

ENSINO ORIENTADO AO PROJETO: UMA EXPERIÊNCIA PARA O ENSINO DE ELETRÔNICA NAS DISCIPLINAS DE LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA E ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

P.F. Donoso-Garcia, P.C. Cortizo, L.M.F. Morais

Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia Eletrônica (DELT) – Grupo de Eletrônica de Potência CEP 31270-901, Belo Horizonte – MG.
Brasil

e-mail: pedro@cpdee.ufmg.br, porfirio@cpdee.ufmg.br, lenin@cpdee.ufmg.br

Resumo - Este artigo descreve a experiência no ensino de Eletrônica nas disciplinas de Laboratório de Eletrônica e de Eletrônica de Potência no curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Pretende-se mostrar como têm sido desenvolvidas estas disciplinas, considerando-se uma abordagem de proposta de trabalhos práticos, realizados por grupos de alunos, motivando a adquirir maiores e sólidos conhecimentos através da superação de desafios, ao invés da simples repetição de experimentos com parâmetros pré-determinados. Os resultados obtidos são: uma maior motivação e participação nas aulas, pesquisa dos conteúdos dos trabalhos em diversas fontes além dos livros didáticos, interação dos alunos pela procura de soluções.

Palavras-Chave – Ensino orientado ao projeto, Ensino de disciplina de laboratório.

PROJECT ORIENTED EDUCATION: AN EXPERIENCE FOR THE TEACHING OF ELECTRONICS

Abstract – This paper describes a experience in teaching Electronics as part of the Electronics Laboratory and Power Electronics Laboratory undergraduate courses in Electrical Engineering at UFMG. It is shown how these subjects have been pedagogically developed in the last years, considering an approach based on practical problem solving, which are proposed by groups of students motivated to acquire deeper and solid knowledge for overcoming challenges. This is quite different from the usual practice of simple repetition of predetermined experiments. The obtained results are students with more encouraged for class-participating. Moreover, the students become more compelled to search for useful information in diverse sources other than didactic books, and to enhance the interaction among them in order to pursue solutions to the posed challenges.

Keywords - PBL, Project oriented education, Challenge-based projects, Laboratory courses teaching.

Artigo submetido em 15/02/2008. Revisões em 12/03/2008 e 22/04/2008.
Aceito por recomendação dos editores da Seção Especial W. Suemitsu e J. A. Pomilio

I. INTRODUÇÃO

O que se destaca no presente trabalho sobre o Aprendizado pelo Projeto ou pelo Projeto Desafio é a proposta de contínua implementação de uma Prática de Ensino galgada na realização de Projetos de Engenharia Desafiadores.

Essa prática de ensino foi originalmente proposta, há mais de 30 anos, na Escola de Medicina da MacMaster University, no Canadá, e recebeu o nome de metodologia Problem Based Learning – PBL [1]. Segundo essa metodologia, os alunos de medicina aprendiam através da busca por respostas suscitadas por casos clínicos simulados, preparados pelos professores.

O elemento-chave desta metodologia de ensino é a solução de problemas como força motriz para apreensão de conceitos e integração de conhecimentos. No âmbito da Engenharia, tal abordagem guarda estreita relação com o próprio *modus operandis* encontrado em diversas indústrias, no desenvolvimento de novos produtos tecnológicos. Isto é, a partir de um problema real, da descrição do todo, da identificação dos requisitos mínimos determinados pelo cliente final, inicia-se o desdobramento de um projeto que necessita, naturalmente, de profundo entendimento de conceitos e técnicas para a sua realização.

De fato, em [2], relata-se a importância que o aprendizado pelo projeto pode ter para o desenvolvimento tecnológico regional, pois pode também ser usado como forma de interação entre empresas e universidade, estreitando as relações entre essas esferas complementares.

Certamente tal iniciativa não é nova em cursos de Engenharia [2], [3], [4] e tem sido implementada e estudada na UFMG já há algum tempo [5]. Entretanto, conforme bem apresentado em [6], essa prática de ensino tem sido reavivada na atualidade em função de pelo menos dois pontos cruciais da modernidade: a explosão da informação; e a globalização política, social e econômica. Devido ao aumento exponencial de informação disponível, os métodos tradicionais de ensino mostram-se ineficientes, pois conduzem ao aumento também exponencial dos currículos e do tempo de permanência em sala de aula. Já a globalização aponta para um caminho futuro em que não há espaço para “super-indivíduos”, capazes de resolver todos os problemas sem qualquer ajuda, mas antes sinaliza para a necessidade constante do trabalho em grupo e da valorização das competências individuais. As principais características da metodologia PBL, aqui chamada de aprendizado pelo projeto, em contraposição às

características de metodologias convencionais de ensino, podem ser resumidas conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1
Relação entre as Metodologias convencionais e o Aprendizado pelo Projeto.

Metodologias Convencionais	Aprendizado pelo Projeto
Conhecimento como prescrição	Conhecimento como experiência
Centro é o professor/especialista	O Centro é o aluno/estudante
Linear e racional	Coerente e relevante
Organizada das partes constituintes para o todo	Organizada do todo para as partes constituintes
Ensinar é transmitir	Ensinar é facilitar
Aprender é receber	Aprender é construir
Ambiente estruturado	Ambiente flexível

OBS: Adaptada de: www.samford.edu/ctls/problem_based_learning.html

O aprendizado pelo projeto conduz naturalmente a construção de um ensino voltado para questões preponderantes no cenário tecnológico e social do século 21. Em [6], representantes da Indústria de Semicondutores estabeleceram pontos norteadores na elaboração de projetos pedagógicos de cursos de Engenharia, na seguinte ordem:

- 1) Manter sólida participação de atividades de Laboratório na formação dos alunos;
- 2) Ensinar os fundamentos de Ciência e Matemática;
- 3) Encorajar os estudantes a aprenderem a se comunicar com seus pares;
- 4) Estabelecer que a criação de riqueza, através de projetos onde se considere o balanço financeiro do custo e do lucro, é um empreendimento nobre;
- 5) Enfatizar a ética profissional;
- 6) Instigar o amor pelo aprendizado em Engenharia;
- 7) Considerar as necessidades futuras da mesma maneira que se consideram as presentes;
- 8) Reconhecer a importância dos estágios profissionais;
- 9) Encorajar a exposição a conhecimentos multidisciplinares;
- 10) Valorizar e reconhecer o papel dos bons professores e orientadores.

É interessante notar a importância dada às atividades de Laboratório, citadas na lista acima.

Além disso, como citado em [7], uma possível hierarquia para objetivos educacionais pode ser estabelecida da seguinte forma:

- 1) Conhecimento: capacidade de repetição de informação memorizada;
- 2) Compreensão: capacidade de explicar conceitos sem usar termos técnicos estritos;
- 3) Aplicação: capacidade de usar o conhecimento adquirido para resolver problemas simples e diretos;
- 4) Análise: capacidade para solucionar problemas complexos, usando modelos e simulações, e resolvendo problemas com equipamentos e sistemas;
- 5) Síntese: capacidade de projetar experimentos, dispositivos, processos e produtos;
- 6) Avaliação: capacidade de escolher entre diversas alternativas e justificar a escolha, aperfeiçoar

processos, fazer julgamentos sobre impacto ambiental de decisões de Engenharia, resolver dilemas éticos.

Salienta-se que os itens 4, 5 e 6 acima, considerados objetivos de alto nível [8], são contemplados quando se estabelece uma prática de ensino fundamentada nos seguintes princípios:

- Atividades de laboratório como elementos-chave na sedimentação e validação de conhecimentos adquiridos;
- Concepção de soluções de Engenharia a partir, apenas, de descrições de situações-problema e requisitos mínimos a serem atendidos, deixando espaço para o estímulo a criatividade;
- Trabalho em equipe como forma de aprimoramento das competências de interação social e das habilidades de gerenciamento de recursos humanos;
- Implementação da atividade prática segundo um cronograma rígido e metas pré-estabelecidas, simulando ambiente profissional real;
- Valorização dos projetos executados com menor custo, e em menor tempo;
- Presença constante de um professor orientador para bem guiar as equipes de trabalho através de seus esforços de resolução do problema, mostrando-lhes caminhos alternativos, sugerindo inter-relações entre conteúdos diferentes, dirimindo questões conflitantes de projeto que porventura tenham paralisado as atividades.

Tais características são muito dificilmente encontradas na implementação de aulas de laboratório que se valem apenas dos guias de aulas práticas, contendo experimentos repetitivos, e muitas vezes desconexos da realidade da Engenharia. Para a realização de aulas práticas onde se coíbiu a criatividade, realmente não se faz necessária a presença de um professor com grande conhecimento e experiência sobre o assunto. Este professor foi necessário somente no momento da elaboração da apostila de experimentos, que serão mecanicamente reproduzidos por alunos entediados e desanimados.

Entretanto, ao se propor uma situação-problema para os estudantes, está sendo feito a eles um irresistível convite para uma participação ativa no processo de aprendizado. Processo esse em que será aproveitado, ao máximo, o que um professor capaz e experiente tem a oferecer-lhes. Neste cenário, conforme temos observado na prática, os resultados têm sido muito mais gratificantes, tanto para alunos, quanto para professores [9].

Cabe aqui salientar que o aprendizado pelo projeto, quando bem implementado, seguramente implica em aumento de carga de trabalho para os professores envolvidos, tendo em vista a quantidade de projetos executados em paralelo, as diferentes necessidades de diferentes grupos de alunos, e os problemas práticos não previstos decorrentes da natureza intrínseca do procedimento. Este é o “custo” de uma melhoria substancial na qualidade da formação de nossos alunos.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção II são descritas algumas experiências recentes nas disciplinas de Laboratório de Eletrônica I e de Laboratório de Eletrônica de Potência na Seção III, utilizando a abordagem de aprendizado baseada em projeto. Na Seção IV é

apresentado o impacto didático e finalmente na Seção V são apresentadas as conclusões.

II. DESCRIÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS NA DISCIPLINA DE LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA I

A proposta desta seção é descrever a experiência de ensino na disciplina de Laboratório de Eletrônica I para os cursos de graduação em Engenharia Elétrica da UFMG:

Esta disciplina tem sido ministrada com a metodologia do aprendizado baseado em projetos desde o primeiro semestre de 2002, em pelo menos quatro turmas diferentes. A carga horária é de dois créditos, o que equivale a 30 horas semestrais. É uma disciplina obrigatória para o curso. O número de alunos por turma tem sido em média de 10 alunos. O pré-requisito para a disciplina é a disciplina teórica Eletrônica I. Vários são os professores que lecionam esta disciplina em um mesmo semestre, dado o grande número de turmas.

A idéia principal da disciplina de laboratório é a realização de trabalhos práticos feitos em grupo de três alunos, que atendam o programa proposto para a disciplina de Laboratório de Eletrônica I. Além disto, os alunos são estimulados a utilizar programas de simulação de circuitos e ferramentas CAD para projetos de placas de circuitos impressos, como parte fundamental do processo de desenvolvimento dos circuitos eletrônicos. A confecção da placa de circuito impresso é artesanal. Nesta placa são montados os circuitos eletrônicos projetados para os trabalhos de eletrônica.

A teoria tem importância bastante grande, já que os alunos podem constatar os conceitos vistos em aulas teóricas, na prática. Desta forma, a teoria não é desprezada, mas antes procura-se enfatizar que ela serve como subsídio para a realização de trabalhos práticos, e não apenas uma simples memorização de conceitos teóricos, sem relacionamento com a prática. Os alunos têm sido incentivados a serem participantes do ensino e não apenas receptores de informações prontas. Por outro lado, o professor torna-se um gestor de ensino, auxiliando e provendo suporte para o aprendizado dos alunos e não apenas repetindo conteúdo teórico extraído de livros.

De acordo com a grade curricular do curso de Engenharia Elétrica, no terceiro período, o aluno cursa a disciplina de Análise de Circuitos Elétricos I (obrigatória), onde estuda os teoremas necessários à análise de circuitos. No quarto período, o aluno cursa as disciplinas de Laboratório de Circuitos Elétricos I, Análise de Circuitos Elétricos II, Laboratório de Sistemas Digitais, entre outras. Neste período o aluno tem o primeiro contato com a área de Eletrônica no curso de graduação, através da disciplina Eletrônica I (teórica). No quinto período o aluno cursará as disciplinas (dentro da área de Eletrônica) de Eletrônica II e a de Laboratório de Eletrônica I, entre outras.

Entretanto, o aluno apresenta dificuldade natural em utilizar estas ferramentas que estão sendo adquiridas, neste período, na análise e projetos de circuitos eletrônicos. Por outro lado, o programa da disciplina de Eletrônica I é bastante amplo, abordando conceitos de física dos dispositivos do estado sólido, princípio de funcionamento

destes dispositivos eletrônicos, circuitos eletrônicos: análise, projeto, realização e aplicações, utilizando dispositivos semicondutores. Estes podem ser amplificadores operacionais, diodos, transistores bipolares (BJT) e transistores de efeito de campo (MOSFET).

Outro aspecto importante a ser considerado nas disciplinas de Eletrônica é o fato de que uma parcela dos alunos do curso de Engenharia Elétrica são técnicos de nível médio em eletrônica, oriundos de escolas como: Colégio Técnico da UFMG - COLTEC, Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET e Serviço Nacional de Aprendizado Industrial - SENAI, e que, conseqüentemente, já tiveram um contato significativo com Eletrônica. É necessário, portanto, dar um enfoque de forma que a disciplina de Eletrônica seja atrativa e estimulante, com a finalidade de que os alunos venham a se interessar pela área. Também é necessário abordar o tema de forma que ao aluno iniciante seja capaz de compreender novos conceitos, ao mesmo tempo em que se aproveita o potencial do aluno não iniciante, ou seja, com prévia experiência na área. É nesta disciplina que o aluno vai definir seu interesse pela área de eletrônica e os rumos de sua especialização profissional, incluídas no curso de Engenharia Elétrica: Microeletrônica, Eletrônica de Potência, Telecomunicações, Bioengenharia, Engenharia de Áudio e Sistemas de Energia Elétrica. Constatou-se que os alunos que hoje concentram sua formação na área de Eletrônica são aqueles com formação técnica anterior.

Os alunos egressos desta disciplina deverão ser capazes de cumprir todos os objetivos educacionais apontados na Seção A, para a área específica de projeto, concepção e análise de circuitos eletrônicos.

A. Objetivos da disciplina

Os objetivos das aulas de laboratório de Eletrônica são:

- Familiarizar o aluno com os equipamentos básicos (medição e geração de formas de onda) do laboratório de Eletrônica;
- Familiarizar o aluno com os principais dispositivos eletrônicos: diodos, transistores MOSFET e BJT, amplificadores operacionais, sensores ou transdutores.
- Estimular o processo de assimilação dos novos conceitos introduzidos na disciplina, como por exemplo: características lineares e não lineares dos amplificadores, conceitos de ganhos de tensão, corrente, potência; conceitos de impedância de entrada e de saída; conceitos de resposta em frequência, conceitos de realimentação, estabilidade e outros.
- Incentivar o aprendizado de fontes de alimentação: tensão e corrente; da arquitetura de uma fonte de tensão; dos retificadores: média onda e onda completa; dos filtros: R-C, L-C; do regulador a diodo zener; das fontes de tensão realimentada, do estágio de potência; dos circuitos de proteção; das fontes de corrente: Topologias.
- Familiarizar o aluno com as aplicações de diodos: nos circuitos de retificação de precisão (super-diodo); nos circuitos ceifadores, grampeadores, dobradores e multiplicadores de tensão; nos circuitos para as funções OR e AND analógicas.
- Familiarizar o aluno com os amplificadores utilizando transistores bipolares e MOSFET; Projetos e

caracterização destas configurações: ganho de tensão e de corrente, impedância de entrada (R_{in}), impedância de saída (R_{out}); Resposta em frequência: capacitores de acoplamento e de passagem; levantamento das características de um amplificador.

- Familiarizar o aluno com os amplificadores utilizando amplificadores operacionais: Tecnologia dos amplificadores operacionais: características, escolhas do Amp. Op.; características em grande sinal: tensão de saturação, *Slew-Rate*, resposta em frequência, *Voff set*, oscilações, ruídos, Rejeição em Modo Comum - *CMRR*; configurações básicas: inversor, diferencial, integrador, somador, não-inversor, buffer, diferença.

- Familiarizar o aluno com a aplicação dos amplificadores operacionais em: amplificador de instrumentação, medição de corrente e de tensão; no acoplamentos com sensores de temperatura, Resistor Dependente da Luz - *LDR*, outros sensores. Com circuitos comparadores: liga-desliga, histerese; gerador de formas de onda senoidal, quadrada, dente de serra, triangular: problemas e soluções na: simetria, variação de amplitude e de frequência; nos circuitos geradores de Modulação: por largura de pulso (PWM), por amplitude (AM), por frequência (FM), escada (idéia do *sample – hold*).

- Incentivar a utilização das ferramentas de trabalho pelo uso de programas de simulação de circuitos analógicos e digitais (PSPICE, ORCAD, etc.) e programas de CAD para a elaboração de circuitos impressos (EAGLE, PROTEL, etc.).

- Estimular a utilização da rede internet como meio de pesquisa de artigos nos diferentes "sites" na área de Engenharia Eletrônica, na obtenção da documentação ou catálogos de componentes eletrônicos, etc.

Dentre os itens de análise, os alunos são incentivados a terem conhecimentos sobre as vantagens e desvantagens das técnicas utilizadas, das ferramentas, dos métodos, dos componentes; bem como a facilidade da implementação que foram apresentados nos artigos e livros consultados.

B. Metodologia de Ensino para o Laboratório de Eletrônica I

A metodologia de ensino do Aprendizado Orientado ao Projeto baseia-se em aliar teoria e prática, apresentando conceitos teóricos, que são fundamentais, mas procurando exemplificá-los. A teoria foi extraída de livros-texto referência em Eletrônica [9] e de material contendo teoria e aspectos práticos pesquisado pelos alunos em revistas técnicas, artigos clássicos da área e material divulgado na Internet em endereços eletrônicos que apresentam artigos e esquemas de circuitos e artefatos eletrônicos. O conteúdo da disciplina Laboratório de Eletrônica I é dividido em três módulos:

- 1) Fontes de alimentação em tensão e em corrente - (duração de quatro semanas);
- 2) Amplificadores lineares, transistores - (duração de quatro semanas);
- 3) Amplificadores operacionais na implementação de circuitos lineares e não lineares - (duração de sete semanas);

Cada um destes módulos é desenvolvido da seguinte forma:

- Aulas expositivas dialogadas, onde são apresentados os conteúdos de cada módulo, revisando os conteúdos da disciplina Eletrônica I, com ênfase no que se considera essencial para o domínio do assunto e a realização dos projetos do módulo;

- Cada aluno realiza estudos sobre os temas ministrados, visando à elaboração dos projetos, incluindo simulações digitais dos circuitos para comprovar o funcionamento ou a qualidade do projeto a ser desenvolvido;

- O grupo elabora um roteiro das práticas, visando à realização de experimentação para a realização do projeto. O desenvolvimento dos módulos se dá conforme cronograma da disciplina.

Além do desenvolvimento dos módulos, são realizados dois projetos de circuitos eletrônicos, onde os alunos devem produzir (pesquisar, simular, montar e apresentar) montagens que sejam realmente úteis (equipamentos). Este projeto é especificado pelos professores e versa sobre um conjunto de circuitos eletrônicos, baseados na utilização de dispositivos eletrônicos e circuitos já estudados, sendo postos em prática todos os conhecimentos adquiridos no transcorrer dos módulos em questão.

C. Trabalhos de Laboratório

Os trabalhos têm por objetivo utilizar todos os conceitos estudados durante os três módulos, para a elaboração dos projetos eletrônicos. Desta forma, o primeiro projeto é a elaboração de uma fonte de alimentação e o segundo trabalho aborda projetos das várias áreas de conhecimento da Engenharia Elétrica onde os alunos realizam um determinado projeto.

O primeiro trabalho é a elaboração de uma fonte de alimentação, que é desenvolvida totalmente de forma discreta, isto é, sem utilizar circuitos integrados dedicados.

Para a realização de cada trabalho são colocadas algumas condições mínimas que o projeto deve atender:

- Tensão de alimentação regulada, podendo ser variável ou fixa, positiva e negativa;
- Proteção de sobrecorrente;
- Ondulação da tensão de saída (*Ripple*) inferior a 1%;
- Detalhamento do projeto térmico - cálculo dos dissipadores;
- Avaliação de custos para fabricação da fonte.

O segundo trabalho de Laboratório de Eletrônica é um projeto que cada grupo realiza dentro de vários temas ou linhas de trabalho que lhes são designadas pelo professor. Este projeto também é realizado sem utilizar circuitos integrados especializados. Como exemplo, mostramos algumas sugestões de projetos: termômetro eletrônico para uma aplicação específica (e.g. Banho-maria, chocadeira, etc.); medidor de capacitância/indutância; controle de nível (on-off) para um tanque; detector de metais; comando ON-OFF via rede de alimentação C.A.; equalizador gráfico ou paramétrico; amplificador classe A-B de 15W com pré-amplificador; controle remoto infravermelho para portão eletrônico de garagem; transmissor de FM; receptor FM; amplificador de instrumentação; outros projetos sugeridos pelo grupo com concordância do professor.

Os trabalhos relacionados mostram uma profunda preocupação em ensinar conceitos, mas sempre aliando o seu aprendizado com a prática. Desta forma, conseguimos uma maior participação e aproveitamento do aprendizado em eletrônica quando foram aliados aspectos técnicos com a metodologia e os interesses dos alunos.

D. Elaboração de relatórios

A elaboração de documentos e relatórios é uma preocupação constante no decorrer da disciplina. A documentação de um projeto é essencial para a existência do mesmo. Os alunos são incentivados a redigir a documentação dos seus trabalhos através de relatórios parciais, e de um relatório final quando do término do trabalho de laboratório.

Os relatórios parciais são relatos das atividades realizadas para a concepção do projeto solicitado. Nestes relatórios parciais os alunos apresentam memórias de cálculos dos circuitos projetados, simulação dos circuitos desenvolvidos, listas de componentes e justificativas da sua utilização. Estes relatórios são revisados e devolvidos aos alunos com as correções, críticas e sugestões para a realização do trabalho prático. Através destes relatórios o percurso dos trabalhos práticos é sempre monitorado e corrigido.

No relatório final, necessariamente contém os seguintes itens: introdução, objetivos, estado da arte, princípio de funcionamento do circuito proposto, cálculos do projeto, resultados de simulação, resultados experimentais, possíveis aplicações, relação de custo do projeto, conclusões, bibliografia. Os relatórios também são avaliados para compor a nota final do trabalho.

E. Metodologia de avaliação

A avaliação dos alunos é composta por argüições individuais, pela avaliação do trabalho em equipe, pela avaliação dos resultados apresentados no relatório final e através de prova oral final com defesa dos trabalhos elaborados durante a disciplina.

Procura-se sempre dar ênfase em estimular o raciocínio e a argumentação crítica pelos alunos. Os conceitos teóricos são cobrados de forma implícita. Os alunos precisam conhecê-los e entendê-los em profundidade para aplicá-los na realização dos projetos.

Para a avaliação do aluno na disciplina, distribui-se um total de 100 pontos, da seguinte forma: Trabalho 1 (40 pontos); Trabalho 2 (40 pontos) e Defesa Oral dos Trabalhos (20 pontos).

Em cada trabalho são avaliados: conhecimentos do aluno sobre o trabalho executado e a sua participação como integrante do grupo; complexidade da montagem, complexidade do projeto, compreensão do trabalho desenvolvido, qualidade da montagem, funcionamento; apresentação do relatório, memória de cálculo, desenvolvimento do tema, conclusão, bibliografia, entre outros.

Na avaliação de cada trabalho são levados em consideração a qualidade e acabamento da montagem, representando um total máximo de 24 pontos. Os outros 16 pontos são atribuídos ao relatório final.

No final do semestre é feita uma avaliação de cada grupo através de defesa oral dos trabalhos realizados e os temas teórico-práticos desenvolvidos na disciplina.

A avaliação dos alunos ou dos grupos é feita em conjunto com outro professor da disciplina. O propósito desta banca examinadora é isentar o professor de realizar perguntas aos grupos da sua própria turma de laboratório, uma vez que se espera que tais grupos já tenham sido avaliados pelo professor responsável.

Para a defesa oral sorteia-se um dos temas desenvolvidos nos trabalhos, e também o aluno que deverá apresentar e defender o tema sorteado, cabendo aos outros participantes do grupo auxiliá-lo quando necessário. Esta forma de avaliação promove a responsabilidade dos integrantes do grupo, perante o trabalho realizado, junto a seus colegas. Além das questões técnicas, avalia-se a postura, desenvoltura e segurança para a apresentação do trabalho realizado. Esta forma de avaliação dialogada, ou defesa dos trabalhos, pode ser considerada mais proveitosa que uma simples prova escrita, já que os alunos podem mostrar o quanto se desenvolveram, dado o aprendizado adquirido durante o semestre.

F. Resultados obtidos

Os alunos da disciplina de Laboratório de Eletrônica foram submetidos a uma mudança radical na metodologia de ensino. Anteriormente era oferecido aos alunos um guia de aulas práticas elaborado pelos professores. Os alunos constataavam o funcionamento dos circuitos sugeridos sem maior interação com estes. O aprendizado era uma constatação dos circuitos estudados na teoria.

Na metodologia de aprendizado orientado ao projeto, por ser uma mudança de paradigma de ensino, em que o professor não é mais um reproduzidor de conhecimento e sim um gestor de ensino, dando suporte às decisões dos alunos através dos seus projetos e não entregando soluções prontas, os alunos apresentam uma inércia inicial na compreensão da proposta. Por outro lado, esta demora se deve ao fato de que esta disciplina propõe a realização de projetos de eletrônica para solucionar algum problema da vida cotidiana. O que parece ser uma novidade para os alunos, acostumados à cultura de se separar à chamada “vida acadêmica”, do chamado “mundo real”. A idéia do “aprender fazendo”, versus o “aprender memorizando” acabou sendo bem aceita pelos alunos, segundo depoimentos espontâneos dos próprios alunos.

Através do desenvolvimento dos projetos propostos na disciplina, simulam-se situações reais de um profissional em Engenharia Eletrônica. Além disso, o grupo de alunos obtém um produto que pode ser levado para casa, e mostrado aos pais e familiares, incutindo um saudável sentimento de orgulho por serem estudantes de Engenharia da UFMG.

A forma de avaliação dos resultados desta metodologia foi baseada na resposta de enquetes para os alunos. Nos resultados das enquetes não tiveram respostas como: “Muito Ruim” ou “Ruim”, as quais não foram consideradas nos gráficos. Os gráficos de barras mostrados nas Figuras 1 a 4 mostram os resultados obtidos.

Os nomes dados a Figuras 1 a 4 são provenientes das perguntas realizadas na enquete. Podemos observar no

gráfico da Figura 1 que os alunos entraram na disciplina com grau de conhecimento considerado de bom. Houve uma expectativa grande quanto ao andamento da disciplina de Laboratórios e eles consideram que o grau de conhecimento e preparação foi muito bom, conforme mostra o gráfico da Figura 4. Os alunos realmente se interessam quando percebem que estão realizando algo prático e relacionado com sua vida profissional futura.

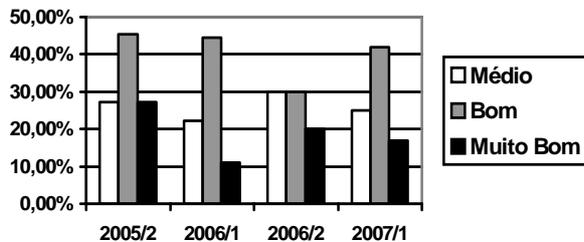


Fig. 1. Conhecimento anterior para acompanhar a disciplina.

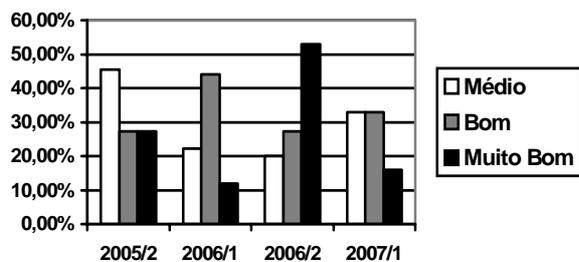


Fig.2. Grau de dificuldade na disciplina.

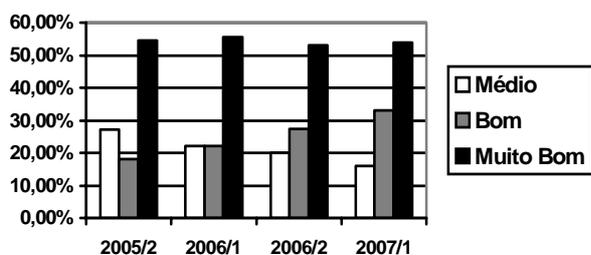


Fig. 3. Grau de motivação com relação à disciplina.

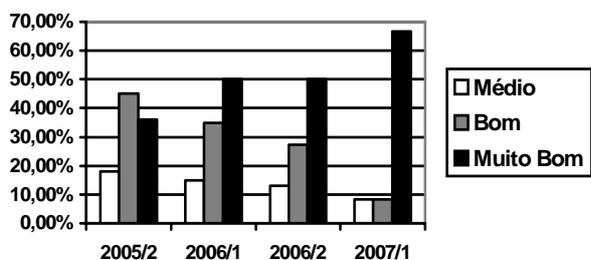


Fig. 4. Meu aprendizado na disciplina.

III. DESCRIÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS NA DISCIPLINA DE LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

Nesta seção se descreve as experiências de ensino na disciplina de Laboratório de Eletrônica de Potência para o curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFMG.

A disciplina de Laboratório de Eletrônica de Potência tem sido ministrada, também, com esta metodologia de ensino desde 2000. A carga horária da disciplina é de três créditos, o que equivale a 45 horas semestrais e o pré-requisito é a disciplina teórica de Eletrônica de Potência. As turmas são compostas por até 12 alunos. Com a reforma curricular aprovada em 1999, a disciplina de Laboratório de Eletrônica de Potência é obrigatória para o certificado de estudos em Eletrônica de Potência, e optativa para os certificados de estudos em Sistemas de Energia Elétrica e o de Controle de Processos.

Esta disciplina permite colocar em prática os conceitos oriundos de três diferentes áreas de sustentação do curso: Eletrônica Analógica e Digital, Eletrônica de Potência e Controle de Processos. Nesta disciplina, busca-se a integração dessas áreas, necessária ao desenvolvimento e análise de soluções próprias da Engenharia Elétrica.

A. Objetivos da disciplina Laboratório de Eletrônica de Potência

O principal objetivo do Laboratório de Eletrônica de Potência é fornecer aos alunos conhecimentos suficientes para que sejam capazes de analisar e projetar conversores eletrônicos de potência. Os principais tópicos abordados na disciplina são:

- 1) Circuitos de comando de dispositivos semicondutores de potência: tiristor, IGBT, MOSFET; Circuitos de controle de conversores estáticos: Controle por fase: retificadores controlados;
- 2) Modulação por Largura de Pulso (PWM): choppers; Modulação por Largura de Pulso Senoidal (SPWM), Modulação por deslocamento de fase (*Phase-shift*): inversores.
- 3) Principais circuitos integrados utilizados em controle de conversores estáticos.
- 4) Estudo de reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes, etapas de operação: ignição e em regime.
- 5) Estudo de módulos fotovoltaicos, princípio de funcionamento, características $V \times I$, aplicações;

Um aspecto importante é o trabalho dos alunos em equipe, reconhecendo o potencial de cada membro do grupo no processo de desenvolvimento da solução para os projetos apresentados na disciplina.

B. Metodologia de Ensino e Avaliação

Os equipamentos existentes no laboratório são osciloscópios digitais, geradores de sinais e computadores com softwares para simulações de circuitos eletrônicos e acesso a internet. Dessa forma, os alunos exercitam os conhecimentos adquiridos anteriormente nas disciplinas afins.

A turma é dividida em grupos de no máximo três alunos e aos grupos são atribuídas tarefas a serem executadas em cada um dos módulos. Em cada módulo, durante uma semana, os

alunos têm uma aula expositiva, na qual é apresentado o tema a ser estudado. Posteriormente, são realizadas simulações utilizando programas de simulação de circuitos eletrônicos. Após esta etapa, os alunos montam e testam o circuito simulado para comprovar o funcionamento correto do experimento.

Ao término de cada módulo os alunos apresentam um relatório descrevendo a atividade proposta, a solução adotada com memória de cálculo, resultados de simulação, resultados experimentais e conclusões. É importante salientar que os alunos são constantemente avaliados durante as aulas no que se refere: a participação, envolvimento, aquisição de conhecimentos dos projetos que estão sendo realizados. Além disso, os alunos são avaliados pelos relatórios apresentados após cada módulo. Para cada relatório, espera-se que o mesmo seja apresentado em formato de texto de dissertação/tese, segundo padrão adotado nas normas da ABNT para apresentação de trabalhos científicos, teses, dissertações e monografias.

C. Trabalhos de Laboratório

Os trabalhos têm por objetivo utilizar todos os conceitos estudados durante as primeiras aulas de cada módulo. Desta forma, os projetos abordam vários tópicos da Eletrônica de Potência na Engenharia. Elétrica, em aplicações atuais, como fontes de alimentação, UPS, geração alternativa de energia e seu armazenamento.

O primeiro módulo tem o objetivo de estudar o Controle por fase empregado em retificadores controlados e gradadores. Nesta aula os alunos devem projetar um “dimmer” utilizando um triac, um CI bastante utilizado para este tipo de aplicação (TCA785) e um transformador de pulso para isolamento galvânico.

O segundo módulo aborda o estudo do conversor c.c.-c.c. tipo Buck. O conversor vem montado em uma placa de circuito impresso e os alunos implementam as malhas de controle (tensão e corrente) em *proto-board*.

O terceiro módulo aborda o desenvolvimento de um reator eletrônico para lâmpada fluorescente de 20W. Os alunos projetam, simulam, montam e verificam o princípio de funcionamento do reator durante a fase de ignição e de funcionamento em regime da lâmpada.

O quarto módulo consiste no levantamento das curvas características $V \times I$ de um módulo fotovoltaico. A partir deste experimento os alunos desenvolvem um carregador para bateria alimentado pelo módulo fotovoltaico.

D. Resultados obtidos

Os relatos dos alunos têm sido sempre bastante positivos, pois eles conseguem transformar as longas horas de estudos teóricos em soluções para problemas reais, os quais se mostram materializados sobre as bancadas do laboratório. Tal fato é, indubitavelmente, capaz de convencê-los da importância do que aprenderam para o seu desenvolvimento pessoal e profissional.

Notadamente, o principal benefício desta atividade tem sido o processo de auto-valorização pelo qual passam os alunos. Muitos alunos submeteram projetos de inovação tecnológica em editais divulgados por fundações e instituições do governo. Resultados quantitativos da enquete

são apresentados na Tabela 2, onde os estudantes responderam a um conjunto de questões, sendo que foram utilizadas apenas quatro questões que refletem resultados do método de ensino utilizado.

TABELA 2
Respostas dos alunos a enquete.

Turmas	Questão 1		Questão 2		Questão 3		Questão 4					
	Médio (%)	Muito Bom (%)										
2007/2A	-	50	50	-	50	50	-	100	-	-	50	50
2007/2B	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-
2006/2A	-	85	12	-	72	28	-	85	15	16	42	42
2005/2A	-	75	25	-	50	50	-	75	25	-	75	25
2005/2B	50	50	-	50	50	-	50	33	17	66	33	-
2005/1A	-	100	-	-	100	-	-	100	-	-	100	-
2004/2A	-	33	66	-	33	66	-	33	66	33	33	33

Questão 1: Conhecimento anterior para acompanhar a disciplina
 Questão 2: Grau de dificuldade na disciplina
 Questão 3: Grau de motivação com relação à disciplina
 Questão 4: Meu aprendizado na disciplina

IV. IMPACTO DIDÁTICO

O que se propõe no presente projeto de ensino é uma profunda mudança na forma de ministrar as aulas de laboratório, não em apenas uma mera constatação de que a teoria funciona e não apresentam novos desafios a serem suplantados pelos estudantes. Propõe-se um conjunto de aulas práticas que apresentem novas abordagens didáticas para temas já apresentados na teoria. Aulas práticas onde o aluno seja conduzido a refletir sobre novas aplicações para os conhecimentos apresentados em sala de aula, e onde sejam apresentados tópicos avançados para que os alunos mais experientes aprofundem seus conhecimentos. Ou seja, propõe-se que os alunos se tornem elementos ativos do processo de aprendizagem.

A metodologia das aulas práticas pretende preparar os alunos com um conjunto de ferramentas e metodologias universais para o processo de aprendizado "do aprendendo fazendo" ou ensino orientado ao projeto.

Outro aspecto importante é a introdução de ferramentas de trabalho atualizadas. Hoje, grande parte do trabalho “experimental” de um engenheiro é realizada utilizando um microcomputador. É importante, portanto, apresentar ao aluno esta nova possibilidade, seja na utilização de programas de simulação de circuitos eletrônicos ou de programa de projeto auxiliado por computador CAD de elaboração de placas circuitos impressos. Além destes programas, é importante estimular o aluno a utilizar a Internet como fonte importante de informações, seja na compra de componentes eletrônicos, consulta de catálogos de dispositivos, modelos de dispositivos para simulação, etc. Com isto, o aluno é estimulado a utilizar todas estas ferramentas.

V. CONCLUSÕES

A abordagem de ensino orientada ao projeto, através do desenvolvimento de trabalhos práticos procura sempre ampliar os conhecimentos teóricos através da experimentação. Desta forma, os conceitos devem ser compreendidos e não simplesmente memorizados, e devem ser aplicados em atividades experimentais.

As disciplinas de laboratório são fundamentais para a formação do profissional em Engenharia Elétrica. Por serem disciplinas que tratam de aspectos tecnológicos, isto faz com que as mesmas tenham um conteúdo bastante amplo, que vai desde a concepção de um diagrama de simulação e implementação de circuitos, passando pela definição de dispositivos, obtenção de custos, até a realização de testes metodicamente planejados.

Durante o oferecimento das disciplinas citadas neste documento, os alunos foram estimulados a trabalhar em equipe, propondo soluções, realizando projetos, simulando circuitos, escrevendo relatórios, analisando e avaliando criticamente artigos técnicos e ferramentas computacionais. Esta forma de atuação vem ao encontro do que se espera de um profissional formado na área de Engenharia, o qual não pode simplesmente aceitar tecnologias novas ou novas tendências sem antes realizar análises críticas. Estas análises se dão através da avaliação das vantagens e desvantagens em comparação a tecnologias já consolidadas. A constante avaliação destes aspectos tem sido enfatizada durante todo o desenvolvimento das disciplinas de Laboratório de Eletrônica e de Laboratório de Eletrônica de Potência.

Finalmente, salienta-se que a experiência proposta neste projeto poderia ser aplicada a outras disciplinas de laboratório da UFMG e em outras instituições de ensino, a fim de estimular os alunos a se envolverem intensamente com a principal característica da engenharia: vencer desafios.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os alunos que se manifestaram de forma positiva ou negativa ao método utilizado. Todos eles contribuíram com sugestões durante a realização das disciplinas. Agradecemos também ao Prof. Ronaldo Tadeu Pena, Magnífico Reitor da UFMG, grande incentivador e entusiasta pela melhoria do ensino na Universidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] www.samford.edu/ctls/problem_based_learning.html. Acesso em março de 2008.
- [2] F. K. Fink, "Problem-based learning in engineering education: a catalyst for regional development", *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol. 1, no. 1, pp. 29-32, 2002.
- [3] F. K. Fink, "Integration of engineering practice into curriculum - 25 years of experience with problem based learning", *In Proc of 29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, vol. 11a2, pp. 7-12, 1999.

[4] D. Consonni and A. C. Seabra, "A Modern Approach to Teaching Basic Experimental Electricity and Electronics", *IEEE Trans. Educ.*, vol. 44, no. 1, pp. 5-15, February 2001.

[5] P. F. Donoso-Garcia, L. A. Torres, "Ensino orientado ao projeto desafio: uma experiência para o ensino de controle, instrumentação e eletrônica". *In Proc. of XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, v. CDROM, Sep., 2007.

[6] J. Rhem, "Problem-based learning: An introduction", *In: The National Teaching & Learning Forum*, vol. 8, no. 1, pp. 8-14, 1998.

[7] R. K. Cavin, I. Joyner Jr, and V. C. Wiggins, "A semiconductor industry perspective on future directions in ECE education". *IEEE Transaction on Education*, vol. 46, no. 4, pp. 463-466, 2003.

[8] R. M. Felder, D. R. Woods, J. E. Stice, and A. Rugarcia, "The future of engineering education II: Teaching methods that work", *Chemical Engineering Education*, vol. 34, no. 1, pp.26-39, 2000.

[9] A. S. Sedra; K. C. Smith. "Microelectronic Circuits" Editora: Oxfordo University Press, 5a. edição, 2006.

DADOS BIOGRÁFICOS

Pedro Francisco Donoso-Garcia, é engenheiro eletricitista op. eletrônica (1981) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mestre (1986) pela Universidade Federal de Minas Gerais e doutor em Engenharia Elétrica (1991) pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Atualmente é professor Associado do Departamento de Engenharia Eletrônica da Universidade Federal de Minas Gerais. Suas áreas de pesquisa incluem: Fontes de alimentação com alta eficiência, sistemas de energia ininterrupta, reatores eletrônicos, amplificadores de áudio lineares e chaveados.

Porfírio Cabaleiro Cortizo, nascido em Belo Horizonte-MG em 26/03/1955. Formado em Engenharia Elétrica em 1978 na UFMG e Doutorado em Eng. Elétrica em 1984 no Intitut National Polytechnique de Toulouse, França.

Desde 1984 é professor do DELT da UFMG, no cargo de Professor Associado. Sua área de atuação é Eletrônica de Potência com interesse em Sistemas de Alimentação Ininterrupta (UPS), fontes chaveadas de alta frequência e técnicas de controle empregando DSP's.

Lenin Martins Ferreira Morais, nascido em 04/03/1978 em Pirapora-MG é engenheiro eletricitista (2000), mestre (2002) e doutor em Engenharia Elétrica (2007) pela Universidade Federal de Minas Gerais.

No período de 2005 a 2007, foi professor substituto do DELT da UFMG e atualmente, é professor voluntário do mesmo departamento. Suas áreas de interesse são: eletrônica de potência, reatores eletrônicos para lâmpadas AID, conversores para correção de fator de potência, sistemas de controle eletrônico.