

# COMO ENSINAR TÉCNICAS EXPERIMENTAIS SEM EXPERIMENTOS?

Cláudio A. Cardoso<sup>1</sup>; José M. Póvoa<sup>2</sup>

Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Física

Rodovia Washington Luiz, km 235

CEP: 13565-905, São Carlos, SP

<sup>1</sup> cardoso@df.ufscar.br; <sup>2</sup> povoa@df.ufscar.br

**Resumo:** *O desenvolvimento de numerosas técnicas experimentais cada vez mais sofisticadas traz novas ferramentas extremamente úteis para a engenharia. Ao mesmo tempo, esta sofisticação e o alto custo dos equipamentos comerciais representam um grande obstáculo para o treinamento, em larga escala, dos alunos de graduação em engenharia nas referidas técnicas. Neste trabalho apresentamos uma proposta para o ensino de técnicas experimentais sofisticadas dentro de uma disciplina de graduação, que vem sendo desenvolvida na graduação em Engenharia Física na Universidade Federal de São Carlos. A metodologia proposta foca na discussão dos princípios básicos de diferentes técnicas experimentais sofisticadas e no treinamento dos alunos na interpretação dos resultados que a técnica fornece sem, contudo, efetivamente realizar a medida prática em si.*

**Palavras-chave:** *disciplinas experimentais, simulação, disciplina integradora.*

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico acelerado característico do mundo contemporâneo se reflete em todos os aspectos da nossa vida diária. Dentro do conhecimento técnico, tanto na área científica como nas engenharias, este processo se reflete, por exemplo, na disponibilidade de um volume cada vez maior de técnicas analíticas capazes de fornecer as mais variadas informações sobre os mais diversos tipos de amostras. Como ilustração deste fato, apenas o livro de BRUNDLE *et al.* (1992) apresenta 53 técnicas diferentes somente para a caracterização da superfície de materiais, cada uma com suas especificidades, limitações e fornecendo informações diferentes. E este livro não esgota todas as técnicas disponíveis para caracterização de superfícies, nem cobre todas as aplicações possíveis das técnicas discutidas, fora o desenvolvimento significativo que algumas destas técnicas teve da edição do livro até os dias de hoje! Além disso, a sofisticação das técnicas atuais faz com que o conhecimento aprofundado de uma dada técnica experimental exige um longo treinamento e vasto conhecimento não apenas de ciência de materiais, mas também de física, química, eletrônica, etc. Por outro lado, este mesmo desenvolvimento tecnológico traz novos problemas de engenharia, que os engenheiros em formação hoje devem ser capazes de resolver no futuro. E a resolução de problemas complexos passa muitas vezes pelo emprego de técnicas igualmente sofisticadas.

O desenvolvimento do ensino de engenharia se faz através do entendimento de conceitos teóricos visando sua utilização para a resolução de problemas práticos. Nos cursos de engenharia, em geral, classificam-se as disciplinas como disciplinas teóricas ou práticas,

geralmente realizadas em laboratórios. Nesses laboratórios, algumas experiências são trabalhadas visando desenvolver a capacidade do aluno de aplicar os conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas com o intuito de ampliar sua percepção da realidade, sua compreensão dos fenômenos físicos sobre os quais irá atuar ao longo de sua carreira profissional, além de desenvolver as habilidades de trabalhar em equipe para a solução de algum problema, muitas vezes pré-definido pelo professor. Todas as engenharias, e em particular a engenharia física não podem prescindir de laboratórios para a formação de um bom profissional. Mas temos algo a mais, quando falamos de técnicas de caracterização de materiais, por exemplo. Não se trata apenas de ilustrar conceitos e fixar conteúdo. Trata-se de ensinar uma ferramenta importante para a futura atuação profissional do aluno. Uma ferramenta sofisticada, muitas vezes de acesso limitado, e cara.

Este cenário coloca para as instituições de ensino superior em engenharia uma série de desafios. Que técnicas ensinar aos nossos alunos? Focar algumas técnicas e discutí-las com profundidade ou dar um panorama geral das técnicas existentes, mesmo ao custo de não detalhar nenhuma delas? E, principalmente, como estruturar um curso de graduação para 40 alunos, onde se ensinaria técnicas cujos equipamentos custam centenas de milhares de dólares cada?

O presente trabalho busca apresentar uma proposta de resposta a estas questões. Nele reportamos nossa experiência atual na implementação de duas disciplinas de graduação, Métodos de Caracterização 1 e 2, da grade da Engenharia Física da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Nossa proposta foca na discussão “teórica” das técnicas, juntamente com os resultados obtidos do uso da técnica em estudo, assim como as possíveis aplicações da técnica. As dificuldades associadas a esta estratégia, assim como suas virtudes serão apresentados e discutidos.

## **2. O PERFIL DO CURSO E DO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA FÍSICA**

Antes de discutirmos o problema específico do ensino de técnicas experimentais, é importante fazermos uma breve digressão sobre nossa motivação para ensinar tais técnicas aos alunos de graduação em Engenharia Física. Isso, e as condições da nossa instituição, vão definir as condições de contorno a serem satisfeitas na implementação das disciplinas em questão.

A proposta da Engenharia Física é formar um profissional “*multiespecialista*”, com forte base em ciências básicas (física, química, matemática), assim como uma formação generalista em diferentes áreas de contato entre a física e as engenharias como, para citar poucos exemplos, os campos da ótica e da acústica. O profissional assim formado deve ser versátil, ágil na aquisição de novos conhecimentos e com facilidade de trânsito em diferentes áreas. O curso é estruturado com uma grande quantidade de disciplinas optativas/eletivas, de tal forma que o aluno tenha a opção de estruturar parte da sua formação de acordo com seus interesses e sua visão do mercado de trabalho.

Dentre as áreas de concentração disponíveis aos nossos alunos, uma das principais é na área de ciências de materiais e, assim, as disciplinas de Métodos de Caracterização de Materiais são de grande importância na formação dos nossos alunos. O caráter generalista do Engenheiro Físico demanda um conhecimento abrangente das técnicas experimentais de caracterização de materiais. Os profissionais que formamos trabalham em empresas das mais diversas áreas, de tal forma que é muito difícil definir quais técnicas seriam mais úteis.

Outra característica específica do perfil do engenheiro que pretendemos formar é que ele pode ser não apenas um usuário da técnica, mas seria um bom candidato a ser *desenvolvedor de novas técnicas*. Assim, apenas conhecer a técnica e saber interpretar os resultados por ela fornecidos é apenas parte do conhecimento desejado. Conhecer como funciona a técnica

também é importante, inclusive para entender melhor suas potencialidades e limitações. Aqui entra um outro aspecto interessante da discussão destas técnicas experimentais: elas constituem em excelente *playground* para ilustrar e integrar conceitos básicos aprendidos em diferentes disciplinas teóricas da física. Este curso abre a possibilidade de mostrar ao aluno aplicações práticas e reais de diversos fenômenos que vão da mecânica quântica, à mecânica estatística, ao eletromagnetismo, eletrônica, conceitos de química, ciência de materiais, física do estado sólido, etc. De fato, ainda que esta não tenha sido nossa idéia inicial, percebemos que tais disciplinas são excelentes integradoras do conteúdo curricular, contextualizando muito bem diversos fenômenos de interesse. É até mesmo possível substituir e/ou complementar um curso teórico de física moderna por uma disciplina como a proposta aqui. Voltaremos a este ponto em nossas considerações finais.

Mais ainda, é importante inculcar no aluno a idéia de que resolver um problema começa por fazer as perguntas corretas e, para cada pergunta, há uma técnica mais apropriada. Os problemas reais não são enunciados da mesma forma que os exemplos acadêmicos são apresentados. Usando uma discussão apresentada por DIAMOND (2005) para ilustrar este ponto, as questões do mundo real podem vir da forma “com quem os nativos de Fiji mantinham rotas de comércio em 3000 AC?”, enquanto o problema acadêmico seria “Dado um certo mineral, determine sua composição química”. A ligação entre ambas as perguntas está em saber que, a partir da composição de uma rocha é possível dizer de que pedreira ela foi extraída e, assim, estabelecer a rota comercial, do lugar onde uma dada ferramenta de pedra foi fabricada, até o ponto onde ela foi descoberta. Portanto, conhecer uma técnica transcende o simples conhecimento técnico da interpretação básica dos resultados por ela fornecidos, mas passa por saber também exemplos de como as informações por ela fornecidas podem ser utilizadas na prática, nos mais diversos casos. Este é, na verdade, o elemento mais difícil de ser estruturado em uma disciplina. O “dilema dos métodos de caracterização”, tal como exposto acima, foi expressa com muita propriedade, em outro contexto, por um autor anônimo, citado por BERNSTEIN (1998) em seu livro *Against the Gods*:

*“A informação que se tem não é a informação que se quer.  
A informação que se quer não é a informação que se precisa.  
A informação que se precisa não é a informação que se pode obter.  
A informação que se pode obter custa mais do que se quer pagar.”*

### **3. A PROPOSTA PARA A DISCIPLINA DE MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS**

Do que foi exposto até aqui, concluímos que, pensando no perfil do profissional que queremos formar, as disciplinas de Métodos de Caracterização de Materiais para os alunos da Engenharia Física da UFSCar devem satisfazer as seguintes condições:

1. Apresentar de uma forma abrangente as diversas técnicas experimentais existentes e que podem fornecer informações importantes sobre diversas classes de materiais.
2. Discutir com alguma profundidade os princípios básicos de funcionamento das técnicas, assim como a instrumentação associada.
3. Analisar os resultados fornecidos pela técnica, saber interpretá-los corretamente e conhecer os principais tipos de artefatos e limitações associados aos resultados em questão.

4. Ilustrar a utilização da técnica em problemas concretos e, na medida do possível, escolhendo exemplos onde a conclusão final extraída dos resultados não se limite a uma leitura direta dos resultados obtidos pela técnica.

Observem que não estão indicados acima o conhecimento da operação dos equipamentos atualmente disponíveis e a realização dos experimentos em si. A razão disso pode ser sumarizada em alguns pontos. O primeiro é que saber operar um dado modelo de equipamento não necessariamente o capacita para operar todos os modelos de equipamentos de uma dada técnica, ainda que os princípios fundamentais sejam os mesmos. O segundo ponto é que muitos desses equipamentos são muito sofisticados, sua operação é complexa e exige razoável treinamento; optar por treinar o aluno para fazer com propriedade uma dada medida implicaria necessariamente em deixar de lado discussões mais amplas sobre um maior número de técnicas. Finalmente, exatamente pela sofisticação das técnicas, esses equipamentos são em geral operados por técnicos e assim saber detalhes da operação do equipamento acaba por se revelar pouco útil no sentido que provavelmente haverá um técnico que vai efetivamente fazer a medida para você caso você precise utilizar esta técnica em algum momento. É importante saber como escolher a técnica apropriada e ter conhecimento suficiente para instruir o técnico sobre a medida desejada. De fato, laboratórios especializados em algumas dessas técnicas avançadas tem surgido, no mundo e também no Brasil, como prestadoras de serviço às empresas. O engenheiro então precisa conhecer minimamente as técnicas existentes que possam resolver seu problema antes de contratar um ensaio ou uma consultoria de um laboratório especializado, e também ter conhecimento suficiente para avaliar criticamente o resultado fornecido por este laboratório. Novamente, saber operar os equipamentos não é um requisito indispensável.

Isso nos leva a questão da conveniência ou não de se ter práticas experimentais nessas disciplinas. Não há dúvidas de que a realização concreta de qualquer atividade colabora muito para a fixação dos conceitos e a verificação empírica daquilo que foi estudado em sala. Entretanto, vejamos, por exemplo, o caso de medidas de difração de raios-X em nossa instituição: suponhamos que ao aluno é dado um certo material na forma de pó e pede-se que ele identifique o composto. O aluno vai então até o técnico, que coloca o pó num porta-amostras específico, insere o porta-amostra no difratômetro, executa no computador uma rotina automática pré-programada que fornece a medida desejada. Esse arquivo então é comparado, ainda no computador do técnico, com um banco de dados cristalográficos e o composto é identificado. Vejam que o aluno, na verdade, pouco fez de prático. Os equipamentos atuais são essencialmente automatizados, e o pouco que o operador precisa fazer é, em geral, realizado por um técnico. Não poderíamos, por exemplo, substituir este “experimento”, por um filme apresentado em sala de aula? Há uma grande quantidade de material deste tipo disponível gratuitamente, seja nos sites dos fabricantes de equipamentos, ou em material de divulgação e treinamento destas mesmas empresas, seja no *YouTube*, sites de universidades, etc. Isso evita a necessidade de se ter o equipamento, que é caro; disponibilizá-lo para que, digamos, 10 grupos de 3 alunos cada façam suas experiências e análises, o que implica em gastos com a operação do equipamento, tempo do técnico, material de consumo, etc. Desta forma, mesmo centros emergentes, instituições com pouca tradição em pesquisa científica ou faculdades isoladas poderiam fornecer um curso sobre técnicas sofisticadas.

Portanto, nossa proposta é a criação de disciplinas que discutam “teoricamente” um vasto leque de técnicas de caracterização de materiais, focando nos seus princípios básicos de funcionamento, instrumentação e análise de dados reais obtidos previamente. Além disso, busca-se ilustrar a aplicação da técnica em problemas práticos os mais diversos, para estimular o aluno a usar a técnica de uma forma criativa, sem rotulá-la como específica de

uma dada área. Por exemplo, ao discutir Espectroscopia Atômica, pode-se ilustrar a aula com aplicações tão distintas quanto em componentes eletrônicos, área biomédica, agricultura, alimentos, forense, geologia, alimentos, farmacêutica, etc.

#### **4. IMPLEMENTAÇÃO DAS DISCIPLINAS DE MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS NA UFSCar**

No curso de Engenharia Física da UFSCar, temos implementado a proposta discutida acima em duas disciplinas: Métodos de Caracterização 1 e 2 (que chamaremos de agora em diante de MC1 e MC2, respectivamente). A escolha das técnicas a serem discutidas em cada disciplina é um tanto arbitrária e mantemos a emenda do curso bastante flexível. Isso é importante para adequar a disciplinas às demandas que possam surgir ao longo do tempo em termos da formação dos nossos alunos, quanto a possíveis limitações do professor, por exemplo. Em linhas gerais, concentramos na MC1 técnicas baseadas em difração, complementadas por microscopias diversas e análises térmicas. Assim, a proposta atual da disciplina contempla as técnicas:

- Difração de Raios-X
- Difração de nêutrons
- Microscopia ótica
- Microscopia eletrônica de varredura
- Microscopia eletrônica de transmissão
- Microscopias por sonda (AFM, STM, MFM, etc)
- Análises térmicas (dilatometria, calorimetria diferencial de varredura (DSC), análise térmica diferencial (DTA), análise termogravimétrica (TGA))

Já a disciplina MC2, explora técnicas espectroscópicas na sua maioria. Como exemplo, são usualmente abordadas as técnicas:

- Espectroscopias atômicas no visível/UV
- Espectroscopias moleculares no visível/UV
- Espectroscopia no Infravermelho
- Espectroscopia Raman
- Ressonância Magnética Nuclear (RMN)
- Espectroscopias de raios-X (EDX, WDX, EXAFS, XANES)
- Espectroscopia de fotoelétron (XPS)
- Espectroscopia Auger
- Espectroscopia de massa

Como já foi discutido anteriormente, a abrangência dessas disciplinas só é possível com uma criteriosa escolha do que discutir sobre cada técnica. É inegável que cada uma dessas técnicas mereceria um semestre inteiro de estudo e ainda assim não seria esgotada. Mas nosso objetivo não é formar especialistas em nenhuma dessas técnicas. Nem teríamos em nosso corpo docente, professores especialistas em todas estas técnicas para apresentá-las em profundidade, nem teríamos todos estes equipamentos disponíveis para a realização de práticas. Entretanto, é sim possível apresentar os aspectos fundamentais dessas técnicas em duas disciplinas semestrais, com os recursos disponíveis em nossa instituição.

Os critérios de avaliação dessas disciplinas também não podem seguir os procedimentos usuais em geral. Muitas vezes uma discussão mais “profissional” dos

resultados da técnica envolvem bancos de dados ou softwares especializados nem sempre disponíveis aos alunos. Os problemas mais interessantes, além disso, envolvem conhecimentos que transcendem o escopo destas disciplinas. Portanto, temos adotado uma avaliação por projetos nestas disciplinas, em geral acompanhados de seminários. Em geral pede-se que os alunos busquem um aprofundamento maior em algum ponto importante de uma das técnicas apresentadas e que não pôde ser apresentado em sala de aula por limitações de tempo, ou que discutam novos exemplos de aplicações da técnica, etc. Também buscamos sempre que possível confrontar os alunos com dados reais fornecidos pelas técnicas estudadas, solicitando que eles interpretem estes resultados, e entreguem um relatório desta investigação. Finalmente, também solicitamos listas de exercícios e/ou seminários de alguns aspectos teóricos relacionados às técnicas, como aspectos fundamentais de cristalografia ou da teoria da formação de imagem de Abbé, por exemplo.

## **5. COMO ADAPTAR ESTAS IDÉIAS A OUTRAS REALIDADES?**

Neste trabalho, buscamos deixar claro que as opções feitas foram baseadas nas particularidades do curso de Engenharia Física da UFSCar. O que não significa que tais idéias não possam ser adaptadas a diferentes realidades, em outras instituições e, principalmente, para outros cursos de engenharia. Nesta seção, vamos fazer um exercício de como adaptar estas idéias, em linhas gerais. Para tanto, usaremos algumas idéias que podem ser incorretas ou inapropriadas para certas instituições de ensino ou diferentes engenharias, mas que esperamos que sejam úteis para que cada um avalie o interesse de se propor tal disciplina dentro da sua própria realidade. Mas gostaríamos de destacar mais uma vez que a montagem de uma disciplina deve ser feita com critério de acordo com as características e objetos concretos da instituição e do curso em questão.

### **5.1 Caso 1: uso como disciplina integradora**

O ensino de técnicas experimentais avançadas em geral requer a combinação de conhecimento de diversas áreas diferentes, como eletrônica, física, química, ciência de materiais, etc. Há um grande conjunto de conhecimentos que se perdem por ficarem muito limitados a uma exposição excessivamente teórica e distante da realidade. Alguns tópicos de física moderna são bons exemplos onde isso ocorre. Ao final das disciplinas de física básica os alunos devem conhecer, por exemplo, a existência e a natureza dos raios-X, mas em geral não sabem como produzir e medir raios-X, ou empregá-lo na detecção de falhas em soldas na tubulação de um edifício ou planta industrial, ou na determinação de estruturas cristalinas, ou em sistemas médicos, entre outras possíveis aplicações. Para discutir isso, é preciso falar em produção de raios-X, interação radiação-matéria (inclusive incluindo organismos vivos), eletrônica, sistemas mecânicos, fora conhecimentos específicos dos exemplos a serem discutidos, que podem envolver uma enorme variedade de tópicos. Recuperar certos conhecimentos de disciplinas anteriores, agrupá-los de forma consistente e aplicada a problemas reais é extremamente eficiente na fixação de conceitos pelos alunos.

### **5.2 Caso 2: uso para complementação do ensino de física.**

Uma questão recorrente em todas as discussões sobre ensino de engenharia é como lidar com as disciplinas de física básica e também em como agregar conhecimentos um pouco mais sofisticados de física necessários para a boa formação de engenheiros realmente capazes de inovar na sua própria área de especialidade. Está claro, que os alunos não se sentem motivados com o ensino atualmente oferecido, e tem havido certas propostas em se reduzir

cada vez mais o ensino de física nas engenharias. Nossa opinião é exatamente a contrária, acreditamos que os novos engenheiros precisam saber cada vez mais física para poderem atuar com propriedade. Assim, seria necessário na verdade adicionar novas disciplinas de física nos currículos, mas esse ensino não pode ficar limitado a enumerar fenômenos e listar equações. E como fazer isso em cursos que já tem grades curriculares muito carregadas? Nesse sentido, além de atuar como uma disciplina integradora como apontado no item anterior, uma disciplina de métodos experimentais sofisticados pode ser usada para introduzir conceitos importantes de física, mas de uma forma totalmente contextualizada e aplicada, e não de uma forma acadêmica, que dê ao aluno uma percepção melhor de sua importância em termos não apenas científicos mas também tecnológicos.

### **5.3 Caso 3: uso para discussão crítica da escolha dos ensaios necessários para resolver problemas**

Muitas instituições já possuem uma boa estrutura de técnicas modernas que permitem ao aluno realizar bom número de ensaios diversos. Mas este conhecimento permanece isolado em diferentes disciplinas, e falta uma análise crítica do conjunto das técnicas estudadas. Uma disciplina mais genérica permitiria trazer para a sala de aula tópicos estudados nessas diferentes disciplinas num contexto mais amplo. Poderia-se então discutir a conveniência de usar uma técnica ou outra, quais ensaios seriam necessários para resolver um determinado problema, seus custos, dificuldades, limitações, preparações, etc. Ensaios realizados no contexto de outras disciplinas poderiam ser revisitados e analisados de uma perspectiva mais crítica. É interessante notar aqui que disciplinas sobre ensaios destrutivos ou não destrutivos muitas vezes padecem do mesmo problema das disciplinas de física básica: o aluno aprende a fazer o ensaio e a interpretar o resultado do ensaio, mas não sabe quando ele precisaria fazer este ensaio em primeiro lugar. Saber fazer as perguntas apropriadas é o primeiro passo para resolver qualquer problema, e isso começa muito antes de sequer se pisar no laboratório. Se o aluno não souber relacionar um problema concreto com hipóteses sobre este problema, e como testar estas hipóteses até achar uma solução para o problema, não adianta ele saber fazer com maestria 30 diferentes tipos de ensaios.

### **5.4 Caso 4: uso para complementação curricular**

No item anterior discutimos o caso de instituições que tenham uma boa estrutura experimental e possam oferecer disciplinas práticas onde os alunos podem efetivamente fazer os ensaios. E no caso de uma instituição que tenha deficiências nessa infra-estrutura? Simplesmente não ensinamos nada aos alunos sobre técnicas que não dispomos em nossa instituição? Aqui está um dos casos em que a proposta que apresentamos se torna mais útil. A opção nesse caso é não fazer nada ou oferecer uma disciplina que discuta as técnicas de uma forma teórica. Assim, se torna possível complementar a formação do aluno de modo a cobrir conteúdos que de outra forma não poderiam ser dados, deixando uma lacuna na formação do aluno.

### **5.5 Caso 5: adaptação a diferentes cursos de engenharia**

Os exemplos aqui apresentados sempre giram em torno de técnicas de caracterização de materiais, já que esta é a área em que temos atuado e nossa disciplina está estruturada. Entretanto, as idéias gerais do trabalho podem certamente ser estendidas a outras áreas de engenharia. O caminho para se verificar a viabilidade da aplicação da nossa proposta para outras áreas passa inicialmente pela determinação de quais técnicas experimentais, quais

ensaios, sejam destrutivos ou não-destrutivos, são importantes para a formação do engenheiro da especialidade em questão. Uma vez tendo uma listagem destas técnicas, passamos a análise do funcionamento destas técnicas, analisando como ela funciona eventualmente até o nível dos seus componentes. Assim determinam-se os princípios básicos necessários para entender a técnica. Se os alunos já viram estes princípios antes, temos a possibilidade de usar a disciplina para integrar conhecimentos dispersos em outras disciplinas; se não viram esses princípios, podemos usar a disciplina para complementar a formação básica do aluno. Voltando ao nível do funcionamento do equipamento experimental, podemos discutir as características básicas da técnica, que informações ela fornece, seus pontos fortes, suas limitações, em que casos ela pode ser utilizada. A parte final passa por apresentar casos concretos de problemas reais que foram resolvidos utilizando a(s) técnica(s) estudada(s). Mostrar como chegar à informação desejada a partir dos resultados fornecidos pelo equipamento. Analisar criticamente este resultado, buscando artefatos, falhas na realização do ensaio, etc.

Vejam que esse procedimento pode ser aplicado a qualquer técnica, de qualquer nível de sofisticação, em qualquer área. No entanto, o método proposto é mais atraente quando tratamos com técnicas sofisticadas, caras e de acesso restrito, de tal forma que problemas indicados no início deste artigo possam ser resolvidos a contento. Mas mesmo uma medida de comprimento de precisão, ou um ensaio de dilatométrica, fornece bom material para diversas discussões.

Apenas como exemplo final, vale citar que sistemas de medidas de vibrações em estruturas complexas como a lataria de um carro, usam interferômetros de Michelson, um sistema que em geral o aluno só conhece da discussão sobre a velocidade de propagação da luz e a não existência do éter. Assim, um sistema que poderíamos associar a engenharia mecânica usa elementos que estudamos em física moderna. Fora a possibilidade de usar o sistema para discutir lasers, interferência de ondas, modos normais de vibração, fotodetectores, etc. Mais ainda, o mesmo interferômetro está no cerne da espectroscopia no infra-vermelho por transformada de Fourier, tão utilizada em áreas da química e física. E daqui podemos explorar dezenas de outros temas. E assim podemos navegar de um assunto a outro e percebemos como coisas tão diferentes podem estar conectadas. E tudo remete ao conteúdo de Física Ondulatória

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste trabalho buscamos apresentar uma alternativa para o ensino de técnicas experimentais sofisticadas que pode ser, a princípio, adotada por qualquer instituição, em qualquer curso de graduação em ciências ou engenharia. O sucesso da estratégia passa, entretanto, por uma análise cuidadosa do perfil do profissional a ser formado e dos recursos materiais e de pessoal próprios de cada instituição. A escolha das técnicas a serem discutidas, dos exemplos a serem empregados e das atividades sugeridas aos estudantes passa necessariamente por esta análise. Na nossa opinião é importante também manter estas escolhas com uma certa flexibilidade, para que possam ser revistas e adequadas com o *feedback* obtido da oferta destas disciplinas e/ou as demandas específicas da área de formação/atuação dos estudantes/futuros profissionais. Mas não temos dúvidas que tal estratégia pode ser adaptada a outras instituições e/ou cursos de engenharia, desde que as especificidades locais sejam devidamente equacionadas. Também é possível aplicar esta estratégia para outras disciplinas experimentais.

Entretanto, é importante enfatizar que o trabalho prático é fundamental na formação do profissional e na fixação dos conteúdos estudados. Sempre que for possível estabelecer uma prática laboratorial, é interessante que seja oferecida ao aluno a possibilidade de fazer seus

próprios experimentos e tirar suas próprias conclusões. Nossa proposta deve ser vista no sentido a equacionar o problema de práticas experimentais demasiadamente complexas ou inacessíveis, de tal forma que o aluno não tem realmente a possibilidade de trabalhar por conta própria.

Nossa experiência já de dois anos desde a oferta inicial destas disciplinas indica que a estratégia defendida neste artigo tem se mostrado bem sucedida até aqui. O número de alunos inscritos na disciplina MC2, que é optativa na nossa grade curricular, tem aumentado a cada vez que a disciplina é oferecida. Aos alunos têm sido perguntado ao final das disciplinas suas opiniões e sugestões sobre elas. Em resumo, os alunos aprovam a disciplina, consideram as discussões apresentadas interessantes, inclusive por fazer correlações com vários assuntos para os quais eles não tinham nenhuma idéia de aplicação prática. Muitos efeitos importantes da física são bem conhecidos, mas permanece isolado, solto na cabeça do aluno, no máximo como uma ilustração de uma certa teoria. Mostrar que tal efeito pode ser usado para desenvolver um transdutor, por exemplo, é algo que fascina os alunos. Há, entretanto, algumas queixas. A principal delas é a falta de trabalhos práticos. Alguns alunos consideram certas partes do curso muito abstratas e vagas, e nem sempre tem confiança que é capaz de interpretar corretamente os dados da técnica estudada. A avaliação geral, ainda assim, é francamente positiva. A solução para estas críticas pode passar por uma maior ênfase na análise de resultados práticos, de preferência na forma de estudos de caso.

Em conclusão, é possível e, em alguns casos até desejável, desenvolver um tratamento teórico de técnicas experimentais. Esta proposta é particularmente interessante quando as técnicas experimentais em questão são muito sofisticadas para que os alunos as operem de forma autônoma, ou cujos preços de aquisição e manutenção sejam proibitivamente altos para a instituição.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BRUNDLE, C. R.; EVANS, JR, C. A.; WILSON, S. **Encyclopedia of Materials Characterization**. Stoncham, EUA, 1992.

DIAMOND, J., **Colapso: Como as sociedades escolhem o fracasso ou o sucesso**. São Paulo, 2005.

BERNSTEIN, P. L., **Against the Gods: The remarkable story of risk**. New York, EUA, 1998.

## **HOW TEACH EXPERIMENTAL TECHNICAL WITHOUT EXPERIMENTS?**

**Abstract:** *The development of numerous experimental techniques increasingly sophisticated brings new tools very useful for engineering. At the same time, this sophistication and the high cost of commercial equipment represent a major obstacle for training on a large scale, the under graduation students in engineering in those techniques. This paper presents a proposal for teaching sophisticated experimental techniques within a discipline of under graduation, which is being developed in under graduation Physics Engineering at the Universidade Federal de São Carlos. The proposed methodology focuses on the discussion of the basic principles of different sophisticated experimental techniques as well as in the*

*training of students on interpretation the results that the technique provides, without, however, effectively realize the measurement.*

***Key-words:*** *experimental discipline, simulation, integrative discipline*