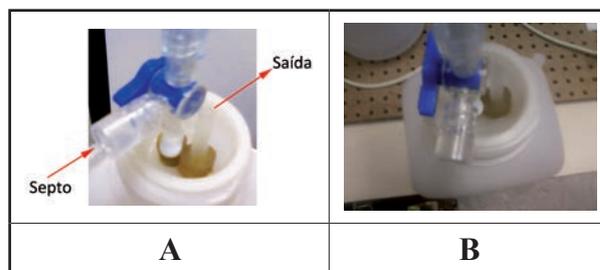
	
a- revestimento do recipiente	b- retirada de 0,03 ml
	
c- medida com 0,01 ml	d- inserção de 0,01 ml

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	$1,1 \mu\text{g} \quad \quad 0,03 \text{ mL}$ $X \mu\text{g} \quad \quad 0,01 \text{ mL}$ $X = 0,37 \mu\text{g}$
Massa de ar nos reatores	Densidade do ar = $1.1.10^{-3} \text{ g/cm}^3$
	Reator de 1 l $1,1.10^{-3} \text{ g} \quad \quad 1 \text{ cm}^3$ $X \text{ g} \quad \quad 1000 \text{ cm}^3$ $X = 1,1 \text{ g}$
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 μ L de álcool isopropílico ao reator de (A) 1L e (B) 0,5 L.

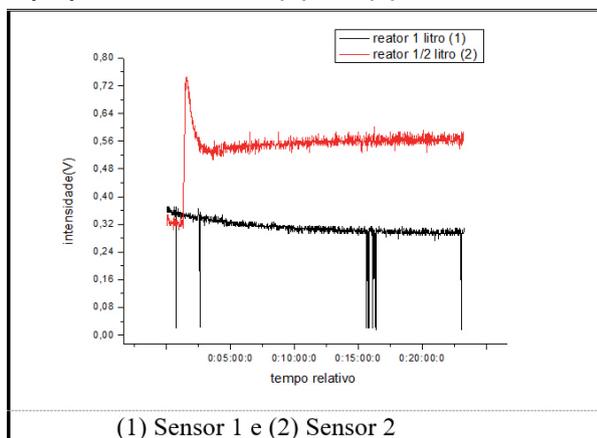


Figura 5 – Gráfico da inserção de 30 μ L de álcool isopropílico ao reator de (A) 1 L e (B) 0,5 L.

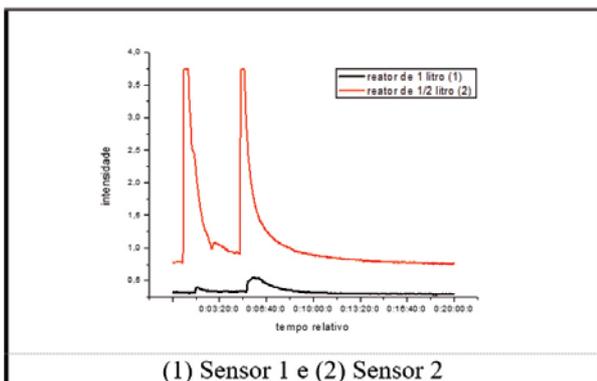
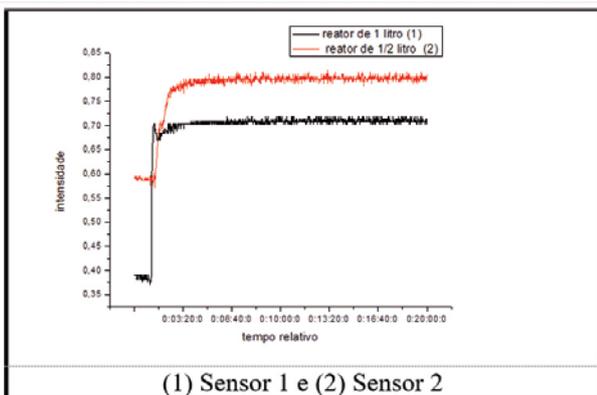


Figura 6 – Gráfico da inserção de 10 μ L de álcool isopropílico ao reator de (A) 1 L e (B) 0,5 L.



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.⁴

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.

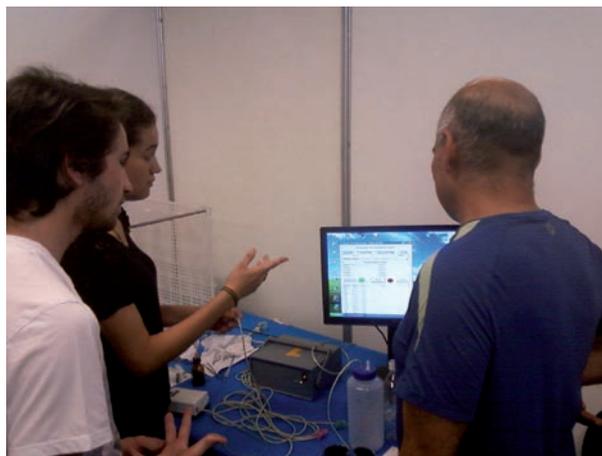
Por fim, as múltiplas interações dentro desse grupo heterogêneo de alunos (nível médio, em uma área distinta da formação do graduado, etc.) foram úteis para melhorar a compreensão dos processos ambientais, como demonstrado por entrevista não estruturada, após o término da exposição no referido Congresso.

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. Multidisciplinarity, interdisciplinarity 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. Multidisciplinarity, interdisciplinarity 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. Multidisciplinarity, interdisciplinarity 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.

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.

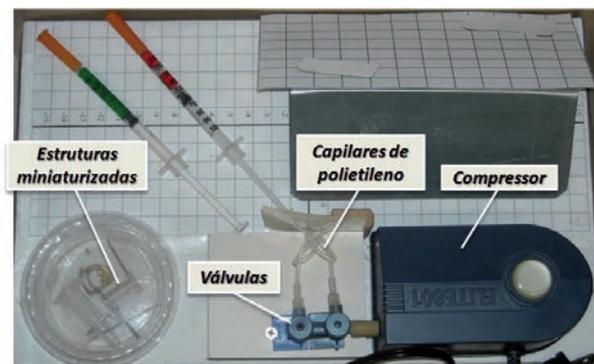
2 METODOLOGIA

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).

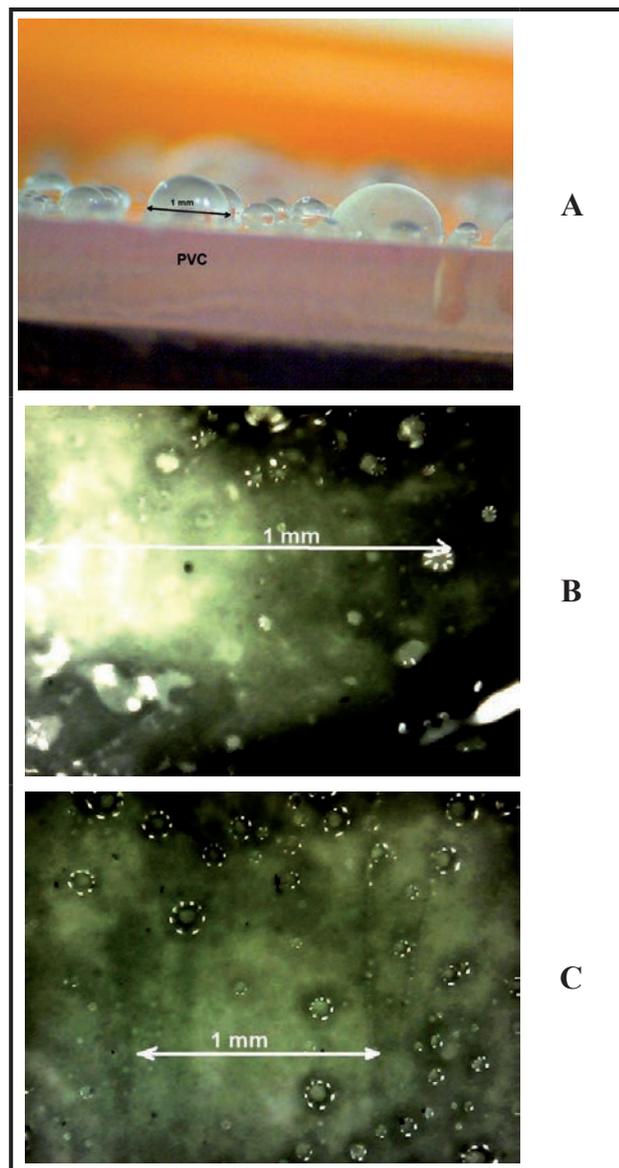


Apenas duas pequenas variações foram efetuadas no protótipo, na placa de recolhimento da amostra. Para facilitar a visualização de substâncias orgânicas, o papel foi substituído por uma placa de PVC (policloreto de vinila). Essa placa sofreu modificação por exposição à luz ultravioleta (lâmpada UVC, 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

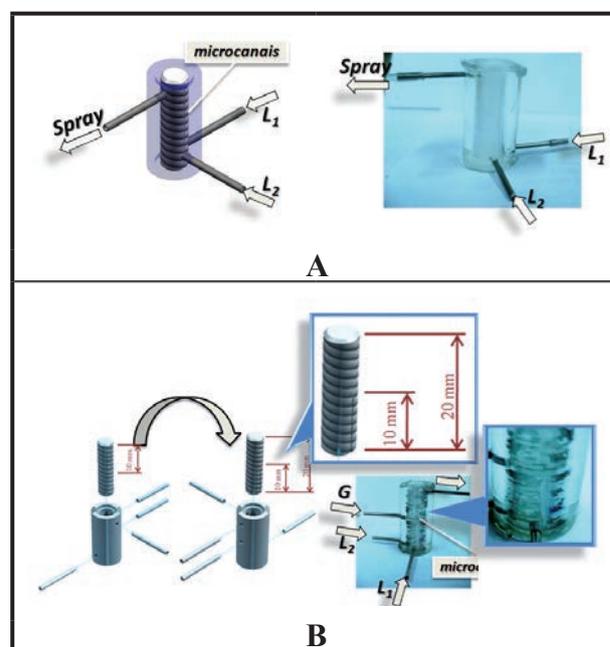


As estruturas utilizadas neste trabalho são canais tridimensionais em forma de espiral, usados em acrílico e usados como misturadores. A Figura 3 apresenta esquema e foto das estruturas utilizadas. As estruturas têm comprimento total de 20 mm e diâmetro total de 12 mm. A primeira estrutura (Figura 3a)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

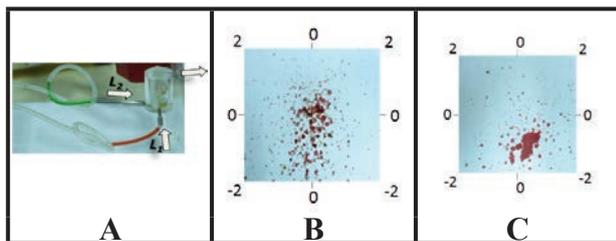
3 Resultados e Discussão

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.

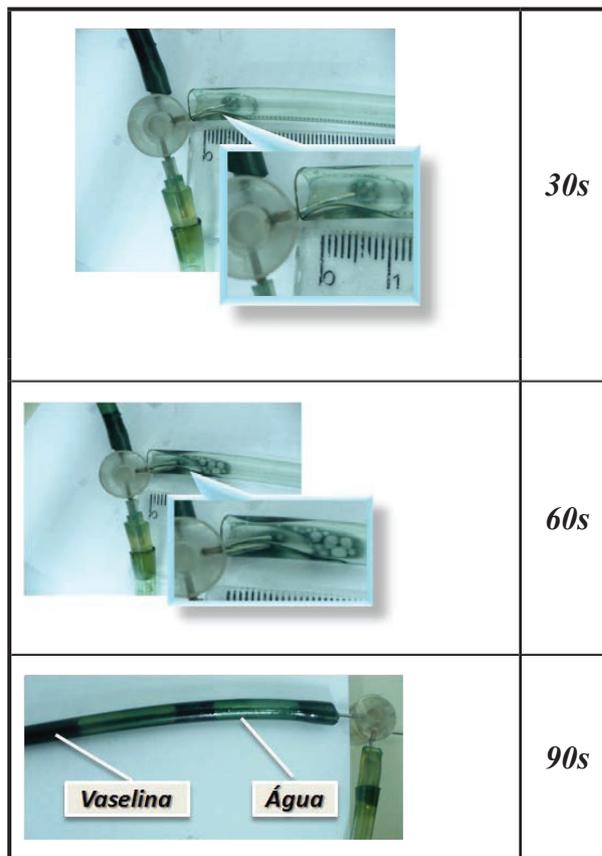
Figura 4 – (A) Detalhe do capilar para adição do líquido na estrutura e resultados obtidos na placa de coleta do líquido quando ocorre a adição de (B) diferentes quantidades ou (C) mesma quantidade de soluções aquosas, mas em localizações diferentes.



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.

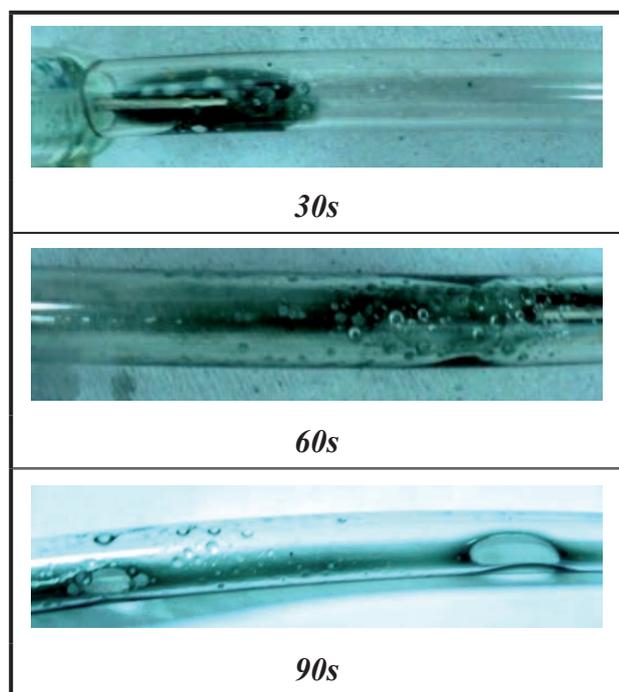
A utilização de soluções aquosas não apresenta comportamento distinto do obtido com a estrutura tridimensional com uma operação (vista na Figura 4), o mesmo ocorrendo com o uso de glicerol, composto miscível em água (comportamento similar a Figura 5); nesse caso, a alta viscosidade dificulta a mistura.

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.

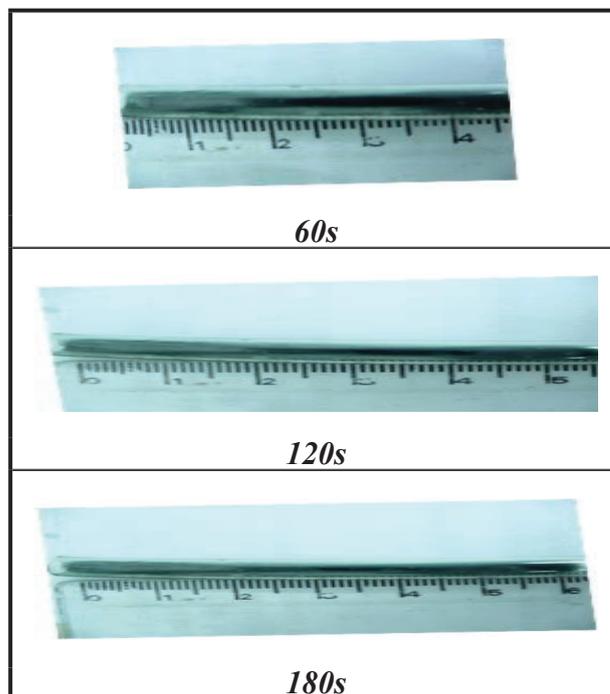
Figura 6 – Sequência de fotos obtidas com adição de vaselina e água à estrutura da Figura 3B e recolhimento em tubo de ¼”.



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

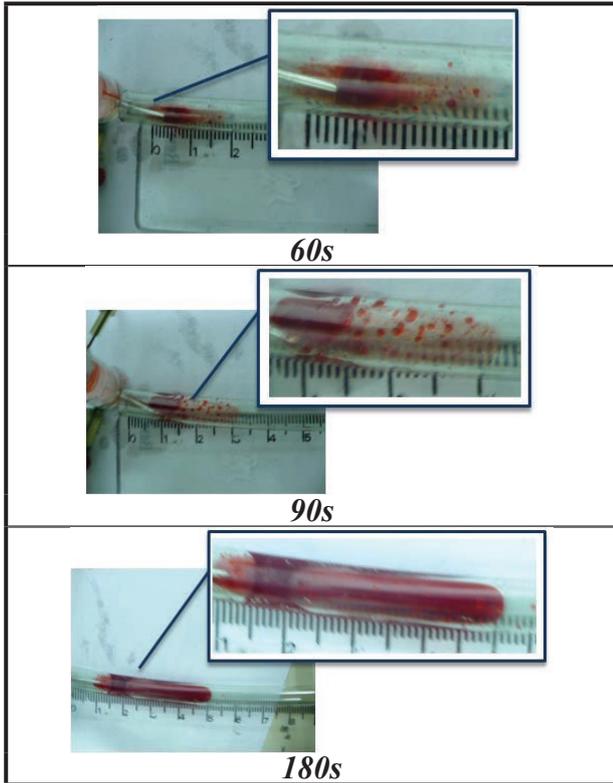
com vaselina e água ou detergente caseiro. Assim, o comportamento do fluido na estrutura não muda com o aumento da viscosidade e o uso de solução aquosa 50% em vol. com detergente caseiro permite a formação de emulsão, como visto na Figura 7.

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-

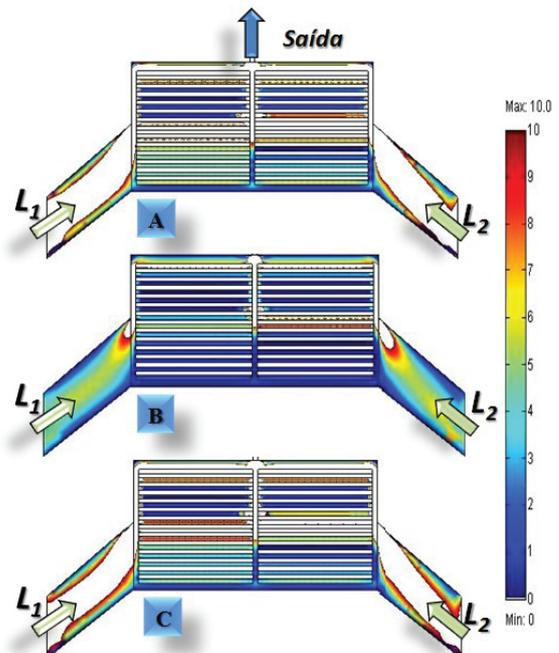
idades e onde esses ocorrem). É possível, portanto, por simulação, observar um comportamento que é coerente com a dificuldade de inserção nos microcanais, encontrada, por exemplo, na Figura 5.

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.

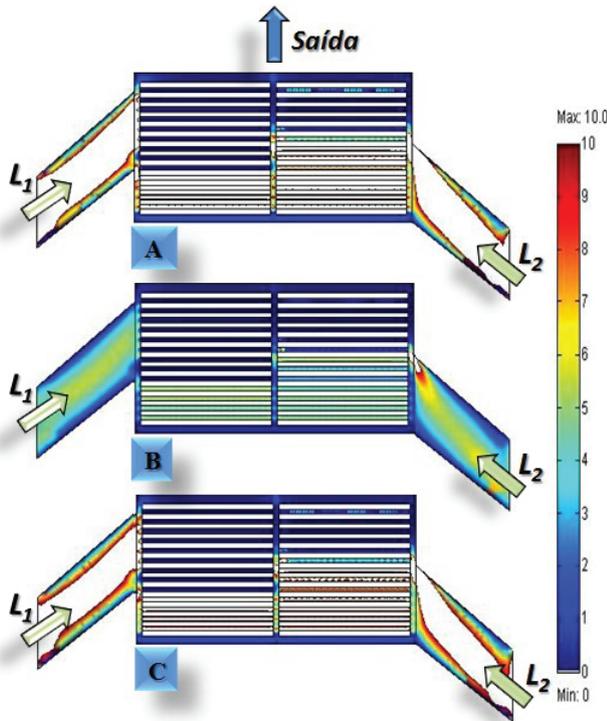


Figura 11 – Simulação: sequência do perfil de velocidade obtido pela adição de vaselina, água e ar (L1, L2, G, velocidade linear e igual de 10 cm/s) aos microcanais da estrutura da Figura 1A modificada e tempos de (A) 0s, (B) 0,5s e (C) 1s.

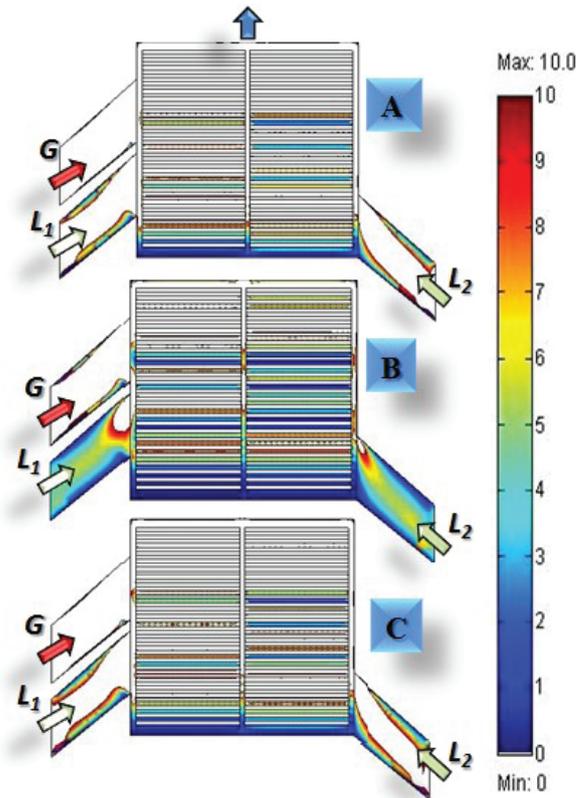
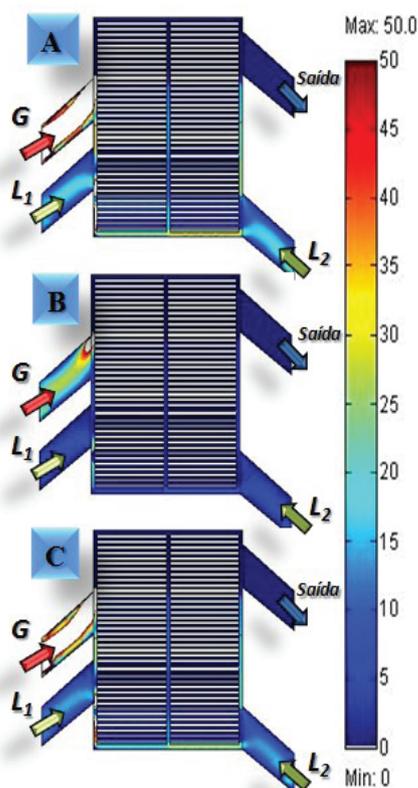


Figura 12 – Simulação: seqüência do perfil de velocidade obtido pela adição de vaselina, água e ar (L1, L2, G, velocidade linear e igual de 10 cm/s) à estrutura da Figura 1A e tempos de (A) 0s, (B) 0.5s e (C) 1s.



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.

SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA NO ENSINO DE ENGENHARIA: PROBLEMATIZAÇÃO E PROMOÇÃO DA VIVÊNCIA EM PROCESSOS PRODUTIVOS

DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p73-83>

Rafael Alvise Alberti,¹ João Carlos Furtado,² Liane Mahlmann Kipper³

RESUMO

Diante do cenário mundial de demanda intensiva por tecnologias e da exigência por profissionais altamente qualificados, o ensino em engenharia deve buscar novas formas de atuação na formação dos estudantes e futuros profissionais. Nesse contexto, a aplicação de metodologias ativas de ensino traz a esses estudantes uma visão de interação em aprendizagem, vivência do exercício profissional e desenvolvimento de capacidades intelectuais. Este estudo objetivou apresentar um panorama das atividades realizadas no âmbito da disciplina de Simulação Aplicada à Engenharia de Produção, para a proposta de elaboração de artigos científicos a partir de aferição, problematização e vivência em processos produtivos reais. Também buscou evidenciar a importância desse tipo de ação pedagógica como alternativa à assimilação e aprendizagem dos conceitos de Engenharia de Produção, uma vez que esse campo profissional é reconhecido por integrar conhecimentos tecnológicos e abordagens sistêmicas. Além de mensurar a aptidão dos alunos na modelagem de problemas reais, todos os trabalhos resultaram em *feedbacks* positivos para as empresas, bem como possibilitaram aos estudantes uma atuação interdisciplinar. Acrescenta-se a isso a inserção/vivência dos alunos em ambientes industriais, caracterizando, dessa forma, uma atuação sincrônica entre teoria, aprendizado e vivência profissional em Engenharia de Produção, potencializando os efeitos do ensino no desenvolvimento do futuro profissional.

Palavras-chave: Simulação; ensino; engenharia; interdisciplinaridade; metodologias ativas.

ABSTRACT

THE SIMULATION AS A TOOL IN TEACHING ENGINEERING: QUESTIONING AND PROMOTING PRACTICE IN PRODUCTION PROCESSES

On the world stage of intensive demand the use of technologies and the demand for highly skilled professionals, teaching in engineering should seek new ways of acting in the teaching of students and future professionals. In this context, the application of active teaching methodologies brings these students a vision of interaction in learning, experience of professional practice and development of intellectual capabilities. This study aimed to present an overview of the activities carried out within the subject of Simulation Applied to Production Engineering, to the proposal the elaboration of scientific articles through Scouting, questioning and experience in actual production processes. Also, sought to highlight the importance of this kind of pedagogical action as an alternative to assimilation and learning the concepts of production engineering, since this professional is recognized by integrating technological expertise and systemic approaches. In addition to measuring the ability of students in modeling of real problems, all jobs have resulted in positive feedbacks to companies as well as allow students an inter-

1 Professor. Mestre em Sistemas e Processos Industriais. Faculdade de Itapiranga (FAI); alberti_rafael@yahoo.com.br

2 Professor. Doutor em Computação Aplicada. Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC); jcarlosf@unisc.br

3 Professora. Doutora em Engenharia de Produção. Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC); liane@unisc.br

disciplinary. Added to this, the insertion / experience of students in industrial environments, featuring a synchronic role between theory, learning and professional experience in production engineering, potentiating the effects of education on the development of this professional.

Keywords: Simulation; education; engineering; interdisciplinary; active methodologies.

INTRODUÇÃO

O mundo globalizado contemporâneo obriga que as organizações se dediquem, incessantemente, a suprir uma necessidade de melhorias de suas operações e/ou dos serviços prestados. Com ambientes cada vez mais complexos e com grande número de variáveis que podem afetar o desempenho e o cumprimento das metas, é crescente a exigência pela qualidade e produtividade. Nesse contexto, identificar as melhores condições para a produção e aumento da produtividade é tema de interesse da gestão industrial e campo de atuação para Engenheiros de Produção.

Conforme o planejamento se tornou fundamental, as tecnologias de informação para administração e manufatura de processos se popularizaram e se transformaram em ferramentas para os engenheiros, auxiliando-os e tornando suas decisões cada vez mais assertivas (BAKHTAZE, 2004). Dessa forma, a simulação, auxiliada pelos preceitos da Engenharia de Produção, ganhou destaque, por permitir analisar problemas de forma virtual, ou seja, sem intervenção real, buscando aferir soluções/cenários de forma econômica, e ainda possibilitando a identificação de oportunidades e benefícios impactantes para a empresa e/ou segmento industrial (ALBERTI *et al.*, 2013).

Sendo assim, diante do cenário mundial de demanda intensiva por tecnologias e da exigência por profissionais altamente qualificados, o ensino em engenharia deve abranger planejamento, elaboração e implementação, adequando os estudantes e futuros profissionais a uma visão de interação de aprendizagem e vivência do exercício profissional (BORGES e ALMEIDA, 2013).

Considerando as ponderações expostas, este trabalho tem por objetivo apresentar um panorama dos artigos desenvolvidos por equipes de alunos, das turmas de Engenharia de Produção, na discipli-

na de Simulação Aplicada à Produção, a partir da problematização da aplicação de simulação computacional em processos reais (estudos de casos), demonstrando alternativas, sugestões de melhorias, aspectos positivos e/ou negativos, limitações e resultados. Com isso, evidencia-se a importância da simulação computacional como ferramenta auxiliar na assimilação e na aprendizagem dos conceitos de Engenharia de Produção, fator motivador para a realização deste trabalho.

FUNDAMENTAÇÃO

Engenharia de produção

Acelerar o tempo dos processos, produzindo mais com menos, tem sido uma das principais metas das empresas e dos Engenheiros de Produção na atualidade. O mercado tem se tornado cada vez mais exigente e, por isso, para alcançar resultados mais desejáveis, as indústrias têm focado esforços na personalização de estratégias (YEE *et al.*, 2013).

A origem da Engenharia de Produção ocorre quando o artesão amplia sua preocupação e interesse para além da produção, abrangendo também a organização, integração, mecanização e aprimoramentos (NASCIMENTO *et al.*, 2012). Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), o profissional engenheiro de produção está habilitado para projetar, operar, gerenciar e melhorar os sistemas de produção de bens e serviços, considerando parâmetros humanos, econômicos, sociais e ambientais. Capaz de visualizar os problemas de forma global, está apto a mobilizar os recursos necessários para oferecer soluções ótimas aos problemas empresariais e industriais, através da aplicação de conhecimentos interdisciplinares (CUNHA, 2002; BRODAY e ANDRADE JUNIOR, 2011).

Com as mudanças ocorridas no cenário global, principalmente a partir da segunda metade do século passado, o conhecimento foi alçado a um dos capitais mais significativos das organizações. Aliando-se a isso a natureza do conhecimento de engenharia (*problem solving*), o Engenheiro de Produção firmou-se como aquele profissional que melhor atende às organizações em termos de articulação das funções clássicas (mercado, finanças, pessoas e produção), integrando conhecimento tecnológico e abordagens sistêmicas (OLIVEIRA, 2005). Além disso, como atividade do Engenheiro de Produção, tem-se o processo de organização e administração de recursos, cabendo também a ampla missão de estabelecer relações, desde os fornecedores até os clientes finais (MARTIN *et al.*, 2013).

Simulação aplicada à produção

Tendo os processos como chave para a sobrevivência competitiva (LIU *et al.*, 2012), a simulação aplicada à produção se tornou ferramenta poderosa na análise de sistemas e na resolução de problemas, sendo amplamente utilizada pelo setor industrial/ produtivo (CURCIO e LONGO, 2009; PEREIRA e COSTA, 2012; PERGHER *et al.*, 2013).

Na busca de ganhos de eficiência e redução de custos, os modelos de simulação atuam auxiliando a tomada de decisão operacional, proporcionando incrementos de eficiência (HLUPIC e PAUL, 1996; BAKHTAZE, 2004). Além disso, apresentam a possibilidade da descoberta e mensuração, com antecedência, dos resultados ideais, sem a necessidade de produzir uma única peça, testando cenários e apresentando opções que contemplem os menores custos/maiores ganhos (CASSEL e VACCARO, 2007; CLANCY, 2008; UM *et al.*, 2009; MORABITO e PUREZA, 2010; BARROS *et al.*, 2011).

Como propósitos da simulação, Chung (2004) comenta: (1) aquisição de conhecimento operacional do sistema; (2) desenvolvimento de políticas de operação e de pesquisa para melhoramento do desempenho do sistema; (3) teste de novos conceitos e/ou sistemas, antes de sua implementação; e (4) obtenção de informações sem distúrbio para o atual sistema.

Dessa forma, modelos de simulação se caracterizam como representações simplificadas, abstra-

ções da realidade que se aproximam do verdadeiro comportamento (real), porém, sempre de forma menos complexa (CHWIF e MEDINA, 2010).

Portanto, a utilização da simulação aplicada à produção possibilita uma visão geral (macro) do efeito de uma pequena mudança (micro), com benefícios como: aumento de produtividade, redução do tempo que as peças ficam no sistema, redução dos estoques em processo, aumento das taxas de utilização de equipamentos e funcionários, aumento de entregas dos produtos aos clientes no tempo certo, redução das necessidades de capital e garantias de que o projeto do sistema proposto vai operar conforme o esperado (BANKS *et al.*, 2005; DIEHL *et al.*, 2009; CHWIF e MEDINA, 2010; ALBERTI *et al.*, 2013).

Software ARENA

Trata-se de uma ferramenta para a simulação de processo com origem em 1982, quando se iniciou uma linguagem computacional que possibilitou a simulação de processos, porém, de fato, foi introduzido ao mercado apenas em 1993 (CABREIRA, 2010).

Com esse *software*, é possível o desenvolvimento de diversos modelos (lógicos) e cenários (animação) de processos, auxiliando na análise estatística de dados de entrada, saída e identificação de resultados “ótimos” (KELTON *et al.*, 2010).

O funcionamento conceitual de um modelo ARENA acontece, primeiramente, com a construção de um modelo, através da seleção de módulos característicos aos processos a serem modelados, descrevendo, desse modo, os elementos estáticos (recursos) e também as regras de comportamento a serem seguidas. Ao se iniciar a simulação, os elementos dinâmicos (entidades) percorrem o modelo, interagindo com os elementos estáticos e obedecendo às regras modeladas (FIORONI, 2007).

Uma das características do *software* é que o modelador não precisa necessariamente conhecer de linguagem de programação computacional para construir um modelo, pois o Arena disponibiliza módulos prontos, necessitando apenas posicioná-los e parametrizá-los de acordo com características do sistema real (SAKURADA e MIYAKE, 2009).

A plataforma de simulação Arena compreende ferramentas como: (a) Analisador de dados de entrada – *Input Analyser* – provendo curvas de distribuições probabilísticas a partir dos dados coletados; (b) Analisador de resultados – *Output Analyser* – análise estatística dos resultados, provendo opções futuras de manipulação; e (c) Analisador de processos – *Process Analyser* – avaliação de alternativas apresentadas durante a execução do modelo.

Portanto, o *software* Rockwell Arena é um ambiente gráfico integrado de simulação, que conta com inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e de resultados, permitindo aos usuários (engenheiros ou não) conclusões sobre testes para o ambiente produtivo, melhora na percepção dos processos, identificação de gargalos, dimensionamento de processos produtivos, equipamentos e outros (PRADO, 2010).

O ensino de simulação

Disciplinas como Simulação Aplicada à Engenharia de Produção abordam conceitos teóricos sobre a simulação, tais como: o processo de geração de números aleatórios, o tratamento estatístico necessário aos dados de entrada e saída, o desenvolvimento de modelos conceituais, as etapas de um processo de simulação, os principais cuidados necessários no processo de modelagem e implementação e a otimização possível em modelos e aplicações. Entretanto, não se deve restringir apenas a questões teóricas, devendo fomentar o interesse dos discentes pelo tema, através da problematização de situações reais em ambientes e organizações nas quais, normalmente, os alunos já atuam.

O desafio no ensino em Engenharia de Produção

Partindo da premissa que o profissional engenheiro de produção é aquele capaz de transformar conhecimentos científicos e tecnológicos em produtos e processos inovadores úteis para a sociedade, o desenvolvimento de ações voltadas à melhoria da formação dos mesmos deve ser incentivado através de atividades com integração teórica-intelectual, instrução prática e aplicação à vida real/profissional

(DURAES, 2011; BORGES e ALMEIDA, 2013; MARTINS *et al.*, 2013).

Problemas em engenharia de produção demandam abordagens que transitam entre a pluri, a inter e a transdisciplinaridade, devido à complexidade que envolve a dinâmica organizacional (IAROSZINSKI e LEITE, 2010). Corroborando isso, Carvalho *et al.* (2001) defendem a importância de os alunos vivenciarem situações reais, pois, dessa forma, estarão inseridos no contexto de decisões sobre assuntos importantes, no real ambiente de atuação profissional.

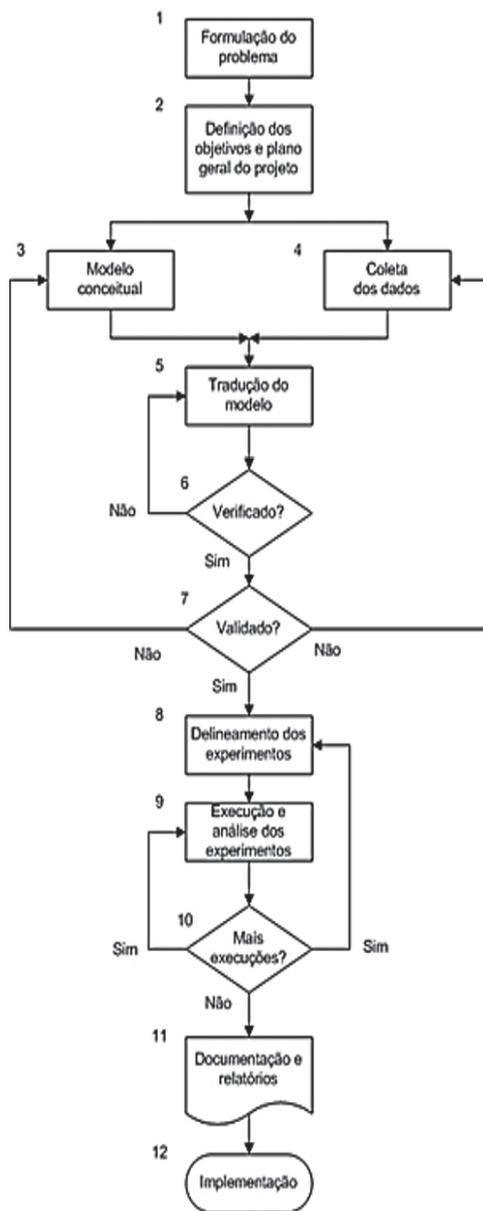
Devido à fragmentação das disciplinas acadêmicas no ensino universitário, os assuntos aprendidos pelos discentes são apresentados como isolados (HUNGER *et al.*, 2011). Assim sendo, metodologias ativas de ensino incentivam o aluno a mergulhar diretamente na plurivocidade problemática que é o mundo, fazendo com que a relação entre as ciências e a vivência se evidencie, uma vez que, no modelo de atividade/experiência, tem-se a inserção dos conteúdos de aprendizagem em contextos significativos (de ação ou de exercício profissional), auxiliando na superação da dicotomia “formação acadêmica e realidade concreta”, ou seja, entre teoria e prática (GELAMO, 2010; FREITAS, 2012).

Portanto, é preciso fomentar a aproximação, o contato direto do estudante com a indústria, e, sobretudo, com a capacitação e com o domínio das tecnologias aplicadas em ambientes produtivos e de gestão (BORGES e ALMEIDA, 2013). Isso porque, quando uma aprendizagem é significativa, ela altera estruturas cognitivas daquele que aprende, modificando conceitos preexistentes, e promove novas ligações entre os conceitos (SOUZA e BORUCHOVITCH, 2010). Dessa maneira, efetivando o grande diferencial desse profissional, a formação e aplicação de uma visão holística (MARTINS *et al.*, 2013).

METODOLOGIA

Durante os últimos semestres letivos, aos discentes foi solicitada a elaboração de um artigo científico como trabalho final da disciplina pertinente do semestre corrente. Para tal, os alunos foram divididos em grupos de quatro e cinco, sendo que cada grupo ficaria a cargo de elaborar um artigo científico. Como proposta de metodologia a ser seguida, foi sugerida a Banks *et al.* (2005), conforme figura 1.

Figura 1 – Metodologia proposta.



Fonte: Banks *et al.* (2005).

Observa-se que, a metodologia proposta nessa ação pedagógica, é, segundo Becker (2005), centrada no aluno. O mesmo autor comenta que o suporte desse modelo se encontra na psicologia genética de Piaget, na obra pedagógica de Paulo Freire, em pedagogias de fundamentação marxista: na psicologia do desenvolvimento de Vigotsky, em Gramsci, Wallon, etc. Sua fundamentação epistemológica encontra-se no **interacionismo** de tipo **construtivista**.

Também tem como base a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL – *Problem-Based Learning*), que é um método de aprendizado centrado no aluno e que tem no problema o elemento motivador do estudo e integrador do conhecimento (BERBEL, 1998).

A metodologia descrita na Figura 1 apresenta os passos explicados aos alunos, como:

- **Formulação do problema:** envolve a expressão do problema a ser estudado, delimita o modelo de simulação (FILHO, 2006).
- **Definição dos objetivos e plano geral de trabalho:** indicam as questões a serem respondidas pela simulação, bem como as características gerais e resultados esperados (BANKS *et al.*, 2005). Guia o estudo e fornece uma especificação do trabalho a ser feito (HARREL *et al.*, 2000).
- **Modelo conceitual:** apresenta o resultado dos dados coletados; a formulação de como opera um sistema em particular. Reproduz os componentes físicos significativos do sistema (BANKS *et al.*, 2005; GUMIER e JUNIOR, 2007).
- **Coleta de dados:** interação entre a criação do modelo conceitual e o conjunto de dados de entrada necessários; quando a complexidade do modelo muda, os elementos de dados requeridos podem mudar também (HARREL *et al.*, 2000; BANKS *et al.*, 2005).
- **Tradução do modelo:** consiste na tradução do modelo para a linguagem do simulador utilizado (HARREL *et al.*, 2000; BANKS *et al.*, 2005; PRADO, 2009).
- **Verificação e validação:** procede à comparação de valores gerados pelo modelo com os obtidos no sistema real. Sugere-se que essa ação seja encaminhada junto a algum responsável pelo setor de ocorrência do processo, buscando a correta representação da realidade através da modelagem computacional.
- **Delineamento dos experimentos:** delineamento das alternativas (cenários) que serão simuladas (BANKS *et al.*, 2005; GAMEIRO *et al.*, 2008).
- **Execução e análise dos experimentos:** interpretação dos resultados obtidos, estimando medi-

das de desempenho para o sistema que está sendo analisado (BANKS *et al.*, 2005).

- Documentação e relatórios: descrição dos resultados encontrados, por meio de artigos produzidos (CASSEL e VACCARO, 2007).
- Implementação/otimização: ação concreta indicada pelo resultado da simulação que, sendo considerada de sucesso, é implementada na prática (CASSEL e VACCARO, 2007).

Para a completa execução da metodologia proposta, os alunos tiveram à disposição, durante o período de pesquisa, modelagem e análise, o auxílio constante do professor responsável pela disciplina, como também de um bolsista de pós-graduação (mestrado). Outra solicitação foi que os dados de entrada (coletados) deveriam corresponder a um processo real, de ocorrência atual, e que os alunos deveriam adquirir esses dados através de cronometragem ou outro meio pertinente, presenciando o processo *in-loco*. Portanto, os alunos deveriam optar por processos existentes em seus próprios ambientes de trabalho ou outro, com possibilidade de observação e cronometragem. Desse modo, além de conhecer como o processo se encontra estruturado, poderiam aferir aspectos distintos do processo produtivo e realizar observações complementares, gerar hipóteses de solução e testá-las, na busca de soluções de melhoria, atuando diretamente como um engenheiro de produção na análise do processo a ser modelado.

Comparando os passos propostos neste artigo e as etapas da PBL descritas por Berbel (1998) – que são: observação da realidade; pontos-chaves; teorização; hipótese de solução e a última etapa, aplicação à realidade –, observa-se que a metodologia proposta nessa ação pedagógica também segue a aprendizagem baseada em problemas.

Para a análise e avaliação dos artigos, foram procuradas as seguintes informações, retiradas na íntegra dos próprios artigos:

- o processo abordado;
- o problema de pesquisa;
- os objetivos;
- ação proposta;
- resultado.

Além de apresentar um panorama geral dos artigos elaborados pelos discentes, buscou-se realizar apontamentos sobre as atividades desenvolvidas. Isso também reflete o uso do **método dialético** proposto por Vasconcelos (1992). Segundo o autor, a metodologia dialética poderia ser expressa através de três grandes momentos para a construção do conhecimento, que, na verdade, devem corresponder mais a **três grandes dimensões ou preocupações do educador/extensionista**, quais sejam:

- Primeira dimensão – Mobilização para o conhecimento – passos 1 e 2 da metodologia definida na Figura 1;
- Segunda dimensão – Construção do conhecimento – passos 3 a 10 da metodologia definida na Figura 1;
- Terceira dimensão – Elaboração da síntese do conhecimento – passos 11 e 12 da metodologia definida na Figura 1.

RESULTADOS

Buscando preservar os alunos, não serão listados nomes e nem mesmo a pontuação final (nota) de cada artigo. Sendo assim, o resultado da análise dos artigos está representado nos quadros 1 a 7, demonstrados a seguir.

Quadro 1 – Artigo A

ID	ARTIGO A
PROCESSO	Produção de piscinas em fibra de vidro.
PROBLEMA	A simulação pode tornar mais eficiente o processo, reduzindo o problema do não atendimento dos pedidos em época de grande demanda, sem enormes investimentos e inovações?
OBJETIVO	Analisar e otimizar a produção de piscinas de fibra de vidro.
AÇÃO	Deslocamento de colaboradores em períodos de ociosidade.
RESULTADO	Aumento de 33% na produção semanal.

O artigo A explora a ociosidade de um posto de trabalho específico (de menor ocupação), deslocando os colaboradores para o posto de trabalho da atividade crítica (maiores filas). Dessa maneira, a produção semanal aumenta em 33%, porém, não é explanado se os colaboradores deslocados apresentam condições técnicas de auxiliar no processo crítico em questão, nem mesmo se tal alteração foi

apresentada e caracterizada como condizente ou não para o responsável pelos processos da empresa estudada.

Quadro 2 – Artigo B

ID	ARTIGO B
PROCESSO	Produção de tampas plásticas.
PROBLEMA	A instalação de esteira após o processo de injeção de tampas plásticas em substituição ao sistema de transporte por totens, acarreta melhorias?
OBJETIVO	Aplicar simulação para o entendimento do processo produtivo e otimizá-lo utilizando esteiras.
AÇÃO	A implementação de esteira transportadora após o processo de injeção.
RESULTADO	Aumento de produção em 0,7% (ou 32.000 tampas) por dia

O Artigo B analisa a viabilidade da substituição de totens por esteiras transportadoras, após os processos de injeção de tampas plásticas para garrafas pet. Por se tratar de uma das apenas duas atividades executadas por colaboradores, buscou-se um resultado da mecanização dessa atividade. Como comentado, por se tratar de um processo quase totalmente mecanizado, a diferença da adoção da esteira representou um aumento de 0,7% na produção diária, ou seja, um acréscimo de 32 mil tampas às 4,4 milhões/dia já produzidas. Como ressalva, não foi analisada a viabilidade de tal implementação da esteira.

Quadro 3 – Artigo C

ID	ARTIGO C
PROCESSO	Produção de elementos pré-moldados de concreto (postes).
PROBLEMA	Com recursos disponíveis e identificação dos gargalos produtivos, é possível propor cenários capazes de alavancar a rentabilidade?
OBJETIVO	Identificar um panorama geral do processo, a utilização dos recursos, pontos críticos, capacidade produtiva e alternativas para aumento da rentabilidade.
AÇÃO	Adição de uma equipe (1 servente e 1 oficial de produção).
RESULTADO	Aumento em 20% da produção e do lucro real em R\$ 22.650,00/mensais.

O Artigo C busca alternativas para aumentar a rentabilidade do processo de confecção de postes

de concreto. São propostos e analisados dois cenários, com o acréscimo de uma e de duas equipes de concreto (1 servente e 1 oficial de produção). Ambos os cenários retornam um acréscimo de 20,6% na produção mensal de postes, por esse motivo, o cenário com o adicional de uma equipe apresenta os melhores resultados em rentabilidade, resultando em um lucro real de aproximadamente 22 mil reais. Além das simulações dos cenários, também apresenta todo o cálculo dos custos diretos e indiretos vinculado ao acréscimo das equipes.

Quadro 4 – Artigo D

ID	ARTIGO D
PROCESSO	Produção de carrinhos de praia (metal).
PROBLEMA	Apenas com dados disponibilizados em documentação organizacional é possível a elaboração e validação de um modelo de simulação?
OBJETIVO	Elaborar e validar um modelo computacional de um processo em empresa metalúrgica.
AÇÃO	Visita técnica à empresa; solicitação dos tempos para o cronometrista do departamento de controle de processo; solicitação do POP (Procedimento Operacional Padrão) da fabricação do produto; elaboração do modelo computacional.
RESULTADO	Ocupação de alguns funcionários em 100% e outros próximos a 0%; fila na ordem de 388 produtos em uma atividade.

O Artigo D visou a implementar um modelo de simulação de um processo somente a partir das informações do setor de controle de processos da empresa. Tal simulação apresentou ocupações de recursos limítrofes, tanto completamente ociosas quanto totalmente ocupadas, além de um *number-out* da simulação incompatível com o número produzido em situação real. A partir disso, explanou-se sobre a possibilidade dos tempos em documentação organizacional estarem desatualizados, se as medições foram em números insuficientes de amostras, se os POP não estavam sendo cumpridos ou até uma possível modelagem de simulação precária. Todas as possibilidades levantadas foram complementadas com referencial teórico científico, enfatizando a importância da não ocorrência das mesmas.

Quadro 5 – Artigo E

ID	ARTIGO E
PROCESSO	Produção de colchões de mola.
PROBLEMA	A eficiência dos processos de produção de colchões na indústria em questão tem sido satisfatória?
OBJETIVO	Avaliação do processo produtivo e proposição de melhorias.
AÇÃO	Redução do tempo do processo crítico em 5% e 10%.
RESULTADO	Aumento de 4% e 10% da produção diária, respectivamente.

O Artigo E compreendeu o estudo em fábrica de colchões com o intuito de propor melhorias para o processo. Foi pressuposto que a produção atual era insatisfatória, contudo, não foi declarada a fonte para tal suposição. Após encontrada a atividade crítica, de maior ocupação e também de maior fila, foi proposta a redução do tempo em 5% e 10%, o que adicionou 4% e 10%, respectivamente, à produção diária. Devido à atividade ser realizada por operador, foi proposta uma alteração no POP, com novos tempos que possibilitariam as alterações propostas.

Quadro 6 – Artigo F

ID	ARTIGO F
PROCESSO	Produção de bases para colchões box.
PROBLEMA	A partir da identificação do gargalo na produção, qual o ganho possível em produtividade apontado pelo modelo computacional?
OBJETIVO	Identificar o gargalo de produção e propor medidas para o aumento de produtividade.
AÇÃO	Diminuição do tempo da atividade crítica em 30%.
RESULTADO	Aumento a produtividade diária em 19%.

O Artigo F abordou o processo de confecção de bases para colchões do tipo box, trabalhando também com a atividade crítica, através de alterações, buscando maximizar a produtividade. Porém, após a confecção do modelo de simulação, foi abordada a questão de a modelagem atuar na forma de uma produção “empurrada”, enquanto o real atua de forma “puxada”; desse modo, os alunos, com os res-

ponsáveis pela produção, definiram que a simulação não representava a realidade do processo. Mesmo assim, foi proposta uma redução de 30% no tempo da atividade crítica, mecanizada e passível de acordo com a capacidade técnica da mesma, resultando em acréscimo diário de 19% na produção.

Dessa forma, apresentado o panorama geral dos trabalhos realizados, é seguro afirmar que todos os discentes vivenciaram processos produtivos, viram-se inseridos em um ambiente de caráter profissional para engenheiros de produção e, a partir disso, aferiram possibilidades de melhorias, dando sugestões e/ou *feedbacks* aos processos. Para tais apontamentos, utilizaram-se de conceitos das mais diversas ciências apreendidas em sala de aula e de uma visão holística. Nesse caso, o aprendizado da simulação computacional, através da problematização de processos produtivos reais, atuou como agente, sincronizando teoria, aprendizado e vivência em Engenharia de Produção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aprendizagem propiciada pela execução dessa atividade, auxiliada pela utilização do *software* de simulação, caracteriza-se certamente como um objeto de aprendizagem multidisciplinar, aplicando, na forma prática e computacional, o que foi observado *in loco*, através da mobilização de conhecimentos teóricos assimilados em sala de aula.

Além de mensurar a aptidão dos alunos na modelagem de um problema real e na proposição de possibilidades futuras para os mesmos, na forma de cenários alternativos, na identificação de atividades críticas, na mensuração do retorno de investimentos ou até mesmo no apontamento das dificuldades da própria modelagem/simulação. O desenvolvimento dessa prática pedagógica possibilitou aos alunos uma atuação interdisciplinar, através da aplicação de conhecimentos técnicos específicos do *software*, de conhecimentos em planejamento industrial – como estamos e de que forma chegaremos ao que queremos; pesquisa operacional – na construção de redes PERT; engenharia do trabalho – na captação de tempos, avaliação de procedimentos operacionais padrão (POPs), no estudo de ocupações/ociosidades e dimensionamento de postos de trabalho;

engenharia econômica – na viabilidade financeira das alterações propostas; controle da produção – buscando a capacidade de produção maximizada. Acrescenta-se a isso a inserção e a vivência dos alunos em ambientes industriais, possibilitando um contato íntimo com os processos produtivos, seus responsáveis e colaboradores, caracterizando, dessa forma, uma atuação profissional de Engenharia de Produção.

Outro aspecto positivo apontado foi a importância de os engenheiros trabalharem com dados de qualidade, em quantidade e variedade adequadas. Em alguns casos, as empresas estudadas não aplicavam simulação de processos para análises e, em outros casos, os dados provindos das próprias empresas se apresentavam errôneos.

Nesse sentido, todos os trabalhos realizados pelos alunos resultaram em *feedback* positivo de algum aspecto para as empresas. Como limitações dos trabalhos, cita-se a falta de complexidade das modelagens, uma vez que não foram consideradas falhas e quebras de equipamentos, produtos defeituosos, absenteísmo, rotatividade de colaboradores em postos de trabalho, tempos de *warm-up*, descansos entre jornadas e outros aspectos importantes no cotidiano do ambiente produtivo. Contudo, esses aspectos, através de um tempo hábil maior para a realização da atividade acadêmica, poderiam, facilmente, ser inseridos à simulação.

Portanto, após a análise do panorama geral dos trabalhos realizados pelos discentes, entende-se que a realização de atividades envolvendo simulação computacional dessa natureza, promove a autonomia e o trabalho em equipe, tal como ocorre na vida profissional, além de desenvolver habilidades como a formulação de ideias, participação ativa e trabalho com colaboração em grupo, caracterizando-se, sim, como ferramenta auxiliar na aprendizagem e assimilação de conceitos de Engenharia de Produção.

REFERÊNCIAS

- ALBERTI, R. A. *et al.* Uso de simulação computacional para avaliação de cenários produtivos em empresa de acessórios para motociclistas. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (CONBREPRO), Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa – PR. 2013.
- BAKHTADZE; N. N. Virtual analyzers: Identification approach. **Automation and Remote Control**, v. 65, n 11, p. 1691-1709, 2004.
- BANKS, J. *et al.* **Discrete event system simulation**. 4rd Ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BARROS, J. P. S. *et al.* Simulação baseada em agentes. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENECEP), Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2011.
- BECKER, Fernando. **A epistemologia do professor: o cotidiano da escola**. 12. ed. Petrópolis: Vozes, 2005.
- BERBEL, Neusi Aparecida Navas. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas. **Interface – Comunicação, Saúde, Educação**, v. 2, n. 2, 1998.
- BORGES NETO, Mario; ALMEIDA, Nival Nunes. Perspectivas para engenharia nacional, desafios e oportunidades. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 32, n. 3, 2013.
- BRODAY, E. E.; ANDRADE JUNIOR, P. P. Ensino de Engenharia de Produção: um estudo comparativo entre Brasil e França. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, Brasil, 2011.
- CABRERA, A. Gomez: Simulação de processos construtivos. **Revista de engenharia de Construção**, v. 25, n. 1, abr. 2010.
- CARVALHO, A. C. B. D. de; PORTO, A. J. V.; BELHOT, R. V. Aprendizagem significativa no ensino de engenharia. **Revista Produção**, v. 11, n. 1, 2001.
- CASSEL, G. L.; VACCARO, G. L. R. Aplicação de Simulação Otimização para Definição do Mix Ótimo de Produção de uma Indústria Metal-Mecânica. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA (ENECEP), Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007.
- CHUNG, C.A. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. Industrial and Manufacturing Engineering Series. Washington: CRC Press, 2004.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Leonardo Chwif. 2010.
- CLANCY, C. M. The Importance of simulation: preventing hand-off mistakes. **AORN Journal**, v. 88, n. 4, p. 625-627, 2008.

- CUNHA, G. D. **Um panorama atual da Engenharia da Produção no Brasil**. Porto Alegre: [s.n.], 2002.
- CURCIO, D.; LONGO F. Inventory and internal logistics management as critical factors affecting the supply chain performances. **Int J Sim Process Model**. v. 5, p. 278-288, 2009.
- DIEHL, F. C. *et al.* Simulação Operacional de uma torre de destilação atmosférica via Aspen Plus e Avaliação de Modelos de Analisadores Virtuais. **Revista Controle & Automação**, v. 20, n. 3, jul., ago., set. 2009.
- DURAES, Sarah Jane Alves. Aprendendo a ser professor(a) no século XIX: algumas influências de Pestalozzi, Froebel e Herbart. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 37, n. 3, dez. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022011000300002>>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- FILHO, R. G. A. **Planejamentos fatoriais fracionados para análise de sensibilidade de modelos de simulação de eventos discretos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2006.
- FIORONI, M. M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- FREITAS, Raquel Aparecida Marra da Madeira. Ensino por problemas: uma abordagem para o desenvolvimento do aluno. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 38, n. 2, June, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022011005000011>>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- GAMEIRO, A. H. *et al.* Modelagem e gestão das perdas no suprimento de tomates para processamento industrial. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 101-115, jan.-abr. 2008.
- GELAMO, Rodrigo Peloso. Notas sobre o problema da explicação e da experiência no ensino da Filosofia. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 36, n. 2, ago. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022010000200007>>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- GUMIER, C. C.; JUNIOR, E. L. Aplicação de modelo de simulação-otimização na gestão de perda de água em sistemas de abastecimento. **Eng. sanit. ambient**. v. 12, n. 1, jan./mar., p. 32-41, 2007.
- HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using Promodel**, 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- HLUPIC, V.; PAUL, R. J. Methodological approach manufacturing simulation selection. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, v. 9, n. 1, p. 49-55, 1996.
- HUNGER, Dagmar; ROSSI, Fernanda; SOUZA NETO, Samuel de. A teoria de Norbert Elias: uma análise do ser professor. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 37, n. 4, dez. 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022011000400002>>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- IAROZINSKI NETO, A.; LEITE, M. S. A abordagem sistêmica na pesquisa em Engenharia de Produção. **Produção**, v. 20, n. 1, São Paulo, 2010.
- KELTON, W.D.; SADOWSKI, R.P.; SWETS, N.B. **Simulation with Arena**. New York: McGraw-Hill, 2010.
- LIU, Y. *et al.* Workflow simulation for operational decision support using event graph through process mining. **Decision Support Systems**, 2012.
- MARTIN, A. C. *et al.* Panorama do Ensino de Engenharia de Produção no Brasil. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (CONBREPRO). Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, Brasil. 2013.
- MARTINS, L. M. *et al.* Experiências adquiridas com o ensino da disciplina de processos químicos no curso de engenharia de produção. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2013.
- MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: MIGUEL, P. A. C. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, p.165-192, 2010.
- NASCIMENTO, L. J. B. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, Brasil. 2012.
- OLIVEIRA, V. F. A avaliação dos cursos de engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**. v. 1, n. 3, p. 1-12, 2005.
- PEREIRA, C. R.; COSTA, M. A. B. Um modelo de simulação de sistemas aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 12, n. 4, p. 972-1001, 2012.
- PERGHER, I.; VACCARO, G. L.; PRADELLA, M. Aplicação da simulação computacional para determinar a capacidade produtiva do processo de produção de pães: um estudo de caso. **Produto & Produção**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, 2013.
- PRADO, D. S. **Teoria das filas e da simulação**. 4. ed. Nova Lima: INDG-Tecnologia e serviços, p. 127, 2009.
- PRADO, D. S. **Usando o Arena em simulação**. 4. ed. Belo Horizonte: INDG-Tecnologia e serviços, 2010.
- SAKURADA, Nelson; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de mode-

lagem de sistemas de operações de serviços. **Gestão de Produção**, v. 16, n. 1, 2009.

SOUZA, Nadia Aparecida de; BORUCHOVITCH, Evely. Mapas conceituais e avaliação formativa: tecendo aproximações. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 36, n. 3, dez. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022010000300010>>. Acesso em 19 fev. 2014.

UM, I.; HYEONJAE, C.; LEE, H. The simulation design and analysis of a Flexible Manufacturing System with Automated Guided Vehicle System. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 28, p. 115-122, 2009.

VASCONCELLOS, Celso dos S. Metodologia dialética em sala de aula. **Revista de Educação AEC**. Brasília, n. 83, abr. 1992.

YEE, R. W. Y *et al.* Market competitiveness and quality performance in high-contact service industries. **Industrial Management & Data Systems**, Hong Kong, v. 113, n. 4, p. 573-588, 2013.

DADOS DOS AUTORES



Rafael Alvisé Alberti – Graduação em Engenharia de Produção (2011, UNISC), Mestrado em Sistemas e Processos Industriais (2014, UNISC). Certificado como melhor desempenho acadêmico em Engenharia na UNISC. Atua como professor nos cursos de Engenharia Civil e de Produção na Faculdade de Itapiranga (FAI) (Bolsista de mestrado quando da realização deste artigo).



João Carlos Furtado – Graduação em Licenciatura em Física (1991, UFSM). Mestrando em Computação Aplicada (1995, INPE). Doutorado em Computação Aplicada (1998, INPE). Atualmente, é professor adjunto da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). É professor nos cursos de Ciência da Computação, Engenharia de Computação, Engenharia de Produção e no Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – PPGSPI.



Liane Mahlmann Kipper – Graduação em Licenciatura em Física (1986, UNISC). Especialização em Física (1987, UNISC). Especialização em Gestão e Liderança Universitária (2010 – UCS). Mestrado em Física (1991 – UFSC). Doutorado em Engenharia de Produção (2005, UFSC). Professora titular da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) e Coordenadora do Mestrado em Sistemas e Processos Industriais. Atua nas áreas de gestão do conhecimento, inovação e criatividade, gerenciamento de processos, métodos e técnicas de pesquisa, desenvolvendo atividades principalmente nos seguintes temas: melhoria de processos, sistemas enxutos: inovação, criatividade, desenvolvimento de produtos e proteção do conhecimento; e em gestão por processos e tecnologias para otimização e melhoria de processos.

TEACHING STATISTICAL METHODS IN ENGINEERING COURSES THROUGH WIND POWER DATA

DOI:<http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v34n1p85-92>

Jose Francisco Moreira Pessanha,¹ Fernando Luiz Cyrino Oliveira,² Reinaldo Castro Souza³

ABSTRACT

We describe examples based on real wind speed data designed to introduce engineering students at the post-calculus level to statistical methods and theory with real engineering problems. The examples cover some steps of the traditional wind power data analysis in order to develop in the student the data analysis capabilities and the statistical reasoning applied to the engineering problems.

Keywords: Teaching Statistics; R project; Wind Power Data.

RESUMO

Neste artigo, descrevemos exemplos baseados em dados de velocidade real do vento, apropriados para introduzir os estudantes de engenharia, em nível de pós-cálculo, aos métodos e à teoria estatísticos, a partir de problemas reais de engenharia. Os exemplos cobrem algumas etapas da análise tradicional de dados de energia eólica, a fim de desenvolver no aluno a capacidade de análise de dados e do raciocínio estatístico aplicado aos problemas de engenharia.

Palavras-chave: Ensino de Estatística; Projeto R; dados de energia eólica.

INTRODUCTION

In general, the engineering students take only one semester course about Probability and Statistics, a short period to learn and develop the statistical reasoning applied to the engineering problems. In this context, it is rather important to motivate students with examples from real problems found in the engineering practice in order to show that statistics play an important role in the engineering.

This paper aims to describe a set of activities based on real wind speed data from public sources and designed to provide hands-on exercises in the classroom with R project (R Core Team, 2014). Naturally the examples presented in this paper can be tailored to other computational languages. The

examples are oriented to introduce students to statistical concepts and methods in special, data exploratory analysis, descriptive statistics and statistical inference. The main outcome that we expect to achieve with the adoption of these examples is to motivate and develop the data analysis capabilities and statistical reasoning of the students.

In addition, the proposed examples have important practical implications: it can develop and enhance the programming skills of the students, improve their abilities to solve problems as well as to point out links with other disciplines like electro-mechanical energy conversion, electric machines, power generation, power system control & operation and power system economics. This initiative is an original idea that offers new ways to teach sta-

1 D.Sc. in Electrical Engineering, Adjunct Professor, State University of Rio de Janeiro (UERJ); professorjfm@gmail.com

2 D.Sc. in Electrical Engineering, Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Pontical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio); cyrino@puc-rio.br

3 Ph.D. in Statistics, Full Professor, Electrical Engineering Department, Pontical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio); reinaldo@ele.puc-rio.br

tistics to engineering students and show them the power of statistics at same time that present wind power, a valuable energetic resource.

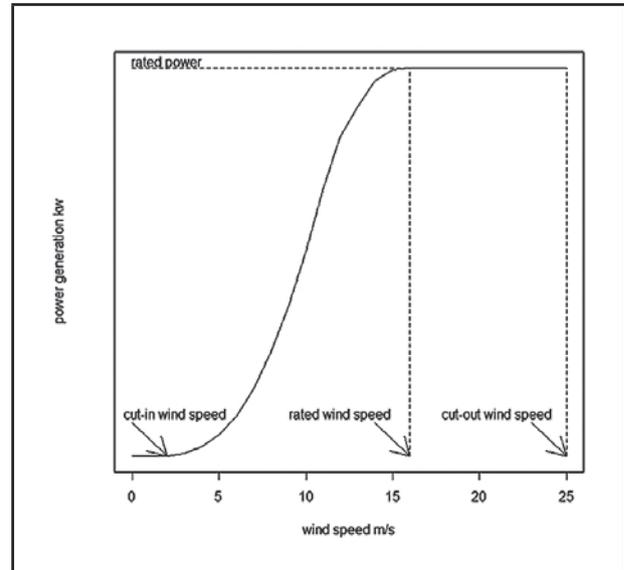
WIND POWER

The statistics from World Wind Energy Association (WWEA, 2014) show that the total worldwide installed wind capacity reached 336 GW by mid-2014, a growth of 13.5% over mid-2013. Wind is a renewable natural resource and its utilization in the electricity production is one of the most promising alternatives to mitigate air pollution in the electric power generation.

However the wind is a non-controllable resource, it has a stochastic behavior and to cope with its variability the engineers apply statistical and probabilistic methods in the design of wind turbines and management of wind power plants.

The relationship between the wind speed v (m/s) and the power generation P (Watts) is defined by the power curve $P(v)$ illustrated in Figure 1. Examples of real power curves can be obtained in the catalogs of manufacturers of wind turbines available on the internet. The power generation begins at cut-in speed typically between 2 and 3m/s. Thus, the power output rises rapidly up to achieve the rated output power at the rated wind speed between 12 and 17m/s. At higher wind speeds the turbine holds the power generation near to the rated output, but when the turbine reach the cut-out wind speed around 25m/s the wind turbine power generation must be turned off in order to avoid risk of rotor damage. For assessment of wind power potential of a site we need to know the power curve parameters of the wind turbine (cut-in, rated and cut-out speeds) and the parameters of the wind speed distribution (usually Weibull or Rayleigh) estimated from on-site wind speed measurements at hub-height (1).

Figure 1 – Theoretical power curve.



$$P(v) = \begin{cases} 0, v \leq V_{in} \\ 0.5C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \rho \cdot A \cdot v^3, V_{in} < v \leq V_r \\ 0.5C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \rho \cdot A \cdot V_r^3, V_r < v \leq V_{out} \\ 0, v > V_{out} \end{cases} \quad (1)$$

where:
 V_{in} = cut-in wind speed (m/s)
 V_r = rated wind speed (m/s)
 V_{out} = cut-out wind speed (m/s)
 C_p = coefficient of performance (dimensionless)
 η_m = generator efficiency (dimensionless)
 η_g = gearbox efficiency (dimensionless)
 ρ = air density (kg/m³)
 A = rotor swept area (m²)

Source: JANGAMSHETTI & RAU, 1999.

EXAMPLES

Below we present descriptions of four activities based on real wind speed data from public sources and designed to provide hands-on exercises in the classroom with R project.

Activity 1: Download wind speed data from public sources

There are several links on internet where we can find wind speed measurements available. For example, in Brazil the National Network of Environmental Data for Renewable Energy Resource

Assessment (SONDA project) provides wind speed measurements from some Brazilian anemometric stations with ten minutes time resolution. The data are arranged on monthly electronic spreadsheets that can be downloaded free. This is a great opportunity to students learn how download data from internet through R. The following the code snippets downloads 12 monthly electronic spreadsheets with wind speed measurements from anemometric station located in São João do Cariri ($7^{\circ}22'54''S$, $36^{\circ}31'38''W$), Brazil.

```
library(downloader); library(utils) # load packages
setwd("c:/IASE") # set work directory
year = 2006; station="SCR"
address = paste("http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/dados/eolicos/SCR/",year,"/",sep="")
windspeed25 = numeric(0); windspeed50 = numeric(0); windmonth = numeric(0) # wind speed at 25m and 50m
height
for (month in 1:12) {
  if (month > 9) file = paste(station,"0",year-2000,month,"WD",sep="") # namefile
  if (month < 10) file = paste(station,"0",year-2000,"0",month,"WD",sep="") # namefile
  url = paste(address,paste(file,".zip",sep=""),sep="") # address
  download(url,file,mode="wb") # download file
  # extract csv and read csv file
  unzip(file,files=NULL,list=FALSE,overwrite=TRUE,junkpaths=FALSE,exdir="",unzip="internal",setTimes=FALSE)
  data = read.csv(paste(file,".csv",sep=""),sep=";",header=FALSE)
  windmonth = c(windmonth,rep(month,dim(data)[1])) # month
  windspeed25 = c(windspeed25,data[,6]); windspeed50 = c(windspeed50,data[,9]) # speed at 25m and 50m
  height
}
windspeed25[which(windspeed25<0)] = 0; windspeed50[which(windspeed50<0)] = 0 # replace negative speeds
by zero
```

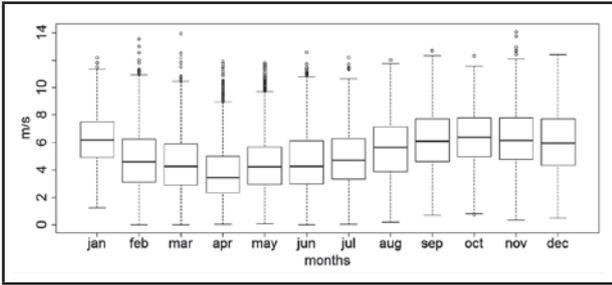
Activity 2: Exploratory data analysis

Based on the wind speed measurements the students can make an exploratory data analysis and compute some descriptive statistics

from the wind speed dataset. For example, they can use the following R code to make the boxplots across the 12 months in Figure 2 and the descriptive statistics by month in Figure 3.

```
boxplot(windspeed50~ windmonth,xlab="months",ylab="m/s",xaxt="n",cex.axis=2,cex.lab=2)
axis(1,at=1:12,labels=c("jan","feb","mar","apr","may","jun","jul","aug","sep","oct","nov","dec"),cex.axis=2)
aggregate(windspeed50,by=list(windmonth),FUN=summary)
```

Figure 2 – Boxplots of wind speed at 50 m height.



Source: R Core Team, 2014.

Figures 2 and 3 show that the lowest median and mean wind speeds are observed in April and May. In addition, the average wind speed increases during the dry season (between May and November), but it follows a downward trend in the wet season (between December and April). This is an example of the energy complementarity between wind and hydro sources in Brazil (PALFI & ZAMBON, 2013).

Figure 3 – Descriptive statistics.

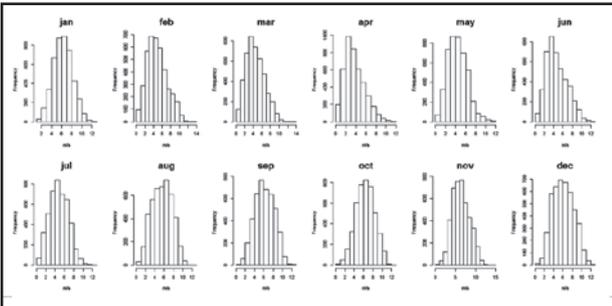
Group.1	x.Min.	x.1st Qu.	x.Median	x.Mean	x.3rd Qu.	x.Max.
1	1	1.240	4.918	6.200	6.239	7.502
2	2	0.000	3.098	4.600	4.816	6.240
3	3	0.000	2.880	4.260	4.480	5.903
4	4	0.040	2.350	3.430	3.770	4.990
5	5	0.050	2.960	4.240	4.403	5.660
6	6	0.000	2.988	4.260	4.654	6.130
7	7	0.020	3.320	4.710	4.795	6.282
8	8	0.190	3.890	5.630	5.555	7.132
9	9	0.690	4.630	6.100	6.157	7.730
10	10	0.750	4.978	6.380	6.386	7.780
11	11	0.360	4.780	6.170	6.336	7.800
12	12	0.480	4.330	5.970	6.072	7.730

Source: R Core Team, 2014.

Figure 4 shows monthly histograms for the wind speed at 50m height. The histograms were generated by the following R code. The distribution shape changes across the months and the statistics in Figure 5 indicate moderate skewed distribution in special at April and May when the kurtosis coefficient indicates moderate leptokurtic distribution.

```
par(mfrow=c(2,6)) ; labels=c("jan","feb","mar","apr","may","jun","jul","aug","sep","oct","nov","dec")
for (i in 1:12) {
  m=which(windmonth==i)
  hist(windspeed50[m],main=labels[i],xlab="m/s",cex.axis=1,cex.lab=1,cex.main=2)
}
```

Figure 4 – Monthly histograms.



Source: R Core Team, 2014.

Figure 5 – Monthly standard deviation, skewness and kurtosis.

	Standard Deviation	Skewness	Kurtosis
[1,]	1.851128	0.113531272	2.652212
[2,]	2.286779	0.440525105	2.680806
[3,]	2.125612	0.441204502	2.789647
[4,]	1.980068	0.742702546	3.300896
[5,]	1.900126	0.496970306	3.211324
[6,]	2.197749	0.514656235	2.668262
[7,]	2.003935	0.151759990	2.557935
[8,]	2.112200	-0.010098854	2.254257
[9,]	2.052793	0.005248375	2.385994
[10,]	1.986095	-0.036983955	2.609298
[11,]	2.095818	0.262305332	2.571293
[12,]	2.216109	0.159274157	2.323115

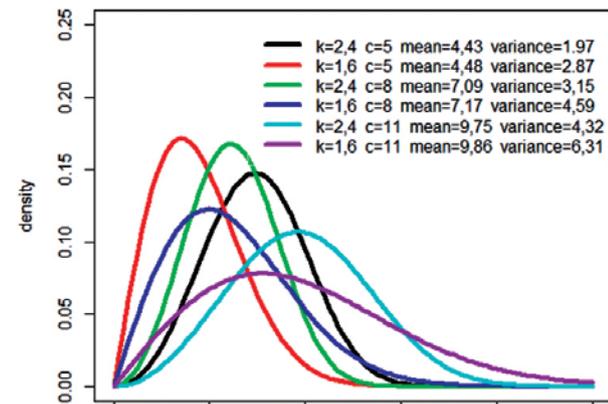
Source: R Core Team, 2014.

```
library(moments) # load package moments
others_stats=matrix(0,12,3)
colnames(others_stats)=c("Standard Deviation","Skewness","Kurtosis")
for (i in 1:12) {
  m=which(windmonth==i)
  ws = windspeed50[m]
  others_stats[i,]=c(sd(ws),skewness(ws),kurtosis(ws))
}
print(others_stats)
```

Activity 3: Probability distribution fitting

The Weibull probability distribution is the standard probabilistic model to describe the wind speed (JUSTUS *et al.*, 1978). The results from exploratory analysis indicate that the wind speed data are moderately skewed. Then, in this case the normal distribution is not the more appropriated model. The Weibull density function has two parameters as indicated in Figure 6: the shape parameter (k) and the scale parameter (c). The scale parameter (c) is proportional to the wind speed average (2) while the shape parameter (k) is related to the constancy of the wind, a higher k value imply in a lower wind speed variance (3). Additionally, the scale parameter (c) is expressed in m/s and the shape parameter (k) is dimensionless. In general k is a number between 2 and 3, but in the areas where prevailing trade winds like in the Brazilian Northeast the shape parameter can be greater than 6 (AMARANTE *et al.*, 2001).

Figure 6 – Weibull probability distribution model.



$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad v > 0 \quad (2)$$

$$E(v) = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3)$$

where

$v \sim \text{Weibull}(k, c)$

The parameters c and k can be estimated by maximum likelihood (*parweibull* function from MASS package) or by the method of moments. In this paper we show the approach proposed by Blischke & Scheur (1986) to the method of moments where the parameters are determined in order to satisfies the following equations where \bar{X} and S^2 are the wind speed sample statistics:

$$\bar{X} = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (4)$$

$$S^2 = c^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)^2 \right] \quad (5)$$

The shape parameter estimate \hat{k} is the root of the transcendental equation (6) and the scale parameter estimate \hat{c} is obtained from equation (2) replacing k by \hat{k} as shown in equation (7). Figure 7 shows the monthly estimates for k and c obtained by the R code below.

$$\frac{S^2}{\bar{X}^2} = \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{\hat{k}}\right) / \Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{k}}\right)^2 \right) - 1 \quad (6)$$

$$\hat{c} = \bar{X} / \Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{k}}\right) \quad (7)$$

Figure 7 – Monthly estimates for the shape and scale parameters of the wind speed at 50m height.

	k	c
[1,]	3.759620	6.907386
[2,]	2.225616	5.437190
[3,]	2.227603	5.058011
[4,]	1.989638	4.253927
[5,]	2.476684	4.964025
[6,]	2.239725	5.254999
[7,]	2.566573	5.400051
[8,]	2.852436	6.233648
[9,]	3.302877	6.863898
[10,]	3.568319	7.090480
[11,]	3.332187	7.060459
[12,]	2.985773	6.800583

```

Blischke_Scheur <- function(k){
  return(gamma(1+2/k)/gamma(1+1/k)^2 - 1 - ws_var/ws_mean^2)
}
k=rep(0,12);c=rep(0,12)
for (i in 1:12) {
  m=which(windmonth==i) ; ws = windspeed50[m]
  ws_mean=mean(ws) ; ws_var=var(ws)
  k[i] = uniroot(Blischke_Scheur,c(1,10))$root
  c[i] = ws_mean/gamma(1+1/k[i])
}
  cbind(k,c)

```

Activity 4: Estimating the capacity factor

There are many manufacturers and types of wind turbines and an engineer should choose the turbine model more appropriated to the wind behavior in a wind power plant project. A key parameter in the choice of turbine model is the capacity factor (*CF*) defined by the ratio between the average power output $E(P(v))$ and the rated power output P_{max} . Jangamshetti & Rau (1999) presents the following formula (8) to estimate the capacity factor of a wind turbine:

$$CF = \frac{E(P(v))}{P_{max}} = \frac{1}{v_r^3} \int_{v_{in}}^{v_r} v^3 f(v) dv + \int_{v_r}^{v_{out}} f(v) dv \quad (8)$$

where $f(v)$ is the probability density function of the wind speed at hub height and V_{in} , V_r and V_{out} are respectively the cut-in, rated and cut-out speeds in the power curve (as shown in Figure 1).

In the modern wind power plants the hub height of the turbines can achieve more than 100m height, but the wind speed measurements from SONDA are taken at 25m and 50m heights. Then, it is necessary to extrapolate the estimates for the Weibull parameters to the hub height. This is an example of function of a random variable. The relationship between the wind speed and height can be modeled by the power law (JANGAMSHETTI & RAU, 1999) in which the wind speed ratio at two different heights (h and 50 m) is a power function of the ratio between the respective heights (9):

$$\frac{V_h}{V_{50m}} = \left(\frac{h}{50}\right)^\alpha \quad (9)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\log(\overline{V_{50m}}) - \log(\overline{V_{25m}})}{\log(50) - \log(25)} \quad (10)$$

where the power law index α can be determined by the equation (10) based on mean wind speed at 25 m and 50 m height.

Based on power law we can extrapolate the wind speed measurements to a hub height h and then apply the method of moments to estimate the parameters k and c at new height h . Instead, we can apply the following corrections presented by Justus *et al.* (1978).

Consider a wind turbine with rated power equal to 1.8 MW, hub height 119m and which cut-in speed, rated speed and cut-out speed are 3m/s, 12m/s and 25m/s respectively. In order to calculate the capacity factor we should correct the parameters of the wind speed probability density function from 50 m height to 119 m height. The following R code applies the equations (11) and (12) to correct the parameters k and c and then compute the monthly capacity factor.

$$c_h = c_{50m} \left(\frac{h}{50}\right)^{\frac{0.37 - 0.088 \log(c_{50m})}{1 - 0.088 \log(50/10)}} \quad (11)$$

$$k_h = k_{50m} \frac{1 - 0.088 \log(50/10)}{1 - 0.088 \log(h/10)} \quad (12)$$

Figure 8 shows that the monthly capacity factors oscillate in the 10-35% range and that relatively high values (above 30%) occur between September and January. Based on these results we can estimate the amount of energy (kWh) produced in a month by (13):

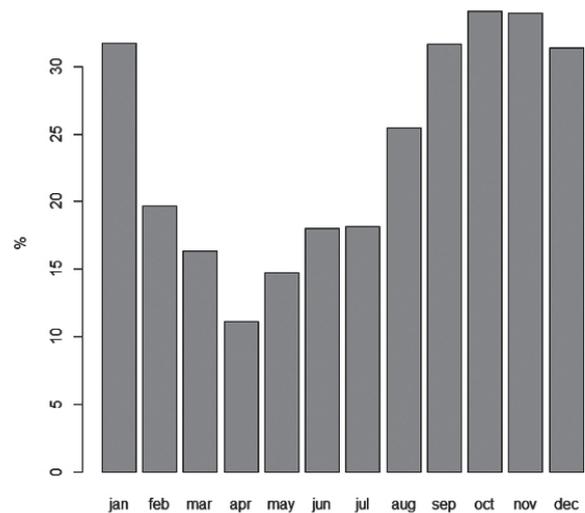
$$\text{Energy}(\text{month } i \text{ MWh}) = \text{Total operating hours in month } i \times \text{Rated power MW} \times \text{CF}(\text{month } i) \quad (13)$$

```

windows()
h = 119 # hub height (m)
vin=3 # cut in speed (m/s)
vr=12 # rated speed (m/s)
vout=25 # cut out speed (m/s)
cte<-vr^3
cf=numeric(0)
for (i in 1:12) {
  scale=c[i]*(h/50)^((0.37-0.088*log(c[i]))/(1-0.088*log(5)))
  shape=k[i]*(1-0.088*log(5))/(1-0.088*log(h/10))
  aux1<-function(w) (w*w*w*dweibull(w,shape,scale))
  aux2<-function(w) (dweibull(w,shape,scale))
  integral1<-integrate(aux1,vin,vr)
  integral2<-integrate(aux2,vr,vout)
  cf<-c(cf,(1/cte)*integral1$value+integral2$value)
}
names(cf)=c("j","f","m","a","m","j","j","a","s","o","n","d")
barplot(cf*100,ylab="%",cex.axis=2,cex.names=1.5,cex.lab=2)
print(cf)

```

Figure 8 – Capacity factor barplot.



CONCLUSION

In the wind power we can find good examples to teach statistical methods and theory based on real engineering problems to engineering undergraduate students. In this paper we show some examples to a first course on statistics, the examples presented cover the steps of the traditional wind speed data analysis since the data acquisition on internet, statistical analysis up to the procedures to estimate the capacity factor and the amount of monthly energy production. In addition, there are many other topics for advanced courses on Statistics, for example, data cleaning, circular statistics, non-parametric methods, stochastic simulation and time series analysis & forecast.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the research agencies CAPES, CNPq and FAPERJ for their financial support.

REFERENCES

- AMARANTE, O. A. C. *et al.* **Brazilian wind energy potential atlas**. Brasília, DF: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, 2001.
- BLISCHKE, W. R.; SCHEUER, E. M. Tabular aids for fitting Weibull moment estimates. **Naval Research Logistics Quarterly**, v. 33, p. 145-153, 1986.
- JANGAMSHETTI, S. H. J.; RAU, V. G. Site matching of wind turbine generators: a case study. **IEEE Transac-**

tions on Energy Conversion, v. 14, n. 4, p. 1.537-1.543, 1999.

JUSTUS, C. G. *et al.* Methods for estimating wind speed frequency distributions. **Journal Applied Meteorology**, n. 17, p. 350-353, 1978.

PALFI, G.; ZAMBON, R. **Hydro and wind power complementarity and scenarization in Brazil**. World Environmental and Water Resources Congress, Cincinnati, 2013.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, Available through: <<http://www.R-project.org/>>. 2014. Accessed 11 November 2014.

REDE SONDA – SONDA - Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Available through: <<http://sonda.ccst.inpe.br/>>. Accessed 31 August 2014.

WWEA - World Wind Energy Association. **Half-year Report 2014**, September, 2014.

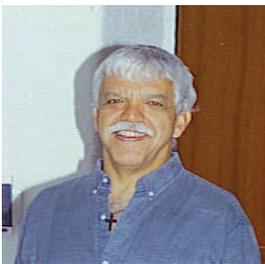
VITAE



José Francisco Moreira Pessanha has a BSc in Statistics and BSc/MSc/DSc degrees in electrical engineering. Currently, he is Professor in the Statistics Department at the State University of Rio de Janeiro (UERJ) and researcher at the Brazilian Electric Power Research Center (Eletrobras Cepel) where he has been developing softwares for power systems reliability assessment, load forecasting, regulation of supply quality, design of electricity distribution tariff and wind power forecasting.



Fernando Luiz Cyrino Oliveira is an Assistant Professor of the Industrial Engineering Department of PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro). He obtained his undergraduate Degree in Industrial Engineering at Federal University of Juiz de Fora and his Master and Doctoral Degrees in Electrical Engineering at PUC-Rio. His research interests include Operations Research, Operations Management, Time Series, Forecasting, Simulation Methods and Literature Reviews. He has published in journals as *European Journal of Operations Research*, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *Mathematical Problems in Engineering* and *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*.



Reinaldo Castro Souza holds PhD in Bayesian forecasting from Warwick University UK. Presently, he is a full Professor in Statistics and Time Series Analysis at Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio), Brazil and his research interest are on the area of Forecasting with Applications to the EnergyMarket.