

Ensino Prático de Projeto de Processadores Segundo uma Metodologia de Ensino-Aprendizagem baseada em Projetos na Escola de Engenharia da UFMG

Ricardo de Oliveira Duarte, Pedro Francisco Donoso-Garcia

Depto. de Engenharia Eletrônica – Escola de Engenharia

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus da Pampulha – CEP 31.270-901 – Belo Horizonte, MG

(ricardoduarte@ufmg.br, pedro@cpdee.ufmg.br)

Resumo

Este artigo descreve de forma detalhada o desenvolvimento de material didático para o ensino-aprendizagem prático de Organização e Arquitetura de Computadores em Cursos de Graduação de Engenharia, onde o foco se concentra na capacitação do estudante ao projeto de processadores. A partir da definição de um sequenciamento de projeto de processadores apresentado ao aluno em material didático desenvolvido especificamente para tal fim, é construída uma proposta para atividades de laboratório na qual o aluno é desafiado a desenvolver um processador a partir de um documento com as um conjunto mínimo de requisitos. Os alunos tomam decisões de projeto e apresentam suas próprias soluções, ao invés da simples repetição de tarefas pré-determinadas comumente encontradas em metodologias de ensino de laboratório tradicionais baseadas em guias de aula. O princípio da metodologia de ensino-aprendizagem, que denominamos orientada a projetos é apresentado neste artigo, assim como os cuidados no desenvolvimento do material didático. Esta metodologia vem sendo aplicada em uma disciplina teórica e prática conhecida por Sistemas, Processadores e Periféricos obrigatória a três cursos de Graduação de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Os resultados observados são o aumento da motivação, aumento do aprendizado e da participação dos alunos nas aulas e atividades propostas e a diminuição do índice de evasão e repetência.

1. Introdução

Este artigo é uma versão estendida do artigo apresentado no *Workshop* de Educação em Arquitetura de Computadores (WEAC) em 2011 [1] e do artigo publicado na Revista *Docência do Ensino Superior* [2]. Neste artigo são descritos com mais detalhes técnicos o material didático desenvolvido segundo a metodologia de ensino-aprendizado orientada a projetos; são

adicionados os resultados da enquete sobre a disciplina, realizado pela Pró-reitoria de Graduação da Universidade com os alunos do curso de graduação referente ao segundo semestre de 2011; são apresentados mais informações e recomendações na aplicação prática dessa metodologia de ensino-aprendizagem; bem como mais referências de outras experiências e relatos no ensino superior que adotam parte dos fundamentos de ensino que usamos na disciplina de SPP na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

A disciplina SPP é obrigatória ao currículo de três cursos de graduação da Escola de Engenharia da UFMG, a saber: Engenharia Elétrica, Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Sistemas.

O objetivo principal desta disciplina nos referidos cursos são capacitar o aluno ao projeto de processadores e ao projeto e desenvolvimento de sistemas com processadores e periféricos.

O material didático desenvolvido para essa disciplina foi norteado pela metodologia de ensino conhecida como *Project Based Learning* – PBL, amplamente divulgada em meio digital [3][4].

A metodologia de ensino-aprendizagem baseada em projetos, ou PBL, baseia-se no uso de projetos para construir o processo de aprendizado em sala de aula. A aprendizagem baseada em projetos foi desenvolvida pelo *Buck Institute for Education* para o ensino médio e fundamental no final de 1990 [3]. A origem dessa metodologia de ensino-aprendizagem aplicada em disciplinas do ensino superior não foi constatada. Supostamente o primeiro relato de uso de PBL aplicada em Cursos de Graduação de Engenharia parte da *Aalborg University Center* na Dinamarca em 1974 [5]. Baseada em projetos de ensino-aprendizagem, a PBL é uma metodologia que oferece aos alunos tarefas complexas com base em questões desafiadoras ou problemas que envolvem a resolução de problemas, tomadas de decisões, habilidades de investigação e reflexão que incluem a orientação e o acompanhamento do professor nas atividades, mas não a solução a qual o aluno deverá tomar [3][4].

A partir da segunda metade da década de 90, PBL vem sendo adotado por algumas disciplinas ou cursos de ensino superior de Engenharia nas mais diversas Instituições de Ensino do mundo com relatado no artigo de Mills e Treagust [5]. Neste mesmo artigo, mais especificamente na seção de conclusões, os autores sustentam que a metodologia PBL apresenta resultados satisfatórios para a formação do engenheiro que a indústria deseja, sem, entretanto, causar perdas na formação do egresso com os fundamentos essenciais da Engenharia. Os autores desse artigo citam ainda que PBL quando praticada em algumas disciplinas de cursos de Engenharia, sobretudo as disciplinas mais tecnológicas, que se seguem a formação básica permitem elucidar durante o período acadêmico a prática profissional do aprender a projetar, essencial à formação do engenheiro.

Possivelmente existem outros trabalhos correlatos que tratam deste tema, entretanto, não tivemos acesso a tais referências, sejam por limitação de restrição de acesso às mesmas, sejam por desconhecimento de referências confiáveis que tratam do assunto.

O elemento chave da metodologia de ensino-aprendizagem baseada em projetos concentra-se na forma como os alunos propõem a solução para um projeto em Engenharia enunciado, por meio dos conhecimentos adquiridos e na integração destes com outros conhecimentos não relacionados. A partir da identificação dos requisitos mínimos determinados pelo projeto proposto pelo professor, inicia-se o fracionamento do projeto em etapas, que necessita de profundo entendimento de conceitos, análise e técnicas envolvidas na realização de cada etapa. O aluno é incentivado a construir seu próprio aprendizado, estudando os conceitos mínimos necessários em material didático cuidadosamente desenvolvido para esse fim e de outros materiais de referência complementares disponibilizados para a realização de sua própria solução de projeto.

O aluno é orientado a definir, documentar, desenvolver seu próprio projeto e testá-lo em laboratório. O professor atua como orientador das atividades propostas e trabalha como ator facilitador da construção do conhecimento de cada estudante, esclarecendo dúvidas sobre seus projetos, sugerindo alternativas de projeto e referências bibliográficas para o desenvolvimento das soluções, além de avaliar o aprendizado e o envolvimento do aluno no percurso do projeto.

Essa metodologia vem sendo empregada em algumas disciplinas do curso de Engenharia Elétrica e de Engenharia de Controle e Automação, mas especificamente nas disciplinas de laboratório de Eletrônica I, Eletrônica de Potência e Controle I na UFMG desde 2006 [6]. Conforme observa Donoso-Garcia, professor da disciplina de laboratório de Eletrônica I, “*tal abordagem no âmbito da*

Engenharia se aproxima muito do modus operandis encontrado em diversas indústrias, no desenvolvimento de novos produtos tecnológicos” [7].

No caso da disciplina de SPP, mais especificamente com referência ao cumprimento do primeiro objetivo desta disciplina que consiste na capacitação do aluno ao projeto de processadores ou CPUs (*Central Processing Units*), o aluno é convidado a envolver-se ativamente com o processo de criação da sua própria solução, a partir de uma especificação parcial de um conjunto de instruções e requisitos do projeto. O desenvolvimento do processador é realizado seguindo orientações gerais passadas pelo professor da disciplina. Como o aluno é responsável por suas próprias decisões de projeto, isso faz com que o seu aprendizado se torne mais agradável, estimulante e próximo da realidade enfrentada na vida profissional de um engenheiro. Para que isso se torne uma realidade, um conjunto de objetos multimidiáticos, enfatizando os conceitos e a base teórica, focado ao desenvolvimento da situação-problema (i.e: o projeto da CPU) deve ser cuidadosamente desenvolvido e apresentado ao aluno no início das atividades da disciplina. O enfoque desse artigo concentra-se no relato de nossa experiência na aplicação desta metodologia de ensino-aprendizagem, que denominamos orientada a projetos e da criação do material didático voltado ao projeto de processadores nas aulas práticas da disciplina SPP.

A abordagem de aprendizado orientada a projetos possibilita a valorização das habilidades e competências individuais de cada aluno, a criatividade e também estimula o trabalho em grupo, pois implica na constante troca de experiências dos atores envolvidos no processo. Para cada semestre letivo, o professor pode e deve elaborar uma nova situação-problema, de forma que os alunos se sintam motivados e desafiados a desenvolver um trabalho inédito. Essa abordagem estimula o professor que ministra a disciplina, pois a cada semestre pode vivenciar diferentes soluções e situações práticas diante da frequente atualização de situações-problema propostas.

A teoria tem uma importância substancial e não é menosprezada, mas prioritariamente se enfatiza que esta serve como subsídio para a realização das etapas práticas do projeto, e não apenas uma simples memorização de conceitos teóricos, sem relacionamento com a prática. Os alunos têm sido incentivados a serem atores 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.

Nas aulas de laboratório dessa disciplina são discutidas as decisões de projeto, as dúvidas gerais da turma e as dúvidas particulares de cada aluno ou grupo.

Há ainda tempo suficiente para questionar o envolvimento e o conhecimento no projeto de alunos que não se manifestam espontaneamente durante o tempo de aula.

Esse artigo está organizado da seguinte forma: Na seção 2 apresenta-se o contexto no qual a disciplina vinha sendo ministrada até então, seus objetivos e as justificativas observadas para o desenvolvimento de um novo material didático e a mudança da metodologia de ensino. Na seção 3 apresenta-se a Estruturação do Projeto de construção do material didático. Na seção 4, apresenta-se uma síntese dos Materiais e Métodos desenvolvidos para a aplicação da metodologia de ensino-aprendizagem orientada a projetos, empregada na disciplina. O método de avaliação utilizado também é relatado nessa mesma seção. Na seção 5, apresenta-se uma descrição dos resultados alcançados. Considerações finais compõem a última seção desse artigo.

2. Contextualização

SPP é uma disciplina obrigatória para três cursos de graduação da Escola de Engenharia da UFMG, totalizando aproximadamente 130 alunos matriculados em média a cada semestre. SPP é composta de uma carga horária semestral de 45 horas de aulas teóricas e 30 horas de aulas práticas em laboratório (total de 75h/semestre). A cada semana há uma aula teórica de 3h e uma aula prática de 2h. A disciplina SPP é de caráter formativo do aluno na área de Projetos de Sistemas Digitais dos cursos citados e tem como pré-requisitos às disciplinas de Sistemas Digitais e Laboratório de Sistemas Digitais, onde o enfoque de projetos de sistemas digitais modernos baseados em projeto no nível RTL (*Register Transfer Level*) em uma linguagem de descrição de *hardware* e o uso de dispositivos lógicos programáveis deve ser ensinado e praticado em aulas de laboratório.

De forma geral, os objetivos da disciplina SPP são de capacitar o aluno para:

- a) O entendimento do funcionamento e o projeto de um processador, suas partes, como estas se integram e se comunicam para realizar funções para as quais foi projetado.
- b) Identificação e caracterização de um periférico, sua forma de comunicação com processadores e seus modos de operação.

As aulas de laboratório de SPP eram baseadas em roteiros bem elaborados com experiências bem definidas, mas repetitivas, onde o aluno executava tarefas pré-determinadas, devendo apresentar pré-relatórios no início de cada aula de laboratório ao professor da disciplina. Desta forma, os pré-relatórios permitiam identificar se o aluno havia estudado o assunto previamente e se preparado para as atividades presenciais da aula prática da semana. Os roteiros de

laboratório da aula prática estavam sempre atrelados ao assunto dado na aula teórica da semana.

Para se alcançar o primeiro objetivo geral da disciplina (descrito no item a desta seção), o professor apresentava em sala de aula o desenvolvimento de um processador definido para fins didáticos, conhecido por MIC-1 [8]. O projeto desse processador era dividido em oito aulas práticas na forma de roteiros de atividades. O aluno era convidado a projetar o processador MIC-1 na linguagem de descrição de *hardware* VHDL (*VHSIC "Very High Speed Integrated Circuits" Hardware Description Language*) e validá-lo através de um simulador de códigos de descrição de *hardware*. O segundo grande objetivo dessa disciplina era alcançado com o estudo de periféricos e sua programação na linguagem *Assembly* da arquitetura da família de processadores da *Intel*TM. Esse objetivo era alcançado em sete aulas práticas, sendo cada uma com o seu próprio roteiro de atividades abordando a programação de um periférico em específico.

Relatos dos alunos descreviam a pouca motivação pelas aulas práticas devido à constante repetição e constatação de resultados sugeridos pelos roteiros das aulas práticas. Também relatavam sobre as aulas, que por se tratarem de atividades repetitivas já vivenciadas e desenvolvidas por alunos de turmas anteriores, pouco se sentiam motivados a preparar os pré-relatórios, tornando essa atividade um mero cumprimento de tarefas decorrentes da metodologia de ensino empregada na disciplina. Com a metodologia baseada em roteiros de aulas, e através das enquetes realizadas com os alunos que cursavam a disciplina, percebia-se o baixo interesse e a pouca motivação encontrada pelos alunos. Todos esses sinais apontavam para a necessidade de mudança na estratégia de ensino.

3. Estruturação do material da disciplina

A metodologia de ensino proposta para essa disciplina é centrada no ensino-aprendizado orientado ao projeto. Esta baseada em aliar a teoria à prática, apresentando conceitos teóricos fundamentais, mas sempre procurando exemplificar aos alunos como aplicá-los, sem, no entanto, induzi-los a uma solução única. O incentivo a criatividade, a tomada de decisões na construção de suas próprias soluções e a auto-construção do aprendizado são as características principais desta metodologia de ensino-aprendizado [1][2]. A teoria de organização e arquitetura de processadores usada para a base do desenvolvimento dos objetos de ensino utilizados na disciplina SPP foi baseada em livros-texto contemporâneos, referência das áreas, de Sistemas Digitais [9], Arquitetura e Organização de Computadores [10] e Projetos com Microcontroladores [11].

A fim de alcançar o primeiro objetivo da disciplina (mencionado no item a da seção 2) e com base nos livros-textos citados foi desenvolvido o material

didático contendo teoria e aspectos práticos do projeto de processadores. Um sequenciamento (fluxo) completo do projeto de um processador dividido em etapas foi elaborado. Um exemplo completo de projeto de um processador foi apresentado, desde a especificação de requisitos, seguindo cada uma das etapas do sequenciamento de projeto citado. Desta forma, os alunos são orientados ao estudo, ao desenvolvimento e à documentação dos procedimentos realizados para executarem seus próprios projetos. Paralelamente para cada etapa de projeto, documentos modelos foram elaborados, no intuito de manter um padrão de documentação de projeto e facilitar a avaliação dos trabalhos. Alcançando-se o primeiro objetivo da disciplina, na oitava aula, é realizado um *Workshop*, onde os alunos testam por completo seus projetos em um kit de desenvolvimento de projetos baseado em dispositivo lógico programável (*FPGA – Field Programmable Gate Arrays*), e apresentam seus trabalhos. Neste evento são incentivados a discussão dos trabalhos, com aportes de novas idéias baseadas na experiência adquiridas pelos alunos.

Uma apostila focando o segundo objetivo da disciplina, que é o de identificar e caracterizar um periférico e desenvolver pequenos sistemas com o uso do mesmo, também foi desenvolvida [12]. Essa apostila contém o material teórico mínimo e aplicação da teoria nas atividades práticas relacionada ao estudo de periféricos de um microcontrolador, sua programação e o desenvolvimento de pequenos sistemas, utilizando-se os periféricos estudados. Exemplos de programação e uso de cada periférico são apresentados em cada seção da apostila. Cada seção da apostila é dedicada a um periférico de um microcontrolador e ao final de cada seção é proposta uma situação-problema ao aluno que necessitará usar os conhecimentos referentes ao periférico estudado para o desenvolvimento de uma solução de maneira criativa. Complementando o material disponibilizado para os alunos, foram selecionados manuais, tutoriais e folhas de dados de processadores e microcontroladores comerciais e material de apoio, (*softwares* e tutoriais) que auxiliam o aluno no uso das ferramentas empregadas no laboratório e na realização dos trabalhos propostos.

Todo o material didático desenvolvido foi estruturado de forma a permitir seu crescimento e atualização com outras técnicas de projeto de processadores que venham a ser agregadas, sem ser necessário efetuar modificações nos objetos de aprendizagem já produzidos.

4. Materiais e métodos

As condições mínimas de utilização de equipamentos e material didático existente em laboratório para realização das atividades práticas

devem estar funcionalmente disponíveis desde o primeiro dia de aula.

O material para os testes da CPU são constituídos por kits de desenvolvimento baseado em FPGAs. Na Escola de Engenharia da UFMG usamos os kits de FPGA DE2 da Altera, capazes de ser reconfigurados por *software* Quartus II - Altera [13], [14]. Sendo um kit para cada grupo de alunos. Os kits de dispositivos lógicos programáveis necessitam de um microcomputador com todo o *software* necessário ao desenvolvimento do projeto, instalados em cada bancada para cada grupo de alunos. Tal *software* também pode ser baixado e instalado gratuitamente nos computadores pessoais dos alunos para realização das tarefas demandadas.

A parte prática da disciplina de SPP é realizada de forma semi-presencial. Nas atividades não presenciais os alunos assistem a vídeo-aula da semana preparada para o curso, discutem os assuntos tratados em grupo, tomam decisões de projeto, preparam as partes referentes à etapa de projeto, sintetizam e simulam códigos no *software* Quartus II e documentam de maneira organizada suas atividades de projeto seguindo modelos de documentação padronizados. Ao final, dentro de um prazo de tempo estabelecido por semana, cada grupo de alunos submete a sua etapa de projeto à avaliação do professor, via uma plataforma de gerenciamento de cursos a distância, que no nosso caso é o ambiente *Moodle – MinhaUFMG*.

A caracterização da forma semi-presencial da disciplina demandam o apoio de uma plataforma de ensino a distância. A plataforma *Moodle – Minha UFMG* é utilizada intensamente, onde professores, monitores-bolsistas e alunos a utilizarão como meio para consulta ao material didático, esclarecimento de dúvidas, troca de informação através dos fóruns para realização das atividades propostas, envio de correções e sugestões personalizadas para grupo de alunos. Semanalmente, todos os grupos de alunos submetem suas tarefas de cada etapa de projeto para apreciação e comentários do professor dentro de um prazo estabelecido pelo mesmo.

O momento presencial, realizada uma vez por semana, com duração de 2h/aula destina-se ao esclarecimento de dúvidas gerais e dúvidas específicas de cada grupo de alunos e aos testes nos kits de FPGA, quando estes se fazem necessários ou quando o aluno desejar testar certas partes de seu projeto. Devido à diversidade de soluções e decisões de projeto as atividades presenciais demandam bastante atenção e experiência do professor. Ainda nessa mesma parte presencial, o professor deve arguir alunos ou grupos sobre as tarefas da etapa de projeto exigidas na semana. É nesse momento que o professor constata o envolvimento e a participação dos membros do grupo. É nesse momento também que se identificam quem assistiu ou não as vídeo-aulas.

Um recurso didático importante desenvolvido para a aplicação dessa metodologia ensino-aprendizagem é a vídeo-aula. As vídeo-aulas foram construídas a partir de narrações de animações produzidas respectivamente com os *softwares* Camtasia Studio© e Microsoft PowerPoint©. As vídeo-aulas apresentam de forma concisa e objetiva toda a teoria e o sequenciamento de projeto, apresentando as etapas para o desenvolvimento de um processador. Desta forma, um exemplo do projeto de um processador completo é apresentado nas vídeo-aulas, sugerindo ao aluno como aliar a teoria à prática. A Figura 1 mostra o sequenciamento de etapas de projeto do processador proposto ao aluno desenvolvido com base nos livros-texto citados [9][10]. Adicionalmente foram elaboradas dez guias de projeto que orientam passo a passo os alunos no desenvolvimento e documentação de suas soluções nas referidas etapas de acordo com modelos de documento fornecidos para cada fim.

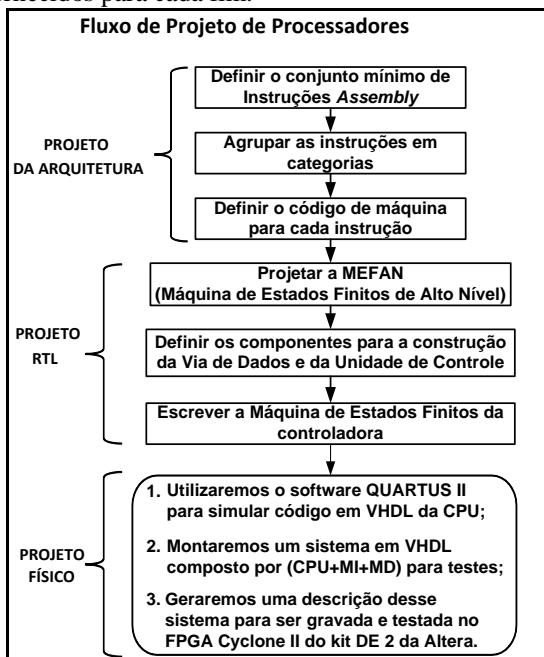


Figura 1. Sequenciamento do Projeto.

Em síntese o material didático produzido para a disciplina é composto pelos seguintes artefatos:

- a) Um planejamento de aulas sugestivo para a parte teórica da disciplina, contendo o assunto que deverá ser tratado em cada aula, material de referência e a conexão com as atividades fim, tratadas em laboratório.
- b) Um planejamento de atividades em laboratório, contendo o objetivo de cada atividade presencial, material que deverá ser produzido pelo aluno em cada etapa e material de referência disponível ao aluno para a execução da etapa. Esse planejamento é

intensamente consultado e usado pelos alunos e professores da disciplina.

- c) Nove vídeo-aulas com animações explicando a base teórica necessária para o aluno projetar, documentar e desenvolver sua própria solução para a situação-problema proposta. Ao longo das vídeo-aulas é mostrado um exemplo completo do projeto de um processador de 3 instruções, seguindo-se as etapas de sequenciamento e a forma de documentá-lo usando o modelo proposto.
- d) Um documento contendo as especificações de requisitos mínimas do processador proposto no semestre.
- e) Dez guias de projeto, as quais orientarão os alunos nas atividades de documentação, implementação e validação de suas soluções para submissão da tarefa semanal. Cada guia tem por objetivo orientar o aluno qual vídeo-aula deverá assistir e qual modelo de documento deverá usar e não como deverá implementar seu projeto.
- f) Material para referência no desenvolvimento dos projetos. Esse material fica disponível no ambiente Moodle – Minha UFMG para acesso dos alunos e também no repositório de objetos de aprendizagem GIZ-UFMG [15] e está organizado em sumários, aula a aula (vide Figura 2). Estão disponíveis materiais para aprendizado e consulta sobre aspectos relacionados à Linguagem de Descrição de Hardware; Material de referência e usuário do Kit de desenvolvimento e do ambiente de programação que o aluno deverá usar para validar a sua solução.
- g) Um modelo para elaboração de cada etapa de projeto do processador, que cada grupo de alunos deverá submeter à apreciação do professor pelo ambiente Moodle. O modelo facilita o registro da etapa de projeto do grupo e a correção por parte dos professores.
- h) Um exemplo completo do projeto de um processador, seguindo as etapas do sequenciamento de projeto apresentado, acompanhado de toda documentação necessária: códigos e simulações utilizados no projeto, conforme modelo sugerido pelo professor.
- i) Um roteiro sugestivo de critérios de avaliação dos trabalhos no *workshop* para o professor e para o aluno também saber o quê e como será avaliado.

O curso de SPP é todo organizado no ambiente Moodle de maneira que o aluno possa ter acesso a todo o conteúdo e as atividades a serem desenvolvidas dentro dos prazos estipulados pelo professor, podendo inclusive adiantar etapas à medida que se sinta seguro.

A Figura 2 mostra um dos sumários do curso organizado no ambiente *Moodle*. Cada sumário está associado a uma aula e a uma etapa do sequenciamento do projeto do processador. Todas as aulas são apresentadas de forma padronizada, contendo os seguintes itens: objetivo da aula; material que o grupo deverá produzir naquela semana; material para estudo e atividades propostas, separadas em documentos, vídeo-aulas e *softwares*. Cada aula também apresenta um *link* para submissão das tarefas da etapa de projeto para avaliação e comentários do professor.

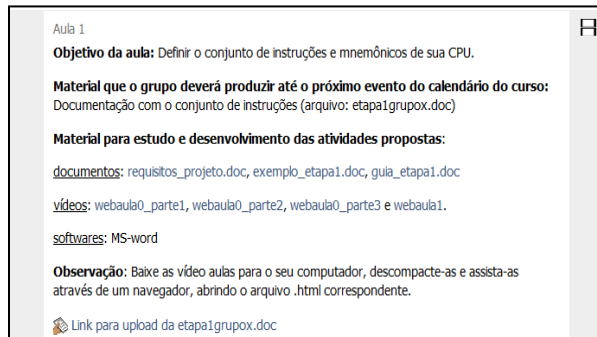


Figura 2. Organização da Disciplina no Moodle.

O Quadro I mostra cada uma das vídeo-aulas produzidas, seus objetivos e a síntese dos conteúdos tratados. A Figura 3 apresenta um *slide* de uma das nove vídeo-aulas, visualizada com o auxílio de um navegador de *Internet*. Observa-se uma via de dados de um processador simples de três instruções. À esquerda dessa imagem observa-se um recurso utilizado na criação dos vídeos, de grande utilidade para o aluno, que é a navegação por *slides* utilizados na produção da aula. Esse recurso possibilita ao aluno interromper e voltar a assistir o vídeo de onde parou sem se preocupar em tomar nota do tempo do momento no qual parou de assistir.

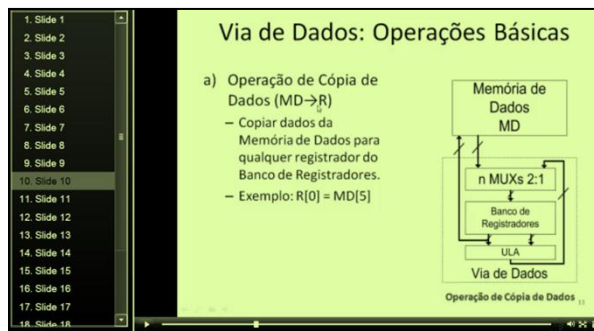


Figura 3. Imagem com o Trecho de uma Vídeo-aula.

Quadro I - Conteúdo das Vídeo-Aulas

Vídeo-Aula0 (parte 1): Introdução aos Processadores
Objetivo: Entender o que é um processador e sua funcionalidade
Conteúdo: Entender o que é um processador ou CPU; Conhecer um pouco sobre a origem das CPUs; Saber onde CPUs são usadas; Entender a finalidade de uma CPU; Assimilar o conceito de Instrução e Programa.
Vídeo-Aula0 (parte 2): Introdução aos Processadores
Objetivo: Saber de quais partes CPUs são compostas. Saber como CPUs funcionam.
Conteúdo: Via de dados, Unidade de Controle (UC), Memória de Dados e Memória de Instrução. Ciclo de Instrução simplificado. Exemplo de uma CPU de 3 instruções: Apresentação e Funcionamento.
Vídeo-Aula0 (parte 3): Seqüenciamento do Projeto de Processadores em Etapas
Objetivo: Compreender as etapas de um fluxo de Projeto de um Processador.
Conteúdo: Explicação detalhada de cada etapa de projeto de um processador. Tarefas e Implicações da etapa estar incompleta ou mal feita.
Vídeo-Aula1: Etapa 1 do fluxo de Projeto de CPUs
Objetivo: produzir uma tabela com todas as instruções que sua CPU poderá processar.
Conteúdo: Definição das instruções em <i>Assembly</i> ; Agrupamento de instruções em categorias; Definição das instruções de Máquina; Escrita de pequenos programas com o <i>assembly</i> definido.
Vídeo-Aula2: Etapa 2 do fluxo de Projeto de CPUs
Objetivo: Produzir uma máquina de estados finitos de alto nível que contenha o comportamento de todas as instruções que sua CPU será capaz de realizar.
Conteúdo: Máquinas de Estados Finitos de Alto Nível (MEFAN). Exemplo para a CPU de 3 instruções.
Vídeo-Aula3: Etapa 3 do fluxo de Projeto de CPUs
Objetivo: Produzir a via de dados da sua CPU.
Conteúdo: Montagem da via de dados a partir da MEFAN. Produção de código RTL em VHDL: síntese e simulação. Exemplo para a CPU de 3 instruções.
Vídeo-Aula4: Etapa 4 do fluxo de Projeto de CPUs
Objetivo: Produzir todos os componentes necessários a Unidade de Controle (UC) completa da sua CPU
Conteúdo: Montagem UC a partir da MEFAN (exceto a controladora). Produção de código RTL em VHDL: Exemplo para a CPU de 3 instruções.
Vídeo-Aula5: Etapa 5 do fluxo de Projeto de CPUs
Objetivo: Produzir a controladora da sua CPU.
Conteúdo: Montagem da controladora a partir da MEFAN. Produção de código RTL em VHDL: síntese e simulação. Exemplo para a CPU de 3 instruções.
Vídeo-Aula6: Etapa 6 do fluxo de Projeto de CPUs
Objetivo: Produzir sua CPU completa para testes em um <i>hardware</i> reconfigurável.
Conteúdo: Síntese. Associação de Pinos. Análise de restrições de projeto. Gravação e testes no kit.

4.1. Aplicação do material produzido

Na primeira aula de SPP é apresentada a proposta da disciplina, mostrando os objetivos, a metodologia de ensino-aprendizado e o material que o aluno terá a disposição para desenvolver sua solução, bem como as formas das atividades avaliativas. Os alunos são agrupados em duplas ou trios, para realizar todas as atividades propostas no semestre. Cada grupo seguirá seu próprio projeto, tomará suas próprias decisões e proporá uma solução. Incentiva-se a discussão entre os membros de um grupo para definir as possíveis decisões sobre as etapas do projeto do processador.

A disciplina de SPP tem dois objetivos claros e distintos, citados na seção 2. Cada objetivo é tratado em um módulo composto por sete aulas de 2h/aula. No início do primeiro módulo é apresentado ao aluno uma situação-problema do módulo, ou seja, o documento de requisitos mínimos do projeto do processador no semestre. No Quadro II, juntamente com a Tabela I observa-se o documento de requisitos apresentado aos alunos da turma do segundo semestre de 2011. Note que certos detalhamentos no documento de requisitos poderiam ser omitidos. O professor pode deixar o documento de requisitos mais abstrato ou mais detalhado, dependendo do grau de criatividade e exigência que desejar demandar dos alunos. Evidentemente que quanto mais abstrato de detalhes a descrição dos requisitos for, maior abertura os alunos terão para a criatividade e conseqüentemente um maior número de projetos diversificados será apresentado ao fim do módulo.

Além do documento de requisitos deve-se também apresentar aos alunos os documentos, kits e ferramentas que ele terá a sua disposição para desenvolver a sua própria solução e o modo de utilizá-los. Nas seis aulas subsequentes do primeiro módulo, cada dupla deverá criar, desenvolver, testar e documentar sua própria solução com o acompanhamento e a orientação presencial do professor responsável pela turma. Na última aula do módulo, cada grupo deverá apresentar sua solução para a turma. Essa última aula presencial funciona como um *workshop*.

As últimas sete aulas compõem o segundo módulo, onde se deseja alcançar o segundo grande objetivo da disciplina. O objeto de aprendizado principal desse segundo módulo é a apostila, que apresenta sete situações-problemas, cada uma com a descrição e funcionamento de um periférico de um microcontrolador e propondo ao aluno o desenvolvimento de uma atividade para aplicação do periférico de forma criativa e independente.

A avaliação da disciplina é realizada por meio de avaliações parciais semanais e no *workshop*. Os alunos são arguidos individualmente semanalmente e são

atribuídos conceitos ao grupo e a cada aluno do grupo, em cada etapa de projeto.

Quadro II - Exemplo de Documento de Requisitos.

Seu grupo deverá projetar uma CPU em VHDL e testá-la no kit DE2 da Altera. A CPU que vocês deverão projetar deverá ter as seguintes características mínimas:

- a) Um conjunto de 11 instruções constituído pelos mnemônicos mostrados na Tabela 1.
- b) O campo OPCODE das instruções deverá ter 4 bits de tamanho.
- c) As operações que a ULA (Unidade Lógica e Aritmética) executará deverão ser realizadas somente com registradores de um banco de registradores.
- d) O banco de registradores deverá ter 16 registradores de 8 bits.
- e) O tamanho da instrução deverá ser de 16 bits.
- f) Uma memória de programa (MI) de 256 palavras de 16 bits deverá ser usada no projeto. Essa memória armazenará um programa teste que vocês usarão para testar o funcionamento de sua CPU.
- g) Uma memória de dados (MD) de 256 entradas de 8 bits deverá ser usada no projeto para guardar os dados provenientes de registradores do banco de registradores, ou para gravar dados vindos de um dispositivo externo (conjunto de 8 chaves).
- h) Um sinal de entrada dedicado (uma outra chave) deverá informar a CPU que um dado de entrada poderá ser lido do conjunto de 8 chaves para dentro do endereço 0xFE de MD e também para um registrador especificado pela instrução LOAD.
- i) Um sinal de entrada adicional deverá informar a CPU que o programa deverá ser iniciado (botão de *reset*).
- j) O resultado da execução do programa deverá terminar com a instrução de parada (instrução HLT).
- k) Um LED adicional deverá sinalizar o fim de execução do programa.

Tabela 1 – Conjunto de mnemônicos.

Mnemônico	Operação
LOAD	Movimenta um dado de 8 bits de um endereço da memória de dados (MD) para um registrador especificado pela instrução, se o endereço de MD estiver dentro da faixa de endereços que vai de 0x00 a 0xFD. Ou então, movimenta um dado de 8 bits do dispositivo externo de entrada para um registrador especificado pela instrução, se o endereço de MD for igual a 0xFE
STORE	Movimenta um dado de 8 bits de um registrador especificado pela instrução para um endereço de MD, se o endereço de MD estiver dentro da faixa 0x00 a 0xFD. Ou então, movimenta um dado de 8 bits de

	um registrador especificado pela instrução para o dispositivo externo de saída, se o endereço da MD for igual a 0xFF
ADDI	Soma o conteúdo de um registrador a um valor binário de 8 bits trazido na própria instrução e guarda o resultado no próprio registrador indicado pela instrução.
ADD	Soma o conteúdo de dois registradores e escreve o resultado em um terceiro.
SUB	Subtrai o conteúdo de dois registradores e escreve o resultado em um terceiro.
NOR	Faz um NOR de 2 registradores e coloca o resultado em um terceiro registrador.
SLT	Faz com que o conteúdo do registrador de destino seja igual a 1, se o valor contido no primeiro registrador for menor que o valor contido no segundo registrador, do contrário faz com que o conteúdo do registrador de destino seja igual a zero. Os valores comparados deverão estar representados em complemento a 2.
SHLL	Faz um deslocamento lógico de n posições para a esquerda do valor contido em um registrador e coloca o resultado em um segundo registrador.
BEQ	Compara o conteúdo de 2 registradores indicados pela instrução. Caso ambos possuam o mesmo conteúdo, faz com que a CPU busque a próxima instrução no endereço de memória de instrução apontada por PC+desvio.
JMP	Desvia para um endereço de 8 bits especificado pela própria instrução.
HLT	Pára o programa e aciona um LED indicativo de término de programa.

5. Resultados

Os objetos de aprendizado desenvolvidos segundo a metodologia do ensino-aprendizado orientado a projetos se encontram disponíveis, à comunidade da UFMG, no repositório de objetos de aprendizado do GIZ – Rede de Desenvolvimento de Práticas de Ensino Superior, vinculado a Pró-Reitoria de Graduação da UFMG sob a licença *Creative Commons* [15].

Essa metodologia de ensino-aprendizado com todos os objetos de aprendizagem desenvolvidos vem sendo aplicada há quatro semestres na disciplina SPP (2010/2, 2011/1, 2011/2 e 2012/1). Note que em 2009/2 e 2010/1 os resultados se referem à aplicação de uma metodologia tradicional baseada em roteiros de aula com atividades repetitivas e que nos semestres de 2010/2, 2011/1 e 2011/2 os resultados se referem à metodologia orientada a projetos. Resultados quantitativos foram obtidos a partir de enquetes com a opinião dos alunos sobre as disciplinas. Essas enquetes

são processadas e divulgadas semestralmente pela Pró-Reitoria de Graduação da UFMG. Um total de 395 alunos já cursou esta disciplina utilizando essa metodologia de ensino-aprendizagem. Três professores vêm ministrando essa disciplina nesses cinco semestres, onde os dados foram tabulados. A Figura 4 mostra quantitativamente a afirmação sobre o aumento da motivação dos alunos na disciplina diante da metodologia de ensino proposta nesse artigo. O que se pode observar pela Figura 4 é que o número de alunos que não se sentem motivados diminuiu expressivamente, se compararmos aos semestres onde a metodologia foi empregada (2010/2, 2011/1 e 2011/2) confrontando com os semestres onde metodologia tradicional baseada em guias era adotada (2009/2 e 2010/1).

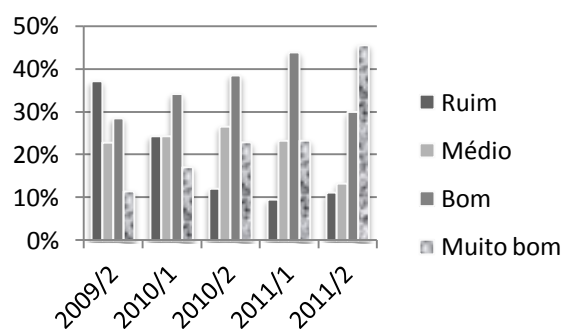


Figura 4. Pergunta ao aluno sobre o grau de motivação dele com relação à disciplina.

O gráfico de barras da Figura 5 mostra que o aluno considera que seu aprendizado melhorou com a nova metodologia aplicada nos semestres de 2010/2, 2011/1 e 2011/2.

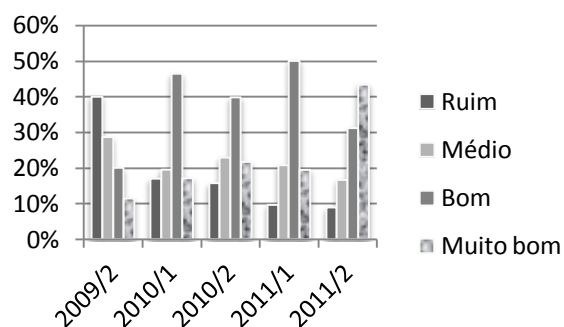


Figura 5. Pergunta ao aluno sobre o aprendizado dele na disciplina.

Ainda como resultado quantitativo da mesma enquete, a Figura 6 mostra que 73%, 63% e 62% (respectivamente em 2011/2, 2011/1 e 2010/2) contra 41% e 40% (respectivamente em 2010/1 e 2009/2) afirmam que o material didático é considerado como bom a muito bom. Os alunos afirmam que as vídeo-aulas propiciam uma base muito útil para iniciarem o desenvolvimento de seus projetos. Por fim, os documentos que acompanham o material didático e

o desenvolvimento de um exemplo de projeto de um processador são objetos de aprendizagem essenciais para o sucesso da aplicação dessa metodologia.

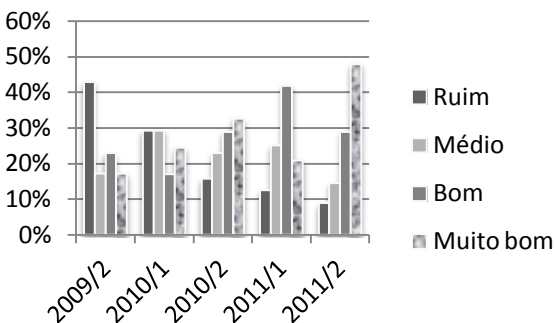


Figura 6. Pergunta ao aluno sobre o material didático usado na disciplina.

A Figura 7 apresenta percentuais numéricos a respeito da dificuldade que o aluno considera quando cursa a disciplina. O número de alunos que consideram o conteúdo da disciplina muito difícil reduziu significativamente. Observa-se ainda que a partir do momento que se adotou a metodologia de ensino-aprendizagem baseada em projetos houve uma maior concentração de alunos que considera a disciplina com grau médio de dificuldade.

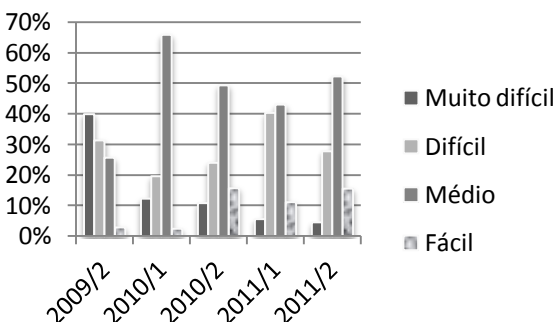


Figura 7. Pergunta ao aluno sobre o grau de dificuldade encontrado por ele na disciplina.

Na Figura 8 são apresentadas as impressões do aluno a respeito dos procedimentos de avaliação de aprendizagem usado na disciplina. Nada podemos concluir a partir deste gráfico, pois cada professor adotou um sistema de avaliação diferente. Um professor avaliou os projetos dos alunos, etapa a etapa, atribuindo nota por etapas e individualmente a participação de cada aluno de um mesmo grupo. Um segundo professor avaliou os projetos ao final de um agrupamento de etapas. E um terceiro professor avaliou o projeto como um todo quando os grupos entregaram o projeto do processador. Observamos que a forma de avaliação pode influenciar no sucesso do processo de ensino-aprendizagem, pois o projeto demanda de sete a oito semanas de trabalho e os alunos necessitam de avaliações constantes e regulares para se afirmarem ao longo do desenvolvimento do projeto.

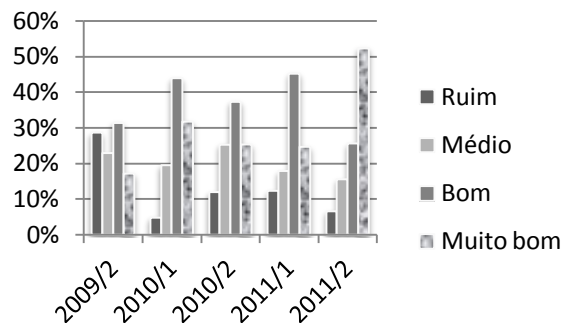


Figura 8. Pergunta ao aluno sobre os procedimentos de avaliação da aprendizagem usados na disciplina.

Foi observado que o índice de evasão da disciplina e o índice de repetência vêm diminuindo consideravelmente. Em 2011/2 tivemos menos de 10% se somados os índices de evasão e repetência na disciplina. Alunos aprovados, reprovados e que evadiram participam das enquetes. A identidade do participante é mantida em sigilo pelo sistema que gera a enquete e os resultados. A participação às enquetes é facultativa, ou seja, nem todos os alunos respondem às perguntas.

Consideramos que o fato de se exigir maior criatividade e responsabilidade na construção dos conhecimentos, foram os atributos principais desta metodologia de ensino-aprendizagem que contribuíram para os resultados apresentados.

6. Considerações finais

As vantagens da adoção dessa metodologia de ensino são muitas: (i) Alunos mais motivados para projetar, tomar decisões de projeto e analisar o impacto das decisões tomadas. Cabe-lhes desenvolver uma postura ativa perante o processo de aprendizagem e reconhecer que o professor não é mais o único a decidir sobre os caminhos a serem seguidos. (ii) Para o professor, essa metodologia de ensino-aprendizagem proporciona uma dinâmica constante a cada semestre, em que uma nova situação-problema é elaborada e proposta aos alunos. O professor é o condutor da formação da experiência prática do aluno, mostrando os possíveis rumos a serem tomados e corrigindo erros conceituais que possam surgir no percurso. Como desvantagem: (i) necessita dedicação intensiva do professor; (ii) demanda ferramenta de ensino a distância bem instalada, funcional e disponível.

Vários tipos de objetos de aprendizagem podem ser desenvolvidos segundo essa metodologia, desde que o princípio que a norteia seja obedecido, ou seja, aliar a teoria à prática para o desenvolvimento da situação-problema, conduzindo o aluno as suas próprias escolhas e decisões de projeto. Dentre os materiais desenvolvidos, cabe destacar que as

vídeo-aulas foram um dos objetos de aprendizado principais desenvolvidos nesse artigo. Observou-se que o uso da apostila desenvolvida seguindo-se os mesmos princípios da metodologia de ensino-aprendizagem para se alcançar o segundo objetivo da disciplina (segundo módulo), não apresentou os mesmos resultados do módulo que tinha por objetivo a capacitação do aluno ao projeto de processadores. Observou-se uma maior resistência do aluno em seguir apostilas. Pode se concluir como uma possível causa para essa observação que o comportamento do aprendizado do aluno contemporâneo está mais direcionado por informações mais rápidas e direcionadas encontradas em vídeos e nos meios multimidiáticos que tem ao seu alcance com o uso da Internet.

Outras vídeo-aulas e guias de aulas com modelos deverão ser desenvolvidas abordando novas técnicas de projeto de implementação de processadores e sistemas microprocessados.

Os objetos de aprendizagem citados neste artigo estão disponíveis sob a licença *Creative Commons* e estão hospedados no Repositório de Objetos de Aprendizados da UFMG. Os leitores que quiserem acessar o material desenvolvido deverão se comunicar com os autores que se comprometerão a intermediar diante ao GIZ-UFMG a liberação do material demandado.

Agradecimentos

A Pró-Reitoria de Graduação da UFMG pelo suporte financeiro ao projeto de desenvolvimento do material didático apresentado nesse artigo.

Referências

- [1] Duarte, R. O., Donoso-Garcia, P. F., Metodologia de Ensino Orientada a Projetos e Criação de Material Didático aplicada ao Projeto de Processadores. In: *Workshop de Educação em Arquitetura de Computadores*, 2011, Vitoria. Anais do VI *Workshop de Educação em Arquitetura de Computadores*, 2011. v. 1. p. 1-6.
- [2] Duarte, R. O., Donoso-Garcia, P.F., Metodologia de Ensino Orientada para Projetos e Criação de Material Didático: Um relato de caso da disciplina sistemas, processadores e periféricos Laboratório, da Escola de Engenharia da UFMG. *Revista Docência do Ensino Superior*, v. 1, p. 1-18, 2011.
- [3] Markham, T., Mergendoller, J., Larner J., & Ravitz, J., Introduction to project based learning. *Project Based Learning Handbook* (2nd revised/special edition pp. 3-9). Novato, CA: Buck Institute for Education 2003.
- [4] Thomas, J.W., A Review of Research on Project-Based Learning, San Rafael, CA: Autodesk Foundation, 2000.
- [5] Mills, J.E., Treagust D.F., Australasian Journal of Engineering. Education, April 2003. Em: <http://www.aeee.com.au/journal/2003/mills_treagust_03.pdf>, acessado em 4 de maio de 2012.
- [6] Donoso-Garcia, P. F., Martins, L. F.; Cortizo, P. C. Ensino Orientado ao Projeto: Uma Experiência para o Ensino de Eletrônica nas disciplinas de laboratório de Eletrônica e Eletrônica de Potência. *Revista Eletrônica de Potência* (Florianópolis), v. 13, p. 109-116, 2008.
- [7] Donoso-Garcia, P. F., Torres, L., Ensino Orientado ao projeto desafio: uma experiencia para o ensino de controle, instrumentação e eletrônica. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2007, Curitiba. XXXV COBENGE 2007. p. 3B05-1-3B05-15.
- [8] Tanenbaum, A. S., Organização Estruturada de Computadores. 5ª Edição, Prentice Hall, 2006.
- [9] Vahid, F., Sistemas Digitais: Projeto, Otimização e HDLs, Bookman, 2008.
- [10] Patterson, D. A., Hennessy, J. L., Organização e Projeto de Computadores - A Interface Hardware/Software. 3a. Edição. Editora Campus, 2005.
- [11] de Oliveira, A. S. e Andrade, F. S., Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware na Prática. 1ª Edição. Editora Érica, 2006.
- [12] Oliveira Junior, M., Duarte, R. O. Apostila sobre Introdução ao Projeto com Microcontroladores e Programação de Periféricos. DELT – EE – UFMG, 2011. Disponível por acesso restrito a comunidade da UFMG em: <<https://dspaceprod01.grude.ufmg.br/dspace/handle/OAUFMG/545/browse?type=title>>, acessado em 4 de maio de 2012.
- [13] Altera Corporation©: *DE2 Development and Education Board User Manual – Version 1.3*, 2006. Disponível para download em: <http://www.abramovbenjamin.net/altera_de2.pdf>, acessado em 4 de maio de 2012.
- [14] Altera Corporation©: *Introduction to Quartus II Software - Version 10.0*, 2011. Disponível em: <http://www.altera.com/literature/manual/archives/intro_to_quartus2.pdf>, acessado em 4 de maio de 2012.
- [15] Repositório da Rede de Desenvolvimento de Práticas de Ensino Superior, Pró-Reitoria de Graduação - UFMG. Disponível por acesso restrito em: <<https://dspaceprod01.grude.ufmg.br/dspace/handle/OAUFMG/545/browse?type=title>>, acessado em 4 de maio de 2012.