Avaliação Empírica da Proposta Interdisciplinar de Uso dos Processadores BIP

Title: Empirical evaluation of using BIP processors in an interdisciplinary approach

Paulo Vinicius Vieira

Universidade do Vale do Itajaí
Rua Uruguai, 458 - Caixa Postal 360
88302-202 - Itajaí - SC - Brasil
paulovieira@univali.br

Cesar Albenes Zeferino

Universidade do Vale do Itajaí
Rua Uruguai, 458 - Caixa Postal 360
88302-202 - Itajaí - SC - Brasil
zeferino@univali.br

André Luis Alice Raabe

Universidade do Vale do Itajaí
Rua Uruguai, 458 - Caixa Postal 360
88302-202 - Itajaí - SC - Brasil
raabe@univali.br

Resumo

A disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores é essencial para a formação dos alunos de graduação na área de Computação por oferecer subsídios para a redução da abstração e para um melhor entendimento sobre o funcionamento do computador. Com o objetivo de facilitar o aprendizado de conceitos fundamentais dessa disciplina, foi especificada uma arquitetura básica de processador seguindo uma abordagem interdisciplinar. Essa arquitetura e suas ferramentas de apoio têm sido aplicadas em diferentes disciplinas de um curso de bacharelado em Ciência da Computação. Nesse contexto, este trabalho avalia os benefícios da aplicação da arquitetura proposta nas disciplinas de Arquitetura e Organização de Computadores e de Compiladores. A pesquisa segue um delineamento quase-experimental, com a aplicação de experimentos a quatro turmas de alunos. Também foi conduzida uma análise qualitativa com a realização de um grupo focal na disciplina de Compiladores. Os resultados demonstram que os alunos da disciplina de Compiladores perceberam melhor a influência da arquitetura do processador na etapa de geração de código e apresentaram ganhos na aprendizagem. Já os alunos da disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores não apresentaram melhoria significativa na aprendizagem.

Palavras-Chave: Educação em Computação, Interdisciplinaridade, Avaliação Empírica, Arquitetura de Computadores, Compiladores

Abstract

The discipline of Computer Architecture and Organization is essential to the formation of undergraduates in the Computer Science area. It provides the necessary subsidies to reduce abstraction and helps to understand the internal workings of the computer. With the goal of facilitating the learning of fundamental concepts of this discipline, a basic processor architecture was specified following an interdisciplinary approach. This architecture and its supporting tools have been applied in different disciplines of a course of Bachelor's degree in Computer Science. In this context, this work aims at empirically assessing the benefits of this proposal in the disciplines of Computer Architecture and Organization, and Compilers. The research follows a quasi-experimental design. Experiments were conducted with four groups of students. A qualitative investigation was carried out with a focus group in Compilers discipline. The results showed that the students the Compiler discipline perceived better the influence of processor architecture on code generation, and showed an improvement in learning. The students of Computer Architecture and Organization showed no significant improvement in learning.

Keywords: Computer Education, Interdisciplinary, Empirical Evaluation, Computer Architecture, Compilers

1 Introdução

Aprender a programar é um processo difícil e exigente para a maioria dos alunos da área de Computação, especialmente para aqueles de disciplinas introdutórias de programação. Essa dificuldade é agravada pelo alto nível de abstração envolvido nos conceitos iniciais de programação [1]. Nesse sentido, diversas soluções têm sido adotadas para reduzir a abstração, motivar os estudantes e melhorar o processo de ensino e aprendizagem em programação. Entre essas soluções destacam-se a utilização de diferentes paradigmas de programação, a adoção de atividades colaborativas e técnicas de visualização de algoritmos por meio de representação gráfica [2][3][4].

A ACM (Association for Computing Machinery) e o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) salientam a importância do ensino de arquitetura e organização de computadores aos estudantes da área de computação [5]. De acordo com Cassel [5], os estudantes de Ciência da Computação devem compreender os componentes funcionais de um computador, suas características, interações e desempenho. Zeferino et al. [6] acreditam que o estudo da arquitetura do computador permite estabelecer as relações dos conceitos abstratos de programação com aspectos concretos do hardware. Khalife [7] propõe a utilização de um modelo simplificado de computador, possibilitando aos alunos compreender de forma adequada os conceitos de programação.

Nesse contexto, visando facilitar o aprendizado de conceitos fundamentais de arquitetura de computadores, foi especificada uma família de processadores básicos denominada BIP (Basic Instruction-set Processor) [8]. Esses processadores apresentam um conjunto reduzido de instruções e podem ser utilizados para exemplificar conceitos introdutórios de arquitetura e organização de computadores aos alunos das disciplinas introdutórias de algoritmos e programação, contribuindo para a interdisciplinaridade e para o melhor entendimento das abstrações tipicamente utilizadas nessas disciplinas.

Sabe-se, entretanto, que muitos estudantes apresentam dificuldades para entender os conceitos iniciais relacionados à arquitetura e à organização de computadores. Para minimizar esse problema, professores da disciplina de Arquitetura e Organização de Computadores frequentemente buscam novos métodos de ensino, muitas vezes com a utilização de simuladores educacionais que permitem realizar a simulação de sistemas computacionais [9]. Nikolic et al. [10] discutem a ampla variedade de simuladores disponíveis na literatura e mencionam a importância da seleção de um modelo que atenda as expectativas pedagógicas do curso no qual será utilizado.

Vieira, Raabe e Zeferino [11] desenvolveram um am-

biente de desenvolvimento integrado chamado Bipide. Esse ambiente facilita a adoção dos processadores BIP em sala de aula, servindo como ferramenta de apoio para auxiliar o entendimento das abstrações presentes nos conceitos introdutórios de programação. Além disso, o Bipide permite detalhar a explicação dos conceitos básicos de arquitetura e organização de computadores, possibilitando a utilização da ferramenta em disciplinas de circuitos digitais, compiladores, sistemas operacionais e arquitetura e organização de computadores.

As iniciativas de desenvolvimento e adoção dos processadores BIP e do Bipide em sala de aula permitiu que fosse dado um enfoque interdisciplinar aos conceitos de arquitetura e organização de computadores, vislumbrando seu desdobramento em diferentes disciplinas [6]. Avaliações demonstraram os benefícios dessa proposta para a redução da abstração envolvida nos conceitos de uma disciplina de Algoritmos e Programação [11]. No entanto, nenhuma avaliação havia sido realizada em outras disciplinas do curso.

Considerando o exposto, este artigo apresenta uma pesquisa que avalia empiricamente o efeito da proposta interdisciplinar baseada nos processadores BIP sobre a aprendizagem dos alunos de disciplinas de Arquitetura e Organização de Computadores e Compiladores [12].

Este artigo é organizado em nove seções. A Seção 2 expõe as principais motivações que levaram ao desenvolvimento dos processadores BIP e a Seção 3 apresenta o ambiente integrado Bipide. Na Seção 4 são descritos os procedimentos utilizados para busca e análise de trabalhos que tratam de avaliações de propostas interdisciplinares na área de Computação. A Seção 5 apresenta a metodologia aplicada nesta pesquisa e a Seção 6 descreve as intervenções realizadas nas disciplinas-alvo do estudo. Na Seção 7 são apresentados os procedimentos estatísticos utilizados para avaliar a melhoria na aprendizagem dos alunos e os resultados obtidos. A Seção 8 discorre sobre a realização de um grupo focal na disciplina Compiladores e por último, na Seção 9, são apresentadas as conclusões desta pesquisa.

2. Processadores BIP

Nas fases iniciais de um curso de graduação, os processadores utilizados para o ensino de conceitos de arquitetura e organização de computadores devem priorizar aspectos didáticos que permitam estabelecer a relação entre as abstrações lógicas da programação e sua representação em hardware [7]. Nota-se, entretanto, que os modelos de processadores utilizados em disciplinas introdutórias são abstratos demais e não permitem estabelecer essas relações. Uma alternativa seria utilizar processadores mais detalhados, porém, esses processadores são

demasiadamente complexos, e poucos são os livros texto que propiciam a integração entre a arquitetura do processador e a programação em alto nível [6].

Uma exceção é o livro “Organização e Projeto de Computadores”, de Patterson e Hennessy [13], no qual os autores descrevem o processador MIPS com ênfase na exploração da interface entre o hardware e software, permitindo a interligação dos conceitos apresentados com aqueles estudados nas disciplinas de programação. No entanto, o pouco embasamento dos alunos nas fases iniciais torna inadequado o uso de processadores com o grau de complexidade do MIPS. Nesse contexto, deve-se buscar uma arquitetura simplificada que permita estabelecer uma relação entre as necessidades dos alunos que estão iniciando a programar e as representações em hardware correspondentes [6].

Discussões continuadas entre professores de diferentes áreas do curso de Ciência da Computação na Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) levaram à concepção de uma família de processadores com arquitetura simplificada [8]. Essa família é composta de uma série de processadores denominados BIP (Basic Instruction-set Processor), os quais foram especificados com níveis incrementais de complexidade, vislumbrando a representação de conceitos em diferentes disciplinas da área de Computação. Essa iniciativa demonstra o enfoque interdisciplinar dos processadores BIP, sendo esse o seu principal diferencial em relação a processadores similares [6].

Inicialmente foram especificados dois modelos de processador (BIP I e BIP II) [8] e, em seguida, outros dois modelos (BIP III e BIP IV) foram adicionados à família de processadores para cobrir conceitos que não eram tratados pelos modelos iniciais [14]. Os processadores BIP possuem uma arquitetura orientada a acumulador similar à do microcontrolador PIC (Programmable Interface Controller) [15]. No entanto, a arquitetura do BIP é mais simples, pois todas as instruções são baseadas em apenas um formato de instrução de 16 bits contendo dois operandos: opcode (5 bits) e operando (11 bits) [8].

A arquitetura do BIP I possui dois registradores: o PC (*Program Counter*), que aponta para a instrução a ser executada, e o ACC (*Accumulator*), que é utilizado para armazenamento temporário de dados durante uma operação e serve também como operando implícito de diversas instruções. O BIP II inclui ainda um registrador de estado (STATUS) para suportar instruções de comparação e desvio condicional [8]. O BIP III estende a classe de instrução existente anteriormente para suportar instruções de lógica booleana e de deslocamento lógico. O BIP IV acrescenta os seguintes registradores: INDR (*Index Register*), que armazena o índice a ser utilizado nas operações de vetores; SP (*Stack Pointer*), que indica o topo da pilha de suporte à chamada de procedimentos; IN_PORT

e OUT_PORT, os quais são utilizados para operações de entrada e saída de dados [14]. A Figura 1 ilustra a organização do processador BIP IV.

Figura 1: Organização do processador BIP IV

3. Ambiente Integrado Bipide

O uso de softwares educacionais é um tema frequente de pesquisas e estudos que buscam demonstrar os benefícios dessa prática para a melhoria da qualidade no ensino. Nos cursos da área de Computação, a utilização de simulação por meio de diferentes técnicas de visualização permite estabelecer a relação entre o conhecimento teórico e a experiência prática, colaborando para o desenvolvimento de um modelo mental preciso sobre o processo de execução de programas [16]. Além disso, simuladores proporcionam uma forma mais atrativa de exploração que contribui para a motivação dos estudantes.

Conhecendo os benefícios da utilização de simuladores no ensino, Vieira, Raabe e Zeferino [11] apresentam o ambiente de desenvolvimento integrado Bipide [17], o qual permite relacionar conceitos de programação em alto nível com o hardware dos processadores BIP. Em sua versão inicial, o Bipide oferecia suporte aos processadores BIP I e BIP II e, posteriormente, novas funcionalidades foram adicionadas para lidar também com os processadores BIP III e BIP IV [14].

A interface do Bipide está dividida em três módulos principais, descritos a seguir [18]:

- **Programação:** módulo composto por um editor destinado ao desenvolvimento de programas em linguagem Portugol e um compilador capaz de traduzir a linguagem Portugol para a linguagem de montagem dos processadores BIP;
- **Simulação:** apresenta um simulador de arquitetura e de organização para os processadores BIP, o qual exhibe graficamente o fluxo de execução dos programas por meio de animações; e

- **Ajuda:** módulo composto por informações sobre as funcionalidades da ferramenta e informações teóricas relacionadas à arquitetura e organização dos processadores BIP.

A Figura 2 demonstra a interface dos módulos de programação e simulação do Bipide, com seus principais recursos descritos a seguir:

- Editor:** possibilita a edição de algoritmos em português;
- Mensagens de erro:** exibe mensagens de erro ocorridas durante a compilação do programa;
- Exportação:** possibilita exportar os algoritmos em Assembly, binário, VHDL (*VHSIC hardware description language*) e MIF (*Memory Initialization File*);
- Simulação:** disponibiliza botões que permitem controlar a simulação, incluindo a execução passo a passo ou de forma contínua;
- Velocidade:** permite controlar a velocidade das animações que ilustram a execução do programa;
- Portugol:** exibe o programa Portugol que está sendo simulado destacando a linha em execução;
- Assembly:** exibe o código Assembly gerado pelo compilador, onde a linha em execução é destacada assim como todo o conjunto de instruções que correspondem à linha do código em alto nível, em destaque na janela Portugol;
- Organização do Processador:** mostra a organização do processador (BIP I ou BIP II), e as animações que representam as instruções em execução;
- Registradores:** exibe os valores dos registradores do processador durante a simulação do programa;
- Interface de Entrada e Saída:** exibe chaves e leds que representam as interfaces de entrada e saída do processador; e
- Descrição:** mostra o nome e a descrição de cada instrução executada.

Zeferino et al. [6] relatam a utilização do Bipide em diferentes disciplinas de um curso de Ciência da Computação. De acordo com os autores, por meio da ferramenta é possível detalhar a explicação de conceitos básicos de arquitetura de computadores em disciplinas sobre programação introdutória, circuitos digitais, compiladores e arquitetura de computadores. Vieira, Raabe e Zeferino [11] demonstraram que com a utilização do Bipide, os

alunos de uma disciplina de programação introdutória puderam consolidar os conceitos estudados na disciplina e apresentaram uma melhoria de desempenho da ordem de 1,93 pontos na média com 99% de confiança.

Figura 2: Interface dos módulos de programação e simulação do Bipide

4. Trabalhos Relacionados

Foram considerados como trabalhos relacionados a esta pesquisa aqueles que tratam de avaliações de propostas interdisciplinares na área de Computação. O foco da análise foi verificar os procedimentos de avaliação adotados nas pesquisas. Para a seleção dos trabalhos, foi realizado um mapeamento sistemático a partir de um protocolo de busca composto de diversos termos pertinentes ao tema pesquisado. Cabe ressaltar que os procedimentos utilizados não seguiram uma metodologia de revisão sistemática, ao menos no sentido mais rigoroso do termo.

Os trabalhos de interesse foram os publicados entre Janeiro de 2007 e Dezembro de 2012. O protocolo de busca utilizou os termos: ("computer science" OR computing) AND (education OR educational OR teaching OR learning) AND (interdisciplinary OR interdisciplinarity OR multidisciplinary OR transdisciplinary OR intersection OR integration) AND (evaluation OR assessment) AND (experimental OR design).

A pesquisa foi realizada em quatro bases de dados online: (i) IEEE Xplore; (ii) ScienceDirect; (iii) ACM Digital Library; e (iv) SpringerLink. A opção por essas bases de dados se deve, principalmente, ao fato das mesmas concentrarem os principais periódicos e anais de conferências da área de interesse desta pesquisa. Ressalta-se que o protocolo de busca utilizado sofreu pequenas alterações para se adequar às diferentes bases de dados. Em algumas delas, houve restrição ao número de termos utilizados e, em outras, pôde-se utilizar recursos como, por exemplo, filtros por área de pesquisa.

O protocolo de busca utilizado retornou um total de 419 trabalhos. Esses trabalhos foram analisados por meio

da leitura de seus resumos e foram selecionados aqueles que atendiam aos seguintes critérios: (i) ter sido publicado em revistas especializadas ou em anais de congressos, simpósios ou seminários; (ii) tratar de propostas pedagógicas, métodos de ensino, utilização de tecnologias na educação ou outros temas ligados ao ensino e aprendizagem; e (iii) descrever algum tipo de avaliação sobre os efeitos da proposta ou método para a aprendizagem.

Em seguida, os trabalhos selecionados foram lidos integralmente e analisados. Nessa etapa, alguns trabalhos ainda foram eliminados por não atenderem os critérios estabelecidos. Dessa forma, restou ao final, um total de 43 trabalhos. A Tabela 1 apresenta o total de trabalhos recuperados em cada base de dados pesquisada, bem como a quantidade de trabalhos eliminados.

Os trabalhos selecionados foram sintetizados conforme os seguintes itens: (i) referência bibliográfica; (ii) nível de ensino; (iii) objetivos da pesquisa; (iv) classificação do contexto interdisciplinar; (v) estratégia de pesquisa (quantitativa, qualitativa ou mista); (vi) delineamento de pesquisa; (vii) tamanho da amostra; (viii) instrumentos utilizados para coleta de dados; (ix) método utilizado como intervenção pedagógica; e (x) principais descobertas e resultados. Os dados extraídos de cada trabalho analisado estão disponíveis em [17].

A análise dos trabalhos relacionados demonstrou que a maioria deles não apresentava detalhes suficientes sobre a pesquisa. Alguns não apresentavam o delineamento do experimento e/ou os resultados obtidos. Outros trabalhos sequer descreviam os métodos didáticos ou alterações curriculares realizadas.

Percebeu-se um grande número de pesquisas que utilizam estratégia de pesquisa qualitativa (44%), como se observa na Figura 3. Quando não é utilizada a estratégia qualitativa, a principal escolha são métodos mistos (33%), onde se busca avaliar quantitativamente a aprendizagem e qualitativamente a motivação dos alunos.

Apenas 40% das pesquisas adotavam a utilização de grupos de controle. Frequentemente são adotadas estratégias de pesquisa que utilizam apenas pós-teste (cerca de 60%), nas quais se aplica uma intervenção e, em seguida,

mede-se a aprendizagem por meio de um questionário.

Essas abordagens, apenas com a utilização de pós-teste e/ou sem a utilização de um grupo de controle, estão suscetíveis a um número maior de ameaças à validade interna [19].

Figura 3: Estratégias de pesquisa utilizadas nas pesquisas educacionais

O principal instrumento utilizado para a coleta de dados foram os questionários, usados principalmente como indicadores de aprendizagem dos alunos. Dentre os outros instrumentos utilizados, destacam-se os testes de avaliação, observações e entrevistas, como pode ser visto no gráfico da Figura 4.

Figura 4: Instrumentos utilizados para coleta de dados

Base de Dados	Total de Trabalhos	Trabalhos Eliminados	Trabalhos Selecionados	Trabalhos Analisados
IEEE Xplore	153	149	37	4
ScienceDirect	99	78	21	21
ACM Digital Library	100	91	36	9
SpringerLink	67	58	9	9
Total	419	376	103	43

Tabela 1: Resumo da busca de trabalhos relacionados

Em relação ao nível de ensino, a maioria das pesquisas foi realizada em cursos de graduação. Conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Níveis de ensino onde as pesquisas foram realizadas

5. Metodologia da Pesquisa

As pesquisas realizadas na área de Educação têm como objetivo principal o ensino. No entanto, é necessário considerar o que se espera que seja aprendido. Dessa forma, pode-se dizer que o fenômeno de interesse da pesquisa em ensino envolve não só o ensino, em si, mas também a aprendizagem, a avaliação e o currículo [20].

Para saber se houve aprendizagem é necessário avaliá-la. A avaliação da aprendizagem pode prover evidências não só sobre o que foi aprendido, mas também sobre até que ponto o ensino foi responsável por isso. Nesse aspecto, são vários os eventos que contribuem para se alcançar esse objetivo, tais como uma aula expositiva, um novo currículo, um novo método de ensino, entre outros.

Este trabalho tem como hipótese geral que a apresentação de conceitos sobre o funcionamento do computador, utilizando um modelo simplificado representado pela arquitetura dos processadores BIP, e o subsequente uso da ferramenta Bipide influenciam positivamente a aprendizagem dos alunos de cursos de Ciência da Computação. Buscou-se comprovar essa hipótese através de uma avaliação que busca responder à questão: “A utilização da família de processadores BIP influencia positivamente na aprendizagem dos alunos nas disciplinas de Arquitetura e Organização de Computadores e de Compiladores?”.

O problema central da pesquisa foi abordado de maneira quantitativa, seguindo um delineamento quase-experimental conhecido como “Grupo de Controle não Equivalente”, no qual se aplica instrumentos de avaliação a um grupo de controle e a um grupo experimental na forma de pré-teste e pós-teste [21]. A Figura 6 representa o delineamento utilizado nesta pesquisa, onde X é o tratamento aplicado ao grupo experimental, O_1 e O_3 representa o pré-teste e O_2 e O_4 o pós-teste aplicado aos dois grupos.

$GE:$	O_1	X	O_2
$GC:$	O_3		O_4

Figura 6: Delineamento quase-experimental com grupo de controle não equivalente

Esse delineamento é considerado um dos mais utilizados em pesquisas educacionais realizadas em sala de aula, nas quais muitas vezes não é possível reordenar os participantes de forma aleatória [21][22].

As amostras utilizadas na pesquisa foram constituídas por alunos das disciplinas Arquitetura e Organização de Computadores - AOC (3º período) e Compiladores (7º período). Os alunos das turmas do segundo semestre de 2011 foram tratados como grupo de controle; já os alunos matriculados no primeiro semestre de 2012 constituíram o grupo experimental, submetidos à intervenção pedagógica proposta nesta pesquisa.

As seguintes hipóteses foram verificadas:

- H_0 : A média dos alunos do grupo experimental é menor ou igual à média do grupo de controle.
- H_1 : A média dos alunos do grupo experimental é maior que a média do grupo de controle.

A pesquisa envolve disciplinas que possuem enfoques diferentes, portanto, hipóteses distintas foram definidas para cada uma das disciplinas. Na disciplina AOC foi verificada a hipótese:

- H_2 : Os estudantes do grupo experimental perceberam mais claramente a distinção entre a arquitetura e a organização do computador.

Já na disciplina Compiladores avaliou-se a hipótese:

- H_3 : Os estudantes do grupo experimental perceberam melhor a influência da arquitetura do computador nas diferentes etapas de construção do compilador do que os alunos do grupo de controle.

5.1 Avaliação e Coleta de Dados

O desempenho dos alunos nos tópicos de interesse desta pesquisa foi mensurado antes (pré-teste) e depois (pós-teste) da intervenção realizada por meio de instrumentos de avaliação específicos para cada uma das disciplinas. A seguir são descritos os instrumentos utilizados em cada disciplina.

Na disciplina AOC foram utilizados dois instrumentos distintos, um para o pré-teste e outro no pós-teste. Esses instrumentos foram aplicados aos grupos de controle e experimental na primeira e na última semana do semestre letivo, respectivamente. O instrumento utilizado no pré-teste contém oito questões de múltipla escolha e o ins-

trumento utilizado no pós-teste sete questões de múltipla escolha, ambos envolvendo tópicos sobre arquitetura e organização de computadores. Embora os instrumentos utilizados para pré e pós-teste sejam diferentes, os mesmos instrumentos foram utilizados nos dois grupos avaliados. Dessa forma, eliminam-se algumas ameaças à validade interna decorrentes da diferença entre os testes, já que as diferenças foram replicadas nos dois grupos.

Na disciplina Compiladores foi utilizado o mesmo instrumento para o pré e pós-teste realizados nos grupos de controle e experimental. O instrumento contém oito questões de múltipla escolha envolvendo tópicos sobre compiladores de interesse a esta pesquisa. A aplicação do pré-teste ocorreu na décima semana do semestre letivo, enquanto o pós-teste foi aplicado na penúltima semana.

Os instrumentos de avaliação mencionados anteriormente estão disponíveis em [17].

6. Intervenções Realizadas com as Turmas de Alunos

Na disciplina AOC, adotava-se o processador MIPS como única arquitetura de referência. Era percebido pelo professor da disciplina que a arquitetura do MIPS, por não ter sido especificada visando o aprendizado, mas sim a facilidade de implementação do processador e o seu desempenho, dificultava o entendimento inicial dos conceitos de arquitetura e de organização do computador.

Dessa forma, a intervenção na disciplina consistiu na inserção dos processadores BIP como referência inicial para ilustrar os conceitos introdutórios de arquitetura e organização de computadores. Além disso, os processadores BIP foram utilizados para traçar um comparativo de suas características arquiteturais com as características do MIPS, o que permitiu um aumento incremental da complexidade dos temas abordados ao longo do semestre.

As estratégias utilizadas na disciplina AOC compreenderam a elaboração de um plano de aula, incluindo aulas teóricas e práticas. As aulas teóricas foram realizadas em sala de aula, com a utilização de uma apresentação em PowerPoint e, posteriormente, foram realizadas aulas práticas em laboratórios de informática, nas quais os alunos puderam exercitar o desenvolvimento de pro-

gramas em Assembly e observar a organização dos processadores BIP por meio do simulador Bipide.

A abordagem adotada na disciplina Compiladores utilizava uma linguagem intermediária baseada em uma máquina virtual de pilha, a qual abstraía a arquitetura do computador. A intervenção realizada, portanto, buscou demonstrar todas as fases de construção de um compilador, na qual se define a arquitetura de uma linguagem alvo para então se definirem os aspectos sintáticos e léxicos da linguagem de alto nível.

Para cumprir esse objetivo foi realizada uma aula teórica sobre lógica de programação Assembly e sobre o conjunto de instruções dos processadores BIP. Os alunos realizaram então exercícios de conversão de código alto nível para código Assembly. Em seguida, foi feita uma apresentação sobre a ferramenta Bipide e os alunos foram solicitados a desenvolver programas em Assembly no simulador da ferramenta, onde puderam comparar os códigos em alto nível com o código Assembly gerado. Posteriormente, foram conduzidas apresentações em sala de aula enfatizando a criação de ações semânticas e foram dadas orientações para o desenvolvimento de trabalhos individuais, nos quais os alunos deveriam construir um compilador capaz de traduzir uma linguagem de alto nível qualquer em código Assembly para os processadores BIP.

Os planos de aula e materiais didáticos desenvolvidos durante a pesquisa e utilizados nas disciplinas AOC e Compiladores foram disponibilizados em [17].

7. Resultados

O delineamento quase-experimental com a utilização de grupos de controle e experimental implica na realização de um teste inicial para verificar o quão equivalente são os grupos antes do tratamento. Caso não sejam identificadas diferenças significativas entre os grupos pode-se aplicar testes paramétricos para comparar as diferenças entre pré e pós-teste. Já em caso de diferenças apresentadas no pré-teste, pôde-se utilizar o teste não-paramétrico de análise de covariância (ANCOVA) para ajustar as pontuações obtidas nos pós-testes para os diferentes grupos [22]. A Figura 7 apresenta o esquema utilizado para definição dos testes estatísticos aplicados nesta pesquisa.

Figura 7: Esquema para definição dos testes estatísticos utilizados

A seguir são descritos os procedimentos estatísticos utilizados para a análise dos dados em cada uma das disciplinas e os resultados obtidos.

7.1 Resultados na Disciplina AOC

O teste de Mann-Whitney foi utilizado para avaliar se as amostras pertenciam a populações com a mesma distribuição. Esse teste não apresentou significância estatística ($W=182$; $p=0,722$) e, portanto, se aceita a hipótese de que os grupos apresentam equivalência pré-experimental de amostragem. Para testar a normalidade das amostras, foi utilizado o teste Shapiro-Wilk, o qual demonstrou que o grupo de controle ($W=0,843$; $p=0,023$) e o grupo experimental ($W=0,929$; $p=0,047$) não seguiam uma distribuição normal. Esse resultado levou à realização de uma análise de covariância (ANCOVA) para comparação entre as médias dos grupos, na qual foram utilizadas como covariáveis as pontuações obtidas no pré-teste.

Em termos gerais, a ANCOVA aplica estimadores da regressão linear entre a variável resposta e a covariável a fim de tornar possível calcular a diferença entre as médias iniciais e as médias finais ajustadas em função da covariável [23]. A Tabela 2 apresenta as médias iniciais (pré-teste) e as médias ajustadas (pós-teste) obtidas pelo grupo de controle e experimental.

No pré-teste o grupo de controle apresentou pontuações médias menores que o grupo experimental. Comparando as médias iniciais e as médias finais ajustadas, verifica-se que a média do grupo experimental diminuiu, enquanto a do grupo de controle aumentou. Essa diferença é demonstrada no gráfico da Figura 8.

No entanto, os resultados obtidos pela ANCOVA, apresentados na Tabela 3 indicam que não houve significância na comparação entre as médias ($p=0,455$; $\alpha=0,05$). Portanto, não há evidência suficiente para concluir que a utilização dos processadores BIP influenciou na aprendizagem dos alunos de AOC, seja para melhor ou para pior. Dessa forma, admite-se nessa disciplina a hipótese nula:

“H0: A média dos alunos do grupo experimental é menor ou igual à média do grupo de controle”.

Para testar a segunda hipótese da pesquisa, aplicou-se o teste Z para verificar se houve uma melhoria na proporção de acertos em uma das questões do instrumento de avaliação, a qual avalia a aprendizagem dos alunos sobre a diferença entre a arquitetura e a organização de um computador. Para $\alpha = 0,05$, o teste Z não apresentou significância ($Z=0,297$; $p=0,766$). Portanto, não se pode afirmar que os processadores BIP contribuíram para uma melhor distinção entre a arquitetura e organização do computador. Dessa forma, não se confirma a segunda hipótese de pesquisa: “H2: Os estudantes do grupo experimental perceberam mais claramente a distinção entre a arquitetura e a organização do computador”.

Figura 8: Gráfico da diferença entre as médias na disciplina AOC

7.2 Resultados na Disciplina Compiladores

Aplicando o teste de Shapiro-Wilk verificou-se que o grupo de controle apresentou distribuição normal ($W=0,886$; $p=0,181$). Já o grupo experimental não seguiu a distribuição normal ($W=0,810$; $p=0,007$), o que levou à utilização do teste não-paramétrico de Mann-Whitney que, para $\alpha = 0,05$, não apresentou significância estatística ($W=48,5$; $p=0,341$). Portanto, admite-se a equivalência pré-experimental de amostragem entre os grupos.

Grupo	n	Pré-teste		Pós-teste	
		Média	Desvio Padrão	Média Ajustada	P
Controle	13	3,923	0,954	4,145	0,455
Experimental	30	4,100	1,348	3,739	

Tabela 2: Pontuação média obtida no pré e pós-teste na disciplina AOC

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F	P
Médias ajustadas	1,53	1	1,53	0,57	0,455
Erro ajustado	107,41	40	2,69		
Ajuste total	108,95	41			

Tabela 3: Análise de Covariância utilizando escores iniciais como covariável

Para verificar a diferença entre as médias utilizou-se a análise de covariância. Na avaliação inicial o grupo experimental apresentou, em média, valores ligeiramente maiores que o grupo de controle, conforme apresentado na Tabela 4. Comparando as médias iniciais com as médias ajustadas do pós-teste, verifica-se uma modificação nos valores das médias de acertos dos alunos. Essa diferença fica evidente no gráfico ilustrado na Figura 9, onde se percebe que a média do grupo experimental aumentou, enquanto que a média do grupo de controle diminuiu.

Figura 9: Gráfico da diferença entre as médias na disciplina Compiladores

Os resultados obtidos pela ANCOVA, apresentados na Tabela 5, demonstram que há evidências estatísticas sobre a diferença entre os grupos ($p=0,006$). Portanto, pode-se afirmar que a inclusão dos processadores BIP na disciplina Compiladores produziu um efeito de melhoria na aprendizagem dos alunos, confirmando a hipótese de pesquisa: “ H_1 : A média dos alunos do grupo experimental é maior que a média do grupo de controle”.

Para testar a terceira hipótese, aplicou-se o teste Z em uma das questões do instrumento de avaliação do pós-teste. O teste Z demonstrou uma melhora significativa na proporção de acertos para $\alpha = 0,05$ ($Z=-2,66$; $p=0,008$). A

questão analisada refere-se à influência da arquitetura do processador na fase de geração de código da construção de um compilador. Portanto, considera-se essa mais uma evidência da efetividade da proposta didática aplicada, uma vez que se comprova a terceira hipótese de pesquisa: “ H_3 : Os estudantes do grupo experimental perceberam melhor a influência da arquitetura do computador nas diferentes etapas de construção do compilador do que os alunos do grupo de controle”.

8. Grupo Focal

Devido ao número reduzido de participantes nas amostras utilizadas na disciplina Compiladores (grupo de controle: $n = 9$; grupo experimental: $n = 14$), foi conduzido um estudo qualitativo com os alunos da disciplina. Esse estudo foi realizado por meio de um grupo focal, aplicado aos alunos que foram submetidos à intervenção pedagógica proposta (grupo experimental).

A técnica de grupo focal tem sido utilizada em pesquisas qualitativas com o objetivo de coletar dados por meio da interação grupal. De forma geral, pode-se definir um grupo focal como uma técnica de pesquisa na qual o pesquisador “reúne uma determinada quantidade de pessoas que fazem parte do público-alvo de suas investigações, tendo como objetivo coletar, a partir do diálogo e do debate com e entre eles, informações acerca de um tema específico” [24].

O grupo focal foi realizado com nove alunos da disciplina Compiladores. O moderador do grupo focal foi o professor da disciplina, o qual utilizou uma técnica não-diretiva, com a apresentação de perguntas abertas. O grupo focal seguiu um guia de temas previamente elaborado pelo moderador. A discussão do grupo focal foi registrada em gravações de áudio, as quais foram posteriormente transcritas e analisadas de forma qualitativa, por meio de uma análise temática.

Grupo	n	Pré-teste		Pós-teste	
		Média	Desvio Padrão	Média Ajustada	P
Controle	9	2,667	1,581	1,796	0,006
Experimental	14	2,929	0,829	3,059	

Tabela 4: Pontuação média obtida no pré- e pós-teste na disciplina Compiladores

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F	p
Médias ajustadas	8,62	1	8,62	9,54	0,006
Erro ajustado	18,08	20	0,9		
Ajuste total	26,71	21			

Tabela 5: Análise de Covariância utilizando escores iniciais como covariável

A seguir são apresentadas as principais percepções dos alunos em relação aos temas que foram levantados durante a discussão do grupo focal.

- Sobre o Assembly do BIP: os alunos expressaram concordância que o Assembly do BIP é mais simples que o Assembly do processador MIPS. No entanto, alguns alunos expressaram uma maior dificuldade para compreender as instruções de desvio condicional. Pois, no Assembly do BIP, ao contrário do que ocorre no MIPS, é necessário efetuar instruções de subtração antes da instrução desvio.
- Sobre os tipos de dados suportados pelo BIP: o BIP suporta somente dados do tipo inteiro. Isso, no entendimento dos alunos, facilitou a construção do compilador, já que reduziu os esforços despendidos na verificação de tipos de dados. Além disso, um aluno citou que nas etapas léxica e sintática seria necessário um número menor de declarações de tipos.
- Sobre a dificuldade em resgatar a lógica de programação Assembly: os alunos expressaram facilidade em resgatar a lógica de programação Assembly, pois já haviam estudado em semestres anteriores.
- Sobre a utilização do Bipide nas aulas de compiladores: a maioria dos alunos confirmou que utilizaram o Bipide para testar os códigos Assembly gerados pelos compiladores desenvolvidos na disciplina. Além disso, alguns alunos inicialmente geraram o código Assembly no Bipide e depois compararam com o código gerado pelo compilador desenvolvido.
- Sobre o material didático de apoio disponibilizado: os alunos demonstraram satisfação com os materiais disponibilizados, os quais foram bastante importantes para o desenvolvimento do trabalho desenvolvido na disciplina. Os alunos citaram que o principal material consultado foi uma tabela onde era apresentado o código em alto nível e o Assembly correspondente.
- Sobre a influência do BIP nas diferentes fases de construção do compilador: ficou evidente que a fase do projeto do compilador que sofreu maior influência do BIP foi a geração de código.
- Sobre a etapa de geração de código: um dos alunos citou que os trabalhos das disciplinas concorrentes tomaram o tempo que eles tinham para desenvolver o trabalho. No entanto um dos alunos indicou que o tempo disponibilizado em sala de aula pelo professor

foi suficiente para que o trabalho pudesse ser concluído.

9. Conclusões

Esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar o efeito de uma prática pedagógica interdisciplinar baseada na utilização dos processadores BIP sobre a aprendizagem dos alunos das disciplinas Arquitetura e Organização de Computadores e de Compiladores. Para alcançar esse objetivo foram realizados estudos teóricos sobre os temas necessários para a realização da pesquisa e um mapeamento sistemático sobre trabalhos que tratam de avaliações de propostas interdisciplinares na área de Computação. Posteriormente, para mensurar a aprendizagem dos alunos foi conduzido um estudo quase-experimental, com a aplicação de pré e pós-teste a grupos de controle e experimental.

A avaliação realizada na disciplina AOC, não demonstrou evidências estatísticas de que a inclusão dos processadores BIP produziu qualquer efeito na aprendizagem dos alunos, já que o grupo experimental apresentou um desempenho médio equivalente ao grupo de controle. Vale ressaltar que os processadores BIP foram utilizados na disciplina AOC como um modelo inicial de processador, não sendo alvo de estudos durante toda a disciplina. Em função disso, acredita-se que a alteração realizada no programa da disciplina não tenha sido suficiente para representar uma melhoria na aprendizagem geral dos alunos no decorrer do semestre.

Na disciplina Compiladores, a alteração no programa da disciplina representou uma mudança significativa, já que os processadores BIP passaram a ser o processador-alvo da disciplina. Essa mudança foi percebida nas avaliações realizadas, nas quais os resultados obtidos apresentaram evidências significativas que demonstram uma melhoria na aprendizagem dos alunos. Além disso, ficou evidente que a adoção do BIP facilitou a atividade de construção de um compilador, principalmente na etapa de geração de código. Essas descobertas são fortalecidas pelos resultados obtidos no grupo focal conduzido nessa disciplina, nos quais os alunos expressaram que a simplicidade da arquitetura e do conjunto de instruções do processador BIP colaborou para a realização das atividades de geração de código. Além disso, os alunos demonstraram satisfação com os materiais didáticos disponibilizados, julgando-os suficientes para a realização das tarefas.

Com os resultados mencionados anteriormente, pôde-se responder a questão que motivou esse estudo: “*A utilização da família de processadores BIP influencia positivamente na aprendizagem dos alunos nas disciplinas de Arquitetura e Organização de Computadores e de Compiladores?*”. As evidências encontradas mostram que:

- A utilização dos processadores BIP não produziu qualquer efeito significativo na aprendizagem dos alunos de AOC. Os alunos que aprenderam sobre os processadores BIP não progrediram e nem regrediram mais do que os que não aprenderam sobre esses processadores, pois tiveram desempenhos semelhantes.
- A utilização dos processadores BIP produziu um efeito positivo na aprendizagem dos alunos na disciplina Compiladores. Ou seja, os alunos que utilizaram os processadores BIP progrediram mais que os alunos que não utilizaram esses processadores. Além disso, esses alunos perceberam melhor a influência da arquitetura do processador na etapa de geração de código.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são passíveis de discussão. O número reduzido de participantes nas amostras pode ter contribuído para que alguns resultados não tenham apresentado significância estatística. Além disso, em todos os grupos houve abandono de participantes, reduzindo ainda mais as amostras iniciais. A utilização de diferentes instrumentos de avaliação na disciplina AOC pode ter influenciado os resultados, pois esses instrumentos podem ter tido diferentes níveis de dificuldade. Entretanto, os mesmos instrumentos foram aplicados nas diferentes turmas e, se essa ameaça influenciou um grupo, também pode ter influenciado o outro grupo de forma semelhante.

A principal contribuição desta pesquisa foi propor uma prática pedagógica incluindo os processadores BIP nas disciplinas Compiladores e AOC. Espera-se que este trabalho sirva de referência para outras pesquisas e que os métodos e procedimentos adotados possam ser seguidos e/ou aperfeiçoados. Colabora para isso a disponibilidade de um website, onde estão disponíveis os materiais desenvolvidos durante a pesquisa, incluindo planos de aula e materiais didáticos, os quais podem facilitar a adoção dos processadores BIP por outros professores e instituições de ensino.

Como trabalho futuro, sugere-se a replicação dos experimentos com um número maior de alunos, o que pode evidenciar novas descobertas. Além disso, pode-se ainda aplicar novos testes estatísticos que evidenciem aspectos não levantados nesta pesquisa. Vislumbra-se o envolvimento de outras disciplinas na proposta interdisciplinar de uso dos processadores BIP. Algumas disciplinas que podem se beneficiar dessa proposta são aquelas das áreas de programação introdutória, computação básica, circuitos digitais e sistemas operacionais.

Referências

- [1] V. G. Renumol; D. Janakiram; S. Jayaprakash. Identification of Cognitive Processes of Effective and Ineffective Students During Computer Programming. *ACM Transactions on Computing Education*, 10(3), New York, 2010.
- [2] E. Lahtinen, K. Ala-Mutka, H. Järvinen. A study of the difficulties of novice programmers. In *10th Annual SIGCSE Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*. 37(3): 14-18, New York, 2005.
- [3] J. E. Moström, D. A. Carr. Programming paradigms and program comprehension by novices. In: *Workshop 10 Of The Psychology Of Programmers Interest Group*, Milton Keynes, 1998.
- [4] E. Verdú et al. A distributed system for learning programming on-line. *Computers & Education*, 58(1), 1-10, 2012.
- [5] L. Cassel et al. Computer Science Curriculum 2008: An Interim Revision of CS 2001. Association for Computing Machinery and IEEE Computer Society, <http://www.acm.org/education/curricula/ComputerScience2008.pdf>, jun. 2011.
- [6] C. A. Zeferino et al. Um Enfoque Interdisciplinar no Ensino de Arquitetura de Computadores. In: C. Martins, P. Navaux, R. Azevedo, S. Kofuji. *Arquitetura de Computadores: educação, ensino e aprendizado*. 2012.
- [7] J. T. Khalife. Threshold for the Introduction of Programming: Providing Learners with a Simple Computer Model. In: *28th International Conference on Information Technology Interfaces*, p. 71-76, Cavtat, 2006.
- [8] D. Morandi, A. L. A. Raabe, C. A. Zeferino. Processadores para ensino de conceitos básicos de arquitetura de computadores. In: *Workshop de Educação em Arquitetura de Computadores*. p. 17-24, Ouro Preto, 2006.
- [9] E. D. Bolanakis et al. A Teaching Approach for Bridging the Gap Between Low-Level and High-Level Programming Using Assembly Language Learning for Small Microcontrollers. *Computer Applications in Engineering Education*, 19(3), p. 525-537, 2011.
- [10] B. Nikolic et al. A Survey and Evaluation of Simulators Suitable for Teaching Courses. *IEEE Transactions on Education*, 52(4), p. 449-458,

- 2009.
- [11] P. V. Vieira, A. L. A. Raabe, C. A. Zeferino. Bipide: Ambiente de Desenvolvimento Integrado para Utilização dos Processadores BIP no Ensino de Programação. In: *XX Simpósio Brasileiro de Informática na Computação*. Florianópolis. 2009.
- [12] P. V. Vieira, A. L. A. Raabe, C. A. Zeferino. Avaliação Empírica da Proposta Interdisciplinar de Uso dos Processadores BIP. In: *Anais dos Workshops do II Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2013)*, p. 71-80, Campinas, 2013.
- [13] D. A. Patterson, J. L. Hennessy. Organização e projeto de computadores: a interface hardware/software. 3.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- [14] P. R. M. Rech et al. BIP IV: especificação e suporte na ferramenta Bipide. In: *International Symposium on Computer Architecture and High-Performance Computing Proceedings*, p. 10-20, Vitória, 2011.
- [15] Microchip.
<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP2003>. Jan. 2014.
- [16] J. Djordjevic, A. Milenkovic, N. Grbanovic. An Integrated Environment for Teaching Computer Architecture. *IEEE Micro*, 20(3), p. 66-74, 2000.
- [17] Bipide. Ambiente de Desenvolvimento Integrado para a família de processadores BIP <http://www.bipide.com.br>. Fev. 2014.
- [18] P. V. Vieira et al. Estendendo a Arquitetura dos Processadores BIP para Ampliar o seu Potencial de Uso em Disciplinas de Introdução a Programação. *International Journal of Computer Architecture Education*, 1(1), Porto Alegre, 2012.
- [19] J. Randolph et al. A Methodological Review of Computer Science Education Research. *Journal of Information Technology Education*, v. 7, p. 135-162. 2008.
- [20] M. A. Moreira. Pesquisa em ensino: o Vê epistemológico de Gowin. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1990.
- [21] D. T. Campbell, J. C. Stanley. Delineamentos experimentais e quase experimentais de pesquisa. São Paulo: EPU, 1979.
- [22] D. Ary et al. Introduction to Research in Education. 8. ed. Belmont: Wadsworth. 2009.
- [23] Mourão Júnior. Questões em bioestatística: o tamanho da amostra. *Revista Interdisciplinar de Estudos Experimentais*, 1(1), p. 26-28, 2009.
- [24] O. Cruz Neto et al. Grupos Focais e Pesquisa Social Qualitativa: o debate orientado como técnica de investigação. In: *XIII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Populacionais*, Ouro Preto, 2002.