

PESQUISA DE SOFTWARES PARA APOIO À APRENDIZAGEM DE ARQUITETURA E ORGANIZAÇÃO DE COMPUTADORES EM CURSOS DE GRADUAÇÃO

SURVEY OF SOFTWARE TO SUPPORT LEARNING IN COMPUTER ARCHITECTURE AND ORGANIZATION IN UNDERGRADUATE COURSES

Fernanda Martins Gravena*

Marcela Vitória Magossi**

André Leon Sampaio Gradvohl***

RESUMO

Quando o Departamento de Informática oferece a disciplina de Organização e Arquitetura de Computadores no primeiro ou segundo semestres nos cursos de graduação em Ciência da Computação, nós observamos que os estudantes apresentam dificuldades no entendimento de certos conceitos. Para superar essas dificuldades é importante que os professores forneçam aos seus estudantes algumas atividades práticas e exercícios para ilustrar esses conceitos e suas aplicações. A principal motivação para esse artigo foi a falta de uma pesquisa atualizada de software que poderia ajudar a ilustrar os conceitos cobertos pela disciplina de Organização e Arquitetura de Computadores para alunos de primeiro ano. Para realizar essa pesquisa nós usamos os tópicos do programa de estudos do curso de Organização e Arquitetura de Computadores, oferecida na Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, como palavras-chaves para pesquisar em duas das principais bases bibliográficas de Ciência da Computação. Além disso, nós pesquisamos em um mecanismo de pesquisa na Internet para encontrar softwares de simulação para ilustrar os conceitos de Organização e Arquitetura de Computadores. O principal resultado desse estudo é uma indicação de um conjunto de softwares interessantes para fixar os conceitos do curso de graduação Organização e Arquitetura de Computadores.

Palavras-chaves: Organização e Arquitetura. Suporte à aprendizagem. Educação. Graduação.

ABSTRACT

When the Departments of Informatics offer Computer Organization and Architecture course in the first or second semester of undergraduate courses in Computer Science, we observe that students present difficulties in understanding certain concepts. To overcome these difficulties, it is important that teachers provide students with practical activities and exercises to illustrate these concepts and their applications. The main motivation for this paper was the lack of an updated software survey, which could help illustrate the concepts covered in Computer Organization and Architecture course for

* Graduanda em Sistemas de Informação pela Faculdade de Tecnologia da UNICAMP. fernandamgravena@gmail.com

** Graduanda em Sistemas de Informação pela Faculdade de Tecnologia da UNICAMP. mvmagossi@yahoo.com.br

*** Docente da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas e orientador dessa pesquisa. gradvohl@ft.unicamp.br

first year students. To realize this survey, we use the topics of Computer Organization and Architecture undergraduate course syllabus, offered at School of Technology, State University of Campinas, as keywords to search in the two of main Computer Science bibliographic databases. In addition, we research on an Internet search engine to find simulation software to illustrate Computer Organization and Architecture concepts. The main result of this study is an indication of a set of interesting software for fixing the concepts of the Computer Organization and Architecture undergraduate course.

Keywords: Computer Architecture and Organization. Learning Support. Education. Undergraduate.

Introdução

A disciplina Arquitetura e Organização de Computadores (AOC) está presente nos cursos de graduação Sistemas de Informação, Análise e Desenvolvimento de Sistemas e Engenharia de Telecomunicações da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP). Nesses cursos de graduação, a disciplina AOC aborda os conceitos da organização interna de um computador, seus componentes e os relacionamentos entre eles. Os estudantes cursam a disciplina AOC no primeiro ano de graduação. Muitos deles encontram muitas dificuldades em aprender alguns conceitos apresentados em aula. De acordo com Herman et al. (2012), os alunos que têm essa dificuldade são aqueles que possuem conhecimento em lógica geral insatisfatório. Outra pesquisa realizada por Mirmotahari, Holmboe e Kaasboll (2003) na Universidade de Oslo constatou que a maior dificuldade dos alunos é relacionada a álgebra booleana e programação Assembler. O principal motivo envolvido é o menor tempo de dedicação aos estudos fora da sala de aula.

Para auxiliar no aprendizado, alguns professores optam por utilizar ferramentas de software ou simuladores que abrangem e ilustram os conceitos abordados na disciplina AOC para melhorar o entendimento dos estudantes sobre esses conteúdos. Dessa forma, o objetivo desse artigo é apresentar alguns softwares que auxiliam o professor no esclarecimento dos conceitos básicos da disciplina Arquitetura e Organização de Computadores. Este artigo mostra uma relação dos softwares que atenderam aos critérios definidos na Seção II, com o intuito de ajudar nos estudos dos alunos da disciplina AOC.

Este texto adota a estrutura a seguir. Na Seção I discutimos as pesquisas atuais no ensino da disciplina AOC. Na Seção II, abordaremos a metodologia usada para essa

pesquisa. Na Seção III, apresentamos uma descrição de todos os simuladores testados e uma tabela comparativa entre eles. Por fim, discutimos as conclusões obtidas.

I As pesquisas sobre o ensino de Arquitetura e Organização de Computadores

Ao realizar um levantamento das pesquisas sobre o ensino de AOC, percebemos que a utilização de simuladores para aprendizado tem sido comum nos cursos de graduação, tanto nos semestres iniciais quanto nos semestres avançados. No entanto, muitos estudos (NIKOLIC et al., 2009), (RISTOV et al., 2013) apontam que não há um simulador que cubra todos os tópicos da disciplina AOC. Mais do que isso, alguns simuladores pressupõem um conhecimento prévio de conceitos básicos e, portanto, tornam-se inviáveis para utilização em semestres iniciais.

Outro aspecto observado nas pesquisas foram as abordagens utilizadas para ensino com os simuladores. Na maioria dos artigos, as metodologias de ensino alternavam entre aulas teóricas com aulas práticas que utilizavam os simuladores. Nesse sentido, percebemos que não há nenhuma inovação metodológica.

Porém, alguns dos estudos que observamos – em particular Pokorny (2015) e McLoughlin e Nakano (2010) – propõem a criação de projetos mais complexos, que combinem vários dos conceitos abordados na disciplina e que incentivem a autonomia extraclasses do estudante. Para tanto, é necessário um software que permita não apenas a construção, mas também a avaliação dos projetos nos seguintes critérios: desempenho da solução proposta, conceitos empregados e a razão do seu emprego para a solução proposta. Nesse caso, a integração da disciplina de AOC com outras disciplinas como Matemática Discreta e Lógica pode ser útil tanto para fornecer subsídios teóricos para os estudantes, quanto para eles utilizarem o tempo de estudo extraclasses dessas disciplinas para implementar algo concreto.

II Metodologia

Para elaboração desse estudo foi feito um levantamento bibliográfico de textos referentes ao assunto nas bases de pesquisa bibliográfica IEEE *Xplore Digital Library* (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS, 2015) e ACM *Digital Library* (ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY, 2015), entre 2010 e 2015. Nessas bases de pesquisa usamos palavras-chave para filtrar os

resultados e encontrar textos específicos ao tema da disciplina. As principais palavras-chave usadas foram: *Simulators, Computer Architecture, Computer Organization, Education, Logic Simulator, Boolean Algebra, Assembler, Logic Circuits*.

Adotamos como critério de seleção para leitura aqueles textos que apresentavam títulos que indicavam relação direta ao assunto. Realizamos também uma leitura crítica do resumo de cada artigo para verificar a pertinência do texto ao tema.

Ficamos atentos durante a pesquisa para que fossem consideradas referências a simuladores que já foram utilizados em outras universidades na disciplina AOC ou afins. Em uma primeira seleção, consideramos os 50 artigos mais relevantes de acordo com as bases de pesquisa bibliográfica e, dentre esses, reduzimos o escopo para os 30 textos mais atuais.

Após levantamento dos artigos, os softwares neles referenciados e que possuíam referências para sua localização na Internet foram buscados. Utilizando ferramentas de busca na Internet, também buscamos outros softwares que, embora não tenham sido citados em artigos científicos, abordavam os tópicos da ementa de AOC. Esses softwares foram instalados em computadores e, em seguida, avaliados. Para a avaliação desses softwares definimos sete critérios:

Idioma da ferramenta: Nossa busca foi concentrada naqueles softwares implementados em português, pois não são todos os estudantes ingressantes que têm domínio da língua inglesa. Porém, ampliamos a busca também para softwares em inglês. Softwares nesse idioma podem ser utilizados, desde que sejam intuitivos, já que hoje o inglês básico está presente no cotidiano dos estudantes que pertencem a cursos relacionados a área de Informática.

Ser intuitivo: para nós, são softwares que apresentam facilidade no uso com o mínimo de conhecimento do que se deseja obter, sem a necessidade de consulta a tutoriais ou menus de ajuda (*Help Menu*).

Tutoriais: todos os softwares que apresentam tutoriais, menus de ajuda ou ajuda *online* para auxiliar na sua utilização.

Download e Instalação: esse requisito leva em consideração a facilidade de encontrar referências (*links*) para *download* das ferramentas citadas em sites de pesquisa na Internet, como o Google, e a sua instalação no computador do usuário. Alguns artigos apresentavam referências diretas para os softwares e, assim sendo, nenhuma ferramenta de busca foi necessária. Nos casos dos artigos que não apresentavam *links* diretos para a ferramenta, a busca foi feita no *site* de pesquisa. Estar entre os primeiros resultados

também foi um critério considerado. Nos critérios para indicar a complexidade da instalação, consideramos os seguintes: se o manual de instalação indicado pelo software apresentava clareza, de tal sorte que o usuário pudesse instalá-lo sem dificuldades; se houve a necessidade da instalação de algum outro software, aplicativo ou compilação de código fonte para que o software desejado fosse instalado com todas suas funções; ou se o software poderia ser usado online.

Sistemas Operacionais: a possibilidade de o software ser instalado nos principais sistemas operacionais (Windows, Linux e Mac OS X), em razão dos estudantes apresentarem diferentes sistemas operacionais em seus computadores ou nos laboratórios os quais têm acesso.

Dependência de outro software: simuladores que necessitam de outros softwares básicos instalados no computador. Esses softwares não são indicados para os alunos, já que aumentam a complexidade de instalação e uso.

Gratuito ou pago: ferramentas gratuitas são as preferidas, pois muitos estudantes não possuem condições para adquirir licenças para utilização do software além dos laboratórios nas instituições de ensino superior.

III Resultados

Diante das avaliações citadas, na Tabela 1 relacionamos os softwares encontrados com os tópicos oferecidos na disciplina de AOC, indicando quais assuntos seriam auxiliados por atividades práticas usando esses simuladores.

Não encontramos softwares que abrangessem todos os tópicos da ementa da disciplina AOC em uma única ferramenta. Por exemplo, não encontramos softwares que apresentassem ou simulassem assuntos como barramentos, interrupções, comunicações, interfaces e periféricos. Oito dos onze softwares encontrados estão relacionados a funções lógicas e circuitos combinacionais. Os demais variam entre memórias, unidades centrais de processamento e álgebra booleana. A seguir apresentamos uma descrição e os resultados de cada simulador ao final do levantamento e dos testes realizados.

O **Boolean Algebra Calculator** da Wolfram Alpha é um simulador *online* que permite colocar expressões lógicas e, a partir delas, mostra a tabela verdade, expressões minimizadas, circuitos lógicos equivalentes e diagrama de Venn. Esse software está disponível apenas em inglês e não possui tutorial explicativo (WOLFRAM ALPHA

INC., 2015). Os conceitos explorados por esse simulador estão relacionados com álgebra booleana na ementa. Embora não seja citado diretamente por um artigo científico, esse software surgiu como resultado na ferramenta de busca.

O **Cedar Logic Simulator** é um simulador digital lógico interativo usado para ensinar como projetar um circuito lógico ou testar projetos digitais. Ele inclui componentes de baixo e alto níveis de conhecimentos dos alunos e suas simulações podem ser entendidas intuitivamente através das cores (STANLEY, 2009). O programa é gratuito, em inglês, compatível com o sistema operacional Windows e pode ser baixado facilmente pela Internet (CEDAR SIMULATOR, 2015). Em relação à ementa, este simulador trata a parte de funções lógicas e circuitos combinacionais.

O **CPU-8E** é um software que permite visualizar a interação entre cada componente da CPU, principalmente entre os registradores, os barramentos e a memória. O Sistema é em português, disponível para Windows 32 bits e Linux 32 e 64 bits (CODE.GOOGLE.COM, 2015). O software apresenta arquivos binários com exemplos para funcionamento do sistema. Em relação à ementa, o software aborda os tópicos unidades centrais de processamento, barramento e memória. O *link* para esse software também surgiu como resultado na ferramenta de busca.

O **K-Map** é um software que mostra a tabela verdade, mapas de Karnaugh e as equações lógicas. O software é compatível com Windows e Linux e possui código fonte disponível para *download* (KOVACEVIC, 2015). O sistema permite que o usuário preencha a tabela verdade ou o mapa de Karnaugh e então mostra a equação. Apresenta idioma em inglês e não possui menu *Help*. Na ementa, o simulador se encaixa na parte de funções lógicas e circuitos combinacionais. A referência para esse software também apareceu nos resultados da ferramenta de busca.

O **Logic Friday** é uma ferramenta para desenvolver circuitos. Permite digitar uma função lógica, uma tabela verdade, uma equação, ou um circuito. O software está disponível apenas para Windows (SONTRAK, 2015). Ele apresenta um menu *Help* em inglês, bem como o restante do sistema, e está relacionado com funções lógicas e circuitos combinacionais na ementa. Esse software não foi citado em um artigo científico, mas sua referência apareceu como resultado da busca.

O **Logic.ly** é um software que simula circuitos lógicos. O software está implementado em inglês, porém é intuitivo. Também disponibiliza um menu *Help* em inglês. O software se apresenta em uma versão gratuita por 30 dias ou uma versão paga, disponível para Windows e Mac OS X. Também tem a possibilidade de

utilização online na versão demonstração (LOGIC.LY, 2015). Na ementa, o simulador se encaixa na parte de funções lógicas e circuitos combinacionais. O *link* para esse software apareceu nos resultados da ferramenta de busca.

O **Logic Works** é um software que permite desenhar circuitos digitais. O software está disponível para download na versão demonstração, compatível apenas com Windows e Mac OS X (DESIGN WORKS SOLUTIONS INC., 2015). Ao iniciar o sistema, ele apresenta uma janela para selecionar uma das opções disponíveis, entre elas está a opção criar novo diagrama de circuitos. Ao selecionar essa opção, o sistema abre a janela que possibilita o desenvolvimento do circuito.

O idioma do sistema é inglês e não oferece a opção para mudança do idioma. O software apresenta um menu *Help* com tutoriais também em inglês (HARCOURT, 2005). Está relacionado com funções lógicas e circuitos combinacionais na ementa.

O **LogiSIM** é uma ferramenta educacional para projetar e simular circuitos lógicos digitais. Ela possui uma interface simples e as simulações criadas são simplificadas para facilitar o entendimento nos conceitos mais básicos relacionados à lógica de circuitos (STANLEY, 2009), (STANLEY et al., 2013). Este software é gratuito, em português (e também em outros idiomas), pode ser instalado em qualquer máquina que suporte Java 5 ou superior e possui versões especiais para Mac OS X e Windows (CBURCH.COM, 2015). Na ementa, o simulador se encaixa na parte de funções lógicas e circuitos combinacionais.

O **LogiSIM Computer Assembler** é uma ferramenta *online* que mostra como as instruções são decodificadas e executadas. Por exemplo, os estudantes escrevem instruções simples (linguagem Assembly) e as implementam usando a máquina de simulação (STANLEY, 2009), (UOPEOPLE WEB, 2015). Na ementa, a ferramenta se encaixa na parte de circuitos e linguagem Assembly.

O **Multimedia Logic** é um simulador de circuitos lógicos simples, porém com grande potencial. Nele é possível projetar circuitos com o propósito de testá-los e é introduzido técnicas de conexão direto com computadores reais. Por isso, a pretensão do software é não apenas a criação de um circuito lógico, mas usar o que é criado, permitir uma experimentação e aprender com ele (STANLEY et al., 2013). Em inglês, o software pode ser instalado em sistema operacional Windows (SOFTRONICS INC., 2015). Na ementa, o simulador se encaixa na parte de funções lógicas e circuitos combinacionais.

O **SPIM** faz a simulação de memórias cache, além de mostrar passo a passo como o conteúdo do cache se altera. O software é compatível com os sistemas

operacionais Windows de 32 ou 64 bits, Mac OS X e Linux Debian 32 ou 64 bits (SPIM SIMULATOR, 2015). O software apresenta um *Help menu* que auxilia na sua própria utilização. Porém assim como o sistema, o tutorial também está disponível apenas em inglês. Para utilizar o SPIM é necessário ter um arquivo texto que contenha instruções em Assembly MIPS (PETIT et al., 2006). Esse simulador está relacionado ao tópico memórias na ementa da disciplina.

Apresentados os dados, realizamos um comparativo entre os simuladores na Tab. 1, levando em conta os critérios estabelecidos na Seção III. Nessa tabela, para melhorar sua leitura, convencionamos o uso dos seguintes símbolos:

- \emptyset para indicar a inexistência de um tutorial no próprio software ou tutorial oficial do fabricante.
- \checkmark para informar que o software é fácil de instalar.
- \clubsuit para indicar a existência de uma versão para o sistema operacional (SO) Windows.
- \diamond para indicar a existência de uma versão para SO Linux.
- \spadesuit para indicar a existência de uma versão para SO Mac OS X.

Tabela 1. Comparativo entre os diferentes softwares para suporte à disciplina AOC

Software	Idioma	Intuitivo	Tutoriais	Download e Instalação	SO	Depend.	Gratuito ou pago	Tópicos da Ementa
Boolean Algebra Calculator	Inglês	Sim	\emptyset	Online	-	Não	Gratuito	Álgebra Booleana
Cedar Logic Simulator	Inglês	Sim	\emptyset Oficial	\checkmark	\clubsuit	Não	Gratuito	Funções lógicas e circuitos combinacionais
CPU-8E	Português	Sim	\emptyset Oficial	\checkmark	$\clubsuit \diamond$	Não	Gratuito	Unidades centrais de Processamento, Barramento, Memória
K-Map	Inglês	Não	\emptyset	\checkmark	$\clubsuit \diamond$	Não	Gratuito	Funções lógicas e circuitos combinacionais
Logic Friday	Inglês	Não	Help Menu	\checkmark	\clubsuit	Não	Gratuito	Funções lógicas e circuitos combinacionais
Logic Works	Inglês	Não	Help Menu	\checkmark	$\clubsuit \spadesuit$	Não	Gratuito	Funções lógicas e circuitos combinacionais

Software	Idioma	Intuitivo	Tutoriais	Download e Instalação	SO	Depend.	Gratuito ou pago	Tópicos da Ementa
Logic.ly	Inglês	Sim	Help Menu	√	♠	Não	Pago, versão gratuita por 30 dias	Funções lógicas e circuitos combinacionais
Logisim	Português	Sim	Ø Oficial	√	♣♦♠	Sim, Java Runtime	Gratuito	Funções lógicas e circuitos combinacionais
LogiSIM Computer Assembler	Inglês	Não	Ø Oficial	Online Não é fácil de encontrar	-	Não	Gratuito	Funções lógicas e circuitos combinacionais
Multimedia Logic	Inglês	Sim	Help Menu	√	♣	Não	Gratuito	Funções lógicas e circuitos combinacionais
Spim	Inglês	Não	Help Menu	√	♣♦♠	Não	Gratuito	Memórias

Considerações Finais

A partir das análises, concluímos que nem todos os softwares que encontramos nos artigos científicos ou através das ferramentas de busca na Internet cobrem todos os conceitos da disciplina. A razão para isso é que o objetivo de cada software normalmente se concentra em trabalhar em um conceito específico ou em conceitos fortemente relacionados. Por isso, para abranger a ementa da disciplina de AOC completamente, seria necessário um conjunto de softwares diferentes. Por outro lado, nem todos os conceitos possuem softwares que os demonstrem. Portanto, o professor responsável pela disciplina deve dispor de outras estratégias para ajudar no aprendizado desses conceitos.

Além disso, depois de ter analisados os softwares de acordo com os requisitos propostos na Metodologia, percebemos que alguns deles podem apresentar dificuldades para serem adotados nas disciplinas. Especialmente pela combinação de três requisitos: idioma, por não ser muito intuitivo e pela questão da gratuidade. Os softwares que eram em português ou inglês, intuitivos e gratuitos foram melhor analisados e aprovados para o uso na disciplina por, de fato, terem o potencial de adoção e aprendizado pelos estudantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) pelo apoio para o desenvolvimento deste estudo.

Referências

ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY. **ACM Digital Library**.

Disponível em: <<http://dl.acm.org/>>. Acesso em: 10 out. 2015.

CBURCH.COM. **Logisim**. Disponível em: <<http://www.cburch.com/logisim>>. Acesso em: 27 out. 2015.

CEDAR SIMULATOR. **CEDAR Logic Simulator**. Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/cedarlogic>>. Acesso em: 28 out. 2015.

CODE.GOOGLE.COM. **ASM-8E -- Assembler para a CPU Educacional de 8 bits CPU-8E - Google Project Hosting**. Disponível em: <<https://code.google.com/p/asm-8e>>. Acesso em: 28 out. 2015.

DESIGN WORKS SOLUTIONS INC. **LogicWorks**. Disponível em: <<http://designworkssolutions.com/>>. Acesso em: 29 out. 2015.

HARCOURT, E. Teaching Computer Organization and Architecture Using SystemC. **J. Comput. Sci. Coll.**, v. 21, n. 2, p. 27-39, dez. 2005.

HERMAN, G. L. et al. Describing the What and Why of Students' Difficulties in Boolean Logic. **ACM Trans. Comput. Educ.**, v. 12, n. 1, p. 1-28, mar. 2012.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Xplore Digital Library**. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>>. Acesso em: 8 out. 2015.

KOVACEVIC, R. **Karnaugh Map Minimizer**. Disponível em: <<http://kmap.sourceforge.net>>. Acesso em: 29 out. 2015.

LOGIC.LY. **Logic.ly** -- A logic circuit simulator for Windows and Mac -- logic gates, flip-flops, computer architecture, electronics, integrated circuits. Disponível em: <<http://logic.ly>>. Acesso em: 30 out. 2015.

MCLOUGHLIN, I.; NAKANO, K. **A Perspective on the Experiential Learning of Computer Architecture**. In: IEEE/ACM INT'L CONFERENCE ON GREEN COMPUTING AND COMMUNICATIONS & INT'L CONFERENCE ON CYBER, PHYSICAL AND SOCIAL COMPUTING. 2010. p. 868-872

MIRMOTAHARI, O.; HOLMBOE, C.; KAASBØLL, J. Difficulties learning computer architecture. **ACM SIGCSE Bull.**, v. 35, n. 3, p. 247, set. 2003.

NIKOLIC, B. et al. A Survey and Evaluation of Simulators Suitable for Teaching Courses in Computer Architecture and Organization. **IEEE Trans. Educ.**, v. 52, n. 4, p. 449-458, nov. 2009.

PETIT, S. et al. An Execution-driven Simulation Tool for Teaching Cache Memories in Introductory Computer Organization Courses. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER ARCHITECTURE, 33., **Proceedings of the 2006 Workshop on Computer Architecture Education...** 2006.

POKORNY, K. L. Creating a Computer Simulator as a CS1 Student Project. In: ACM TECHNICAL SYMPOSIUM ON COMPUTER SCIENCE EDUCATION - SIGCSE'15, 46., **Proceedings...** 2015. p. 42-47.

RISTOV, S. et al. Hands-On Exercises to Support Computer Architecture Students Using EDUCache Simulator. In: Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Federated Conference on, **Proceedings...**, 2013. p. 751-758.

SOFTRONICS INC. **MMLogic, A Multimedia Logic Design System for learning** Disponível em: <<http://www.softronix.com/logic.html>>. Acesso em: 30 out. 2015.

SONTRAK. **Logic Friday** -- Free software for boolean logic analysis. Disponível em: <<http://sontrak.com>>. Acesso em: 29 out. 2015.

SPIM SIMULATOR. **SPIM MIPS Simulator**. Disponível em: <<http://spimsimulator.sourceforge.net>>. Acesso em: 27 out. 2015.

STANLEY, T. D. Using digital logic simulation as mathematics, hardware and operating systems, networking, computer organization and computer architecture. In: ACM CONFERENCE ON SIG-INFORMATION TECHNOLOGY EDUCATION - SIGITE '09, 10., **Proceedings...**, 2009. p. 1.

STANLEY, T. D. et al. Using a Simple Emulated Computer to Facilitate Understanding in Introductory Computer Programming and Computer Organization/Architecture Classes. **J. Comput. Sci. Coll.**, v. 29, n. 2, p. 60-66, dez. 2013.

UOPEOPLE WEB. **Assembler for Logisim Computer System**. Disponível em: <<http://uopeopleweb.com/js/assembler.html>>. Acesso em: 30 out. 2015.

WOLFRAM ALPHA INC. **Wolfram Alpha Widgets: Boolean Algebra Calculator** -- Free Computational Sciences Widget. Disponível em: <<http://www.wolframalpha.com/widgets/view.jsp?id=a52797be9f91295a27b14cb751198ae3>>. Acesso em: 28 out. 2015.