

Práticas de Ensino na Disciplina de Circuitos Lógicos

Leandro Silva Galvão de Carvalho, Fabíola Guerra Nakamura

Instituto de Computação
Universidade Federal do Amazonas
Manaus – AM – Brasil
{galvao,fabiola}@icomp.ufam.edu.br

Resumo—Descrevemos aqui algumas atividades práticas para estimular o aprendizado dos diversos conteúdos da disciplina de circuitos lógicos, introdutória a Arquitetura de Computadores, voltada para alunos de Ciência da Computação. Através de experiências concretas, pudemos despertar o interesse de parte dos alunos a atingir graus de abstração mais altos sobre o papel dos circuitos lógicos como peças básicas na manipulação de informação.

Palavras-chave: circuitos lógicos; processador básico; motivação de aprendizagem.

I. INTRODUÇÃO

Conforme as Diretrizes Curriculares Nacionais, elaboradas pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC), espera-se que o egresso do curso de Ciência da Computação conheça a estrutura dos sistemas de computação e os processos envolvidos na sua construção e análise [1]. Nesse sentido, diversas universidades oferecem uma disciplina introdutória de circuitos lógicos antes da disciplina de organização de computadores, nos cursos de Bacharelado em Ciência da Computação.

Normalmente, a ementa dessa disciplina introdutória compreende os seguintes tópicos: sistemas de numeração, portas lógicas, minimização de funções lógicas, circuitos combinacionais, circuitos sequenciais, elementos de memória, e processador básico.

No contexto da UFAM, essa disciplina é ministrada no segundo período do curso de Ciência da Computação e recebe o nome de “Sistemas Lógicos” (SL) [2]. Por sua vez, ela é seguida por “Organização de Computadores” (OC). Entretanto, ao longo dos últimos anos, temos notado (1) falta de interesse dos alunos pela disciplina de SL, que a consideram como “coisas de engenheiro”, no linguajar deles; e (2) dificuldade nos alunos de OC em conectar os conceitos do nível de organização com os do nível lógico.

Este artigo descreve algumas atividades adotadas pelos autores no primeiro semestre de 2013 com o propósito de minimizar a perturbação durante a passagem da disciplina de circuitos lógicos para a de organização de computadores. Os resultados são preliminares, uma vez que um evento sazonal (greve das universidades federais em 2012) provocou evasão de parte dos alunos iniciantes. Desse modo, ficamos impedidos de avaliar o impacto das atividades desenvolvidas sobre o desempenho e sobre a desistência na disciplina.

Adicionalmente, o foco deste artigo está voltado para o contexto de alunos de Ciência da Computação, para os quais se busca transmitir conhecimentos sobre o funcionamento de um processador básico, e não capacitá-los para o projeto de um.

II. O QUE DEVE SER APRENDIDO NA DISCIPLINA DE CIRCUITOS LÓGICOS?

O currículo de referência para cursos de graduação em computação proposto pela ACM e IEEE [3] descreve tópicos a serem cobertos nas áreas do conhecimento da computação, entre elas a “arquitetura e organização de computadores”. O documento também define três níveis de domínio de conhecimento (*mastery*) sobre cada tópico:

- **Familiaridade.** O aluno entende o que é um conceito e o que ele significa.
- **Uso.** O aluno é capaz de aplicar e usar um conceito de maneira concreta.
- **Avaliação.** O aluno é capaz de considerar um conceito a partir de múltiplos pontos de vista ou justificar a seleção de uma abordagem em particular para resolver um problema.

Esses três níveis representam uma simplificação da Taxonomia de Bloom [4], com o objetivo de facilitar a aplicação do currículo de referência por profissionais não familiarizados com o jargão pedagógico. Assim, um mesmo tópico, tal como aritmética binária, pode ser revisitado em uma disciplina avançada com enfoque mais aprofundado que o visto em uma disciplina introdutória.

Ao elaborar o plano de ensino da disciplina de Circuitos Lógicos (nov/2012), avaliamos quais níveis de domínio sobre os tópicos da ementa seriam desejáveis para que os alunos estivessem aptos a iniciar a disciplina de OC. Vimos que, em OC, o aluno deve conhecer quais são e para que servem os componentes lógicos básicos, como combiná-los para montar um caminho de dados, ou como estão combinados para que possam ser programados através de um Conjunto de Instruções (ISA). Dessa forma, planejamos as atividades para que os alunos desenvolvessem os níveis **familiaridade** e **uso** sobre conceitos da ementa de circuitos lógicos.

O nível **avaliação** não foi explicitamente desenvolvido pelos seguintes motivos: (1) esse nível de domínio não é requisito para o egresso do curso de Ciência da Computação; (2) o curso tem 60 horas de duração e seu público é composto por alunos de 2º período e com pouca base do ensino médio, o que inviabiliza a aquisição de um alto domínio sobre o assunto em tão pouco tempo.

Na próxima seção, descrevemos as atividades planejadas para diversos tópicos da ementa, considerando os níveis de domínio **familiaridade** e **uso**.

III. EXPERIÊNCIAS

A disciplina Sistemas Lógicos da UFAM [2] é ministrada em duas aulas semanais de duas horas de duração. De modo geral, as duas aulas semanais foram

divididas em teoria e prática. As aulas teóricas eram ministradas em sala de aula tradicional, utilizando-se projeção de slides e quadro. As aulas práticas foram alternadas entre o uso do simulador de circuitos KTechLab [4] no laboratório de informática, e a manipulação de circuitos digitais montados em uma matriz de contatos (protoboard). Na falta de um laboratório de hardware adequado, os circuitos eram montados previamente e depois transportados para a sala de aula nos dias de prática.

No primeiro dia de aula, ao apresentar a ementa, tivemos o cuidado de contextualizar como os conteúdos a serem abordados seriam utilizados para construir um processador básico. Uma figura conceitual foi apresentada (Fig. 1) e discutida em alto nível, inicialmente em caráter informativo (**familiaridade**).

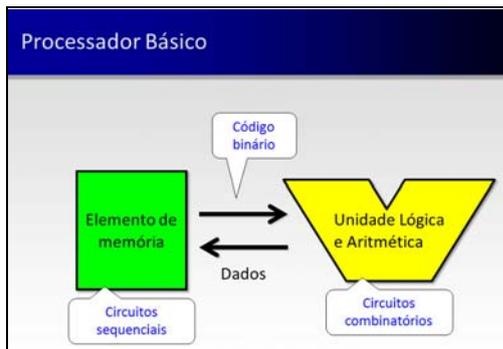


Fig. 1 Diagrama conceitual de um processador básico, apresentado na primeira aula da disciplina e recordado ao início de cada nova unidade programática.

Essa figura foi retomada ao início de cada unidade programática, de modo a relembrar aos alunos o objetivo que desejávamos alcançar com a disciplina. A cada retomada da figura, os blocos esquemáticos eram detalhados à luz dos conhecimentos adquiridos na unidade anterior. Desse modo, buscamos aprofundar o domínio cognitivo dos alunos do nível **familiaridade** para o de **uso**, no contexto de um processador básico.

Assim, pela repetição e aprofundamento da abstração, tentamos evitar que os alunos perdessem o foco no nível da organização em meio aos detalhes do nível lógico.

Nas subseções a seguir, descrevemos algumas práticas aplicadas especificamente aos conteúdos abordados ao longo da disciplina.

A. Sistemas Numéricos

Para motivar a primeira aula sobre sistemas numéricos e transformação de bases, adaptamos o método socrático usado por Garlikov [6] com crianças do ensino fundamental. Esse método consiste em ensinar aritmética binária fazendo perguntas aos alunos, construindo novos conhecimentos sobre conhecimentos pré-existentes.

No caso do ensino superior, esse método não basta por si só para transmitir os conteúdos previstos em ementa, mas mostrou-se aplicável para aguçar a curiosidade dos alunos. Daí, foi mais fácil fazê-los perceber que a aritmética binária é apenas outro olhar sobre a aritmética cotidiana, e que esse novo olhar permite as máquinas realizarem operações com baixa complexidade.

O método socrático exige grande preparação do professor sobre quais perguntas fazer e em que sequência apresentá-las. Mesmo havendo um roteiro de referência

[6], sua aplicação depende do estilo pessoal do instrutor. Por isso, deve ser personalizado por quem deseja aplicá-lo e também deve ser bastante ensaiado. Além disso, o instrutor deve estar ciente de que as respostas dos alunos (e novas perguntas que eles possam fazer) podem se desviar do roteiro original. Nesse caso, ele deve ser flexível para lidar com as situações não planejadas e voltar ao roteiro.

Além da aula socrática, planejamos uma atividade envolvendo numeração binária que não tivemos a oportunidade de aplicar com a turma. Tratava-se de levar os alunos para o laboratório a fim de jogarem o Cisco Binary Game [7]. Esse jogo, no estilo Tetris, vai empilhando linhas de oito blocos correspondentes a um byte (Fig. 2). Em alguns casos, o jogador deve indicar quais blocos (bits) valem 0 ou 1, de acordo com o número em base decimal fornecido. Em outros casos, o jogador deve indicar o valor decimal correspondente ao padrão de bits fornecido. Essas operações devem ser resolvidas o mais rápido possível, para que a tela não se encha de blocos e o jogador não perca o jogo.

Nossa ideia era estimular uma competição entre os alunos para tirarem o maior escore, dentro de um tempo pré-estipulado, premiando os dez melhores com pontos extras proporcionalmente à colocação no ranking da turma. Ao premiar vários alunos em vez de um único, pretendíamos estimular que toda a classe participasse do jogo. Caso contrário, uma parcela da turma poderia não se sentir em condições de competir com os colegas com maior coeficiente de rendimento no curso.



Fig. 2 Captura de tela do Cisco Binary Game [7].

B. Aritmética Binária

Para praticar aritmética binária, tanto em ponto fixo como em ponto flutuante, levamos os alunos para o laboratório de informática a fim de que modificassem rotinas fornecidas em Linguagem C. Como no curso de Ciência da Computação da UFAM os alunos têm contato com o paradigma imperativo somente a partir do 2º período, eles não tinham o arcabouço necessário para escreverem programas completos em C.

Adaptamos algumas atividades propostas em [8] e [9] em dois conjuntos de aulas práticas. Na primeira, focamos na compreensão dos conceitos de aritmética de ponto fixo, abordando os conceitos de representação de números binários em memória, notação complemento de 2, overflow e deslocamento de bits. Na segunda aula prática, as rotinas em C fornecidas exploravam a notação IEEE-754, extração dos campos representados, limites de representação, overflow e underflow.

Ao final desses trabalhos práticos, os alunos tinham de entregar um relatório respondendo as perguntas contidas no roteiro, expressando seu entendimento do assunto. Após a correção dos relatórios, dedicamos uma aula para comentar os principais erros encontrados e sanar equívocos na compreensão de alguns dos conceitos apresentados.

C. Portas Lógicas

Na aula seguinte à aula teórica sobre Álgebra Booleana e Portas Lógicas, levamos os alunos para praticar com o simulador de circuitos KTechLab [4]. Primeiramente, familiarizamos os alunos com o software, esclarecendo alguns conceitos básicos, tais como fonte de alimentação, fio terra, gerador de ondas e monitor de sinais de saída.

Em seguida, pedimos para que eles testassem as propriedades básicas da Álgebra Booleana (i.e., Teorema de De Morgan, propriedades de Idempotência, Absorção, etc.) combinando as portas lógicas básicas (NOT, AND, OR). Por fim, fornecemos uma tabela verdade, da qual eles tinham que derivar as formas canônicas de soma do produto e de produto da soma, implementá-las no KTechLab usando portas lógicas e verificar empiricamente que ambas notações são equivalentes.

Essas atividades foram especialmente úteis para os alunos com pouca base matemática de ensino médio, que não se convencem apenas com a prova lógica das propriedades e teoremas da Álgebra Booleana.

Na aula prática seguinte, os alunos receberam dois grupos de doze circuitos montados em uma matriz de contatos (Fig. 3). Todos os circuitos tinham três entradas e uma saída. Os circuitos do primeiro grupo produziam saídas distintas entre si. Os do segundo grupo eram uma implementação equivalente com portas NAND.

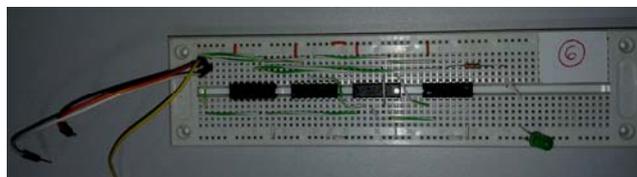


Fig. 3 Um dos doze circuitos combinacionais utilizados na atividade de encontrar o par equivalente implementado com portas NAND.

Os alunos foram divididos em 24 grupos e solicitados para derivarem a tabela verdade do circuito recebido, observando a saída para cada combinação de entradas. Cada grupo tinha de identificar qual outro grupo recebeu o circuito equivalente. Como recompensa, oferecemos alguns bombons para os seis primeiros pares encontrados.

D. Mapas de Karnaugh

Como avaliação extraclasse, pedimos que os alunos projetassem um circuito codificador para a Cifra de César, um algoritmo básico de criptografia. Escolhemos esse tema por estar relacionado à Ciência da Computação e por permitir a criação de 26 circuitos diferentes (um para cada letra do alfabeto latino), dificultando a cópia de trabalhos.

E. Circuitos Combinacionais e Sequenciais

Nas aulas práticas sobre circuitos combinacionais, utilizamos o simulador KTechLab para fixar os conceitos de cascadeamento de multiplexadores, de comparadores e de somadores.

Nas aulas práticas com CIs, priorizamos o estudo de multiplexadores (74157), demultiplexadores (74138) e da unidade lógica aritmética – ULA (74181), visando preparar os alunos para entenderem o funcionamento de um processador básico ao final da disciplina. Não utilizamos CIs de circuitos comparadores, nem de somadores nas aulas práticas, pois esses componentes não foram usados no projeto do processador básico. Por outro lado, as operações realizadas por esses circuitos também são executadas por uma ULA. Portanto, não houve prejuízo na transmissão dos conceitos envolvidos.

Pelo mesmo motivo, nas aulas práticas com CIs sobre circuitos sequenciais, a ênfase foi concentrada em flip-flops D (74174), que mais tarde foram usados no banco de registradores do processador básico. Nas aulas com o simulador, os alunos montaram um flip-flop RS usando portas lógicas NAND e NOR, e verificaram as propriedades desse elemento básico de memória por meio de diagramas de temporização.

F. Processador Básico

A última atividade prática desenvolvida na disciplina foi o estudo de um processador básico, composto por uma ULA de 4 bits (74181) e um banco de quatro registradores de 4 bits. Na saída da ULA e na saída de cada registrador do banco, colocamos um display de LED de 7 segmentos para que os alunos pudessem acompanhar mais facilmente a troca de estados nos circuitos.

A Fig. 4 mostra uma foto de um dos circuitos do processador básico distribuído aos alunos. A Fig. 5 mostra o esquema lógico do mesmo.

Como o circuito da ULA e os flip-flops D haviam sido trabalhados individualmente em aulas práticas anteriores, a tarefa aqui se concentrou no entendimento do funcionamento do banco de registradores e como este se integra à ULA para formar um processador básico.

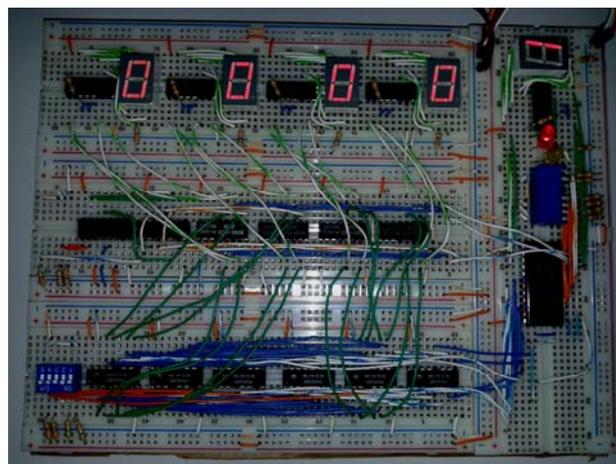


Fig. 4 Circuito processador básico, composto de uma ULA (lado direito) e um banco de registradores. Displays de LED de 7 segmentos foram adicionados para facilitar monitoração dos estados.

A atividade começou em sala de aula, com a distribuição de onze kits e a explicação do funcionamento do processador básico. Em seguida, solicitamos aos alunos que realizassem algumas operações básicas: incremento, adição, operações lógicas. Como não havia circuito de memória, o carregamento das instruções era realizado manualmente pelos próprios alunos através de chaves DIP.

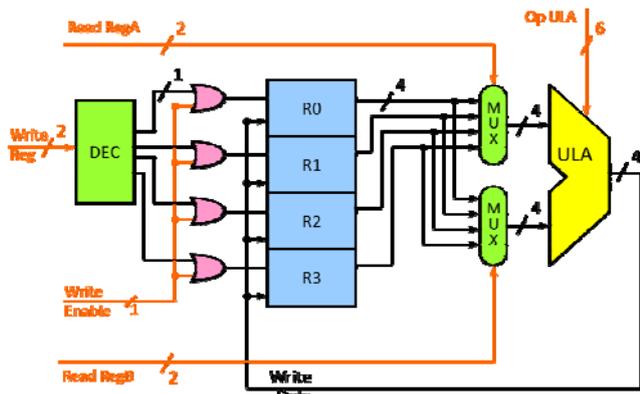


Fig. 5 Esquema lógico do processador básico. Os sinais de controle eram ajustados manualmente por meio de chaves DIP.

Ao final da aula, os alunos agendaram, em duplas, uma data para apresentar o circuito, suas partes constituintes, princípios de funcionamento e execução de uma rotina básica fornecida em linguagem de montagem. Durante a defesa, os alunos tinham de mostrar como as instruções em linguagem de montagem eram traduzidas em instruções de máquina, que por sua vez correspondiam a ajustes das chaves DIP no kit fornecido (Fig. 4).

IV. AVALIAÇÃO

As atividades descritas na seção anterior foram aplicadas pela primeira vez no período seguinte ao retorno às aulas das universidades públicas federais após um longo período de greve. Por conta disso, acreditamos que houve um grande desestímulo por parte dos alunos iniciantes em continuar o curso, pois, nas disciplinas de Sistemas Lógicos e de Matemática Discreta, a taxa de reprovação por frequência (desistência) foi de cerca de 50%. Ambas não têm pré-requisitos e são ministradas para alunos do 2º período do curso de Ciência da Computação da UFAM.

Em setembro de 2013, no final do período letivo seguinte ao da disciplina, aplicamos uma enquete, de livre preenchimento. Havia duas perguntas: (1) a metodologia facilitou o aprendizado da disciplina? e (2) a metodologia motivou? As respostas eram dadas em uma escala de 1 (dificultou) a 5 (foi fundamental).

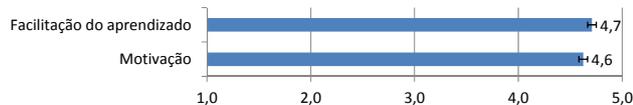


Fig. 6 Respostas dos alunos ao questionário.

A enquete foi respondida por 25 alunos ao longo de uma semana. Das respostas, consolidadas na Fig. 6, entendemos que a metodologia foi bem recebida pelos alunos. Isso nos traz mais confiança para continuar a adotar a metodologia, aprimorando-a.

Sobre as atividades em que circuitos foram distribuídos para os alunos, tiramos as seguintes observações:

- Como não é esperado que alunos de Ciência da Computação tenham familiaridade com a montagem de circuitos digitais e devido ao custo da aquisição de componentes eletrônicos, principalmente na região Norte, optamos por fornecer os circuitos já montados. Dessa forma, focou-se a atenção dos alunos na

familiaridade e uso da lógica dos circuitos, não se perdendo em detalhes de eletrônica básica.

- Como consequência da estratégia acima, e na falta de um funcionário técnico no quadro da universidade, o monitor – aluno que já cursou a disciplina com bom aproveitamento – foi essencial para replicar em escala os protótipos montados pelos professores. Mesmo assim, produzimos apenas 10 protótipos por atividade, os 40 alunos regularmente presentes.
- Como não tínhamos um laboratório de hardware, maus contatos eram produzidos durante o transporte dos protótipos até a sala de aula, enquanto circulavam de mão em mão entre os alunos e depois de volta ao armário. Porém, aproveitamos a situação para mostrar aos alunos as limitações físicas que não são modeladas pelos simuladores.
- Como esta foi nossa primeira experiência, atribuímos mais tarefas do que os alunos foram capazes de cumprir. Isso causou em alguns deles a sensação de frustração por não cumprirem todos os itens do roteiro no tempo de aula.

Apesar dos obstáculos citados, acreditamos ter conseguido fazer com que uma parcela maior de alunos se sentisse mais estimulada a aprender um conteúdo considerado por eles abstrato, uma vez que sua geração é mais familiar com as aplicações, que rodam sobre hardware cada vez mais miniaturizado e descartável.

V. AÇÕES FUTURAS

Na próxima oferta da disciplina, a partir de novembro de 2013, pretendemos (1) revisar os roteiros, retirando as tarefas menos importantes aos objetivos das atividades, ou dividindo os roteiros mais longos em duas atividades distintas; (2) utilizar o laboratório de eletrônica digital da Faculdade de Tecnologia, recém-reformado e equipado, proporcionando um ambiente mais adequado para realização dos testes com os circuitos lógicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao prof. José Reginaldo Carvalho, ao aluno Alberto Mota Carlos Junior, e ao Programa de Apoio a Núcleos de Excelência em Ciência e Tecnologia (Pronex/CNPq), processo 573963/2008-8.

REFERÊNCIAS

- [1] Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em Computação, março 2011. Disponível em http://www.sbc.org.br/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=195&task=view.download&catid=36&cid=186
- [2] Site da disciplina ICC060 – Sistemas Lógicos. Disponível em <http://slufam.weebly.com/>
- [3] ACM Computer Science Curricula 2013 Ironman Draft (Version 1.0) February 2013.
- [4] BLOOM, B. S. et al. "Taxonomy of educational objectives". New York: David McKay, 1956. 262 p.
- [5] KTechlab. Disponível em <http://sourceforge.net/projects/ktechlab/>
- [6] R. Garlikov. "The Socratic Method". Disponível em http://www.garlikov.com/Soc_Meth.html
- [7] Cisco Systems Inc. "Cisco Binary Game". Disponível em http://forums.cisco.com/CertCom/game/binary_game_page.htm
- [8] R. Regan. "Exploring Binary". Disponível em <http://www.exploringbinary.com/>
- [9] M. Overton. "Numerical Computing with IEEE Floating Point Arithmetic". SIAM, 2001.