

Avaliação quantitativa do uso de um ambiente *open-source* de auxílio ao aprendizado de hierarquia de memória

Luiza Maria Novais Coutinho, José Leandro Dias Mendes,
Carlos Augusto Paiva da Silva Martins

DCC – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Av. Dom José Gaspar, 550 – 30.535-500 - Belo Horizonte – MG – Brasil
{luizamncoutinho, joseleandrodm}@yahoo.com.br, capsm@pucminas.br

Abstract. *Currently some studies indicate the difficulties of the students in the learning of topics where education with static mechanisms is not enough so that the student can understand of clear form the several subjects that enclose it. With the objective to minimize this problem, tools had been developed, as for example the Web open-source Memory Hierarchy Environment called Web-MHE. During the second semester of 2006 in the course of Computer Science, tests with the students had been carried through to evaluate the improve in the level of learning in the topic of memory hierarchy with the use of the Web-MHE in Computer Architecture's discipline.*

Resumo. *Nos últimos anos vários estudos indicam as dificuldades dos alunos no aprendizado de tópicos em que o ensino com mecanismos estáticos não é suficiente para que o estudante possa compreender de forma clara os diversos assuntos que a abrangem. Com o objetivo de minimizar este problema foram desenvolvidas ferramentas, como por exemplo o ambiente web open-source de auxílio ao aprendizado de hierarquia de memória intitulado Web-MHE. Durante o segundo semestre de 2006, no curso de Ciência da Computação, foram realizados testes com os alunos para avaliar o ganho no nível de aprendizado no tópico de hierarquia de memória com o uso do Web-MHE na disciplina de Arquitetura de Computadores.*

1. Introdução

O tópico hierarquia de memória normalmente é introduzido e apresentado nos períodos iniciais dos cursos de computação, informática e em algumas engenharias, nas disciplinas relacionadas a Arquitetura e Organização de Computadores [SBC 2003].

Por meio das recomendações de currículos internacionais, o IEEE *Computer Society* em conjunto com a ACM *Computer Engineering* identificam a hierarquia de memória como um importante tópico na área de conhecimento de Arquitetura e Organização de Computadores [IEEE 2004]. Este fato pode ser justificado pela correlação entre os desempenhos do sistema computacional e da hierarquia de memória [Hennessy 2002][Hennessy 2004].

As disciplinas relacionadas a Arquitetura e Organização de Computadores abrangem o estudo das unidades funcionais básicas do computador e o modo como elas interagem. Estas possuem um enfoque principalmente em arquiteturas de processadores, hierarquias de memória, mecanismos de comunicação e sistemas de multiprocessadores.

Em relação ao estudo de memórias, elas envolvem uma grande variedade de conceitos e funcionalidades como tipos (*cache*, principal e virtual), organização, mapeamento, políticas, associatividades, níveis, *memory trace* etc. [Hennessy 2002][Hennessy 2004].

Um grande problema encontrado no estudo de hierarquia de memória é a dificuldade de visualização, compreensão e exemplificação do que acontece durante os acessos às posições de memória nos diversos níveis hierárquicos. Os professores através de *slides*, quadro negro, livros e outros mecanismos estáticos, em sua maioria não conseguem prender a atenção dos alunos e motivá-los, dificultando o seu aprendizado [Grünbacher 1998]. O uso de computadores em salas de aula e laboratórios resultou em novos métodos de ensino, usando computadores como ferramentas didáticas.

A utilização de ferramentas didáticas de simulação pode contribuir para o aprendizado e a elaboração de exercícios mais objetivos, em que os alunos podem comparar resultados de diferentes opções de arquiteturas e *memory traces* e visualizar os diversos níveis da hierarquia, assim explorando o impacto destas sobre o desempenho do processador e do sistema computacional [Djordjevic 1998][Djordjevic 2000].

De acordo com a literatura, a complexidade e a dificuldade de verificar exercícios e questões por parte dos estudantes podem ser minimizadas com a utilização de simuladores didáticos, tornando a tarefa de resolução de exercícios mais eficiente [Djordjevic 1998][Djordjevic 2000].

A utilização de ferramentas didáticas *open-source* contribui para facilitar o aprendizado e ampliar o conhecimento, pois, além de não ter custos, o estudante pode ainda analisar o código de modo detalhado e entender o funcionamento de determinadas estruturas. Outra vantagem destas ferramentas é a possibilidade do professor propor aos seus alunos melhorias ou adaptações na ferramenta, com o objetivo de incorporar novas estruturas, funcionalidades ou técnicas apresentadas durante a disciplina, assim testando os conhecimentos teóricos aprendidos em sala de aula.

O uso de ambientes didáticos *open-source* que incorporem funcionalidades como simulação, tutoriais didáticos e animações, por parte dos estudantes, pode auxiliar o seu aprendizado, facilitando a sua compreensão e aumentando o seu grau de conhecimento. No estudo do estado da arte não foram encontrados ambientes com estas características, com isto, foi proposto e desenvolvido o Web-MHE (*Web Memory Hierarchy Enviroment*) que é um ambiente *web* de auxílio ao aprendizado e à pesquisa de hierarquia de memória [Mendes 2006a][Mendes 2006b][Mendes 2006c].

O principal problema motivador desta pesquisa é a inexistência de trabalhos que avaliem quantitativamente a influência do uso de uma ferramenta de simulação de hierarquia de memória no nível de aprendizado dos alunos deste tópico.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar quantitativamente o uso do ambiente Web-MHE na prática como método de auxílio ao aprendizado, avaliando o ganho de conhecimento dos alunos no tópico de hierarquia de memória.

O restante do artigo está organizado da seguinte maneira. A seção 2 analisa a importância do uso de simuladores no ensino de hierarquia de memória. A seção 3 detalha o ambiente Web-MHE. O método de avaliação do ambiente é apresentado na seção 4. Os resultados quantitativos da utilização do ambiente por estudantes no

aprendizado de hierarquia de memória são apresentados na seção 5, enquanto a seção 6 conclui o trabalho.

2. O uso de simuladores no ensino de hierarquia de memória

O modelo tradicional de ensino, em que o professor apresenta diversos conceitos utilizando meios estáticos como transparências e livros, não é suficiente para que a maioria dos alunos tenha uma compreensão precisa do que está sendo ensinado, como por exemplo em hierarquia de memória [Grünbacher 1998][Djordjevic 1998][Djordjevic 2000].

A integração do modelo tradicional de ensino com a teoria e o uso de simuladores didáticos contribui para uma melhor compreensão do conteúdo, pois são capazes de traduzir para a realidade os conceitos teóricos, apresentando-os de modo mais claro e didático [Djordjevic 2005][Yurcik 2002].

Os simuladores envolvem a criação de modelos dinâmicos e simplificados do mundo real. Em geral, os simuladores, apesar de mais simples que os sistemas reais, também oferecem dificuldades de uso, pois a maioria requer um grande nível de conhecimento do estudante.

Um simulador didático deve ser capaz de oferecer ao estudante a possibilidade de escolha do tipo de simulação de acordo com o seu nível de conhecimento, assim, permitindo uma evolução natural da complexidade das simulações. Outras características importantes são a independência de plataforma, facilidade de instalação, configuração e utilização, reduzindo o tempo gasto no aprendizado do simulador. A ferramenta deve oferecer uma grande quantidade de informações de maneira clara e objetiva, contribuindo para o aprendizado e ampliando o raciocínio e o pensamento crítico do estudante. Deste modo, possibilitando que o mesmo aprenda e execute vários exercícios, elaborando hipóteses e verificando soluções para um determinado problema.

3. Ambiente web de auxílio ao aprendizado de hierarquia de memória

O Web-MHE é um ambiente web *open-source* baseado na licença GNU General Public License (GPL) que tem como objetivo auxiliar o aprendizado de hierarquia de memória através de recursos como interface didática, scripts de configuração, carregamento dinâmico de módulos, arquivos pré-configurados, abrangência de diversos níveis de conhecimento, entre outros.

O ambiente é composto por dois grandes módulos sendo estes o conjunto de tutoriais didáticos e o simulador Web-MHSim (Simulador *Web* de Hierarquia de Memória) [Coutinho 2006a][Coutinho 2006b].

Os tutoriais são compostos por textos explicativos dos conceitos da teoria de *cache* (mapeamento direto, associativa por conjunto, completamente associativa, *cache* separada e múltiplos níveis), memória principal (unificada e separada) e virtual (TLB, tabela de páginas e memória virtual) oferecendo ao estudante recursos capazes de auxiliá-lo no aprendizado de hierarquia de memória. Também estão disponíveis simulações automáticas que permitem ao usuário visualizar os resultados da teoria estudada.

Uma das principais características do Web-MHSim é a possibilidade de simular e acompanhar o comportamento de várias combinações de estruturas, como *cache* unificada, *cache* separada, *cache* com múltiplos níveis, memória principal e memória virtual, auxiliando o professor no ensino e o aluno no aprendizado, permitindo configurar e simular diversas estruturas com grande facilidade.

As simulações são realizadas com um nível variável de detalhes (Figura 1), mostrando passo a passo cada endereço que é acessado e os endereços remanescentes, permitindo também que o estudante informe os dados relativos ao endereço atual (bloco, *slot*, *tag*, *miss/hit*, tipo de falta, tempo de acesso, página virtual e *frame*), auxiliando o estudante na análise e percepção do desempenho da hierarquia de memória configurada.

Address	Block	Slot	Tag	Miss/Hit	Type of miss	Time
18	1	1	0	Cache Miss/Replace	Compulsory	510.0
144	9	1	2	Cache Miss/Replace	Conflict	510.0
144	9	1	2	Cache Hit		510.0
128	8	0	2	Cache Hit		510.0
80	5	1	1	Cache Miss/Replace	Compulsory	510.0
18	1	1	0	Cache Miss/Replace	Conflict	510.0
100	6	2	1	Cache Miss	Compulsory	510.0
128	8	0	2	Cache Hit		10.0
144	9	1	2	Cache Miss/Replace	Capacity	510.0
128	8	0	2	Cache Hit		510.0
144	9	1	2	Cache Hit		510.0
144	9	1	2	Cache Hit		510.0
128	8	0	2	Cache Hit		510.0
10	0	0	0	Cache Miss/Replace	Compulsory	510.0
80	5	1	1	Cache Miss/Replace	Capacity	510.0
18	1	1	0	Cache Miss/Replace	Capacity	510.0

Figura 1. O Web-MHE durante uma simulação de *Caches* Separadas

Para facilitar a compreensão dos cálculos efetuados pelo simulador (*slot*, *tag*, tempo médio de acesso, dentre outros) o usuário pode visualizar detalhadamente na guia de cálculos todas as operações realizadas após a entrada de cada endereço.

Durante toda a simulação são exibidas várias informações estatísticas referentes a cada endereço, permitindo visualizar o número de blocos distintos, taxa de acerto, taxa de faltas compulsórias, conflito e capacidade e taxa de ocupação de cada estrutura. Ao mesmo tempo é possível analisar um gráfico com as principais taxas obtidas durante a simulação, auxiliando o estudante na verificação do desempenho das estruturas simuladas.

O usuário pode interagir com a simulação, a qualquer momento, informando os valores do bloco, *slot*, *tag*, *miss/hit*, tipo de falta, tempo de acesso, *fault/hit*, número da página virtual e/ou do *frame*. Em seguida o simulador confere os dados informados e exibe para o usuário os seus acertos e erros. Com essa interatividade o usuário pode verificar e ampliar o seu nível de conhecimento.

O objetivo dos *scripts* de configuração é permitir a automatização das simulações, facilitando a comparação entre diversas estruturas. Ao final do seu processamento é possível analisar gráficos estatísticos sobre cada uma das várias estruturas simuladas, assim como um gráfico comparativo entre as mesmas. Um exemplo da sua utilização é a criação de *scripts* que realizem comparações de uma estrutura com variações de alguns parâmetros ou com arquiteturas distintas, permitindo que o estudante analise a variação, o impacto e a influência no desempenho das estruturas simuladas.

A possibilidade de carregar módulos dinamicamente permite ao usuário criar novas estruturas de memória (*cache*, principal e virtual) que possam ser carregadas e incorporadas pelo simulador, e em seguida serem simuladas em conjunto com as estruturas existentes. Esta funcionalidade pode ser utilizada pelo professor caso queira adicionar uma nova estrutura ou característica para exemplificar algum conceito teórico.

Animações simples e didáticas estão disponíveis para facilitar a compreensão por parte do usuário da hierarquia como um todo, sendo possível acompanhar os possíveis caminhos percorridos pelos dados e/ou instruções até o processador.

4. Método de avaliação

A avaliação quantitativa foi realizada com o auxílio de questionários e testes aplicados aos alunos de arquitetura de computadores II, do curso de Ciência da Computação, durante o segundo semestre de 2006 na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Foram utilizados dois questionários com questões qualitativas com o objetivo de identificar a opinião dos alunos a respeito de diversos temas. O primeiro questionário buscou identificar o interesse do aluno pela disciplina e também suas opiniões a respeito do uso de simuladores com o objetivo de auxiliar o aprendizado. O segundo questionário foi aplicado no final do semestre para obter opiniões sobre a eficiência do uso do ambiente.

Em conjunto com os questionários foram aplicados dois testes (pré e pós-testes), sendo o pré-teste composto por questões teóricas sobre hierarquia de memória a fim de quantificar o conhecimento prévio de cada aluno sobre o assunto. O pós-teste teve como objetivo avaliar o ganho no aprendizado de cada aluno que utilizou o ambiente em relação àqueles que não o utilizaram. Ambos tiveram questões teóricas e práticas. Para incentivar os alunos a responderem “seriamente” os teste e os questionários foram distribuídos pontos extras.

O método aplicado é composto por 6 etapas, sendo que a primeira destas é a aplicação do pré-teste e o primeiro questionário aos alunos, a etapa seguinte consiste na divisão dos alunos por nível de conhecimento prévio, na terceira etapa os grupos são divididos em subgrupos que irão ou não utilizar o simulador, na próxima etapa são aplicados o pós-teste e o segundo questionário, para que na quinta etapa sejam eliminados os alunos que não responderem a todos os testes e por último colhidos os resultados da avaliação quantitativa para serem analisados (Figura 2).

Em um primeiro momento foram aplicados o pré-teste e o primeiro questionário a 27 alunos, para avaliar o conhecimento prévio de cada sobre hierarquia de memória.

Foram analisadas as respostas e cada aluno foi classificado de acordo com o seu nível de conhecimento prévio.

Os 27 alunos foram divididos em quatro grupos baseados no nível de conhecimento prévio (bom, médio, regular e ruim). Destes, a metade dos alunos pertencentes a cada grupo utilizaram o ambiente (grupos A, B, C e D com os respectivos níveis de conhecimento prévio bom, médio, pequeno e nenhum) com o objetivo de avaliar o ganho no aprendizado em relação àqueles que não utilizaram (grupos E, F, G e H com os níveis de conhecimento prévio bom, médio, pequeno e nenhum respectivamente). Para garantir que os grupos E, F, G e H não tivessem acesso a ferramenta, esta foi retirada do *site* e disponibilizada apenas durante as aulas de arquiteturas de computadores para os outros grupos.

Com a ajuda dos tutoriais que possuem diversas teorias e exemplos de simulação os primeiros quatro grupos utilizaram a ferramenta como complemento a teoria ensinada em sala de aula. Com o uso do recurso de poder simular a entrada de endereços passo-a-passo e as animações didáticas, o aluno pôde visualizar o estado das memórias após a inserção de cada endereço, assim facilitando o entendimento do conteúdo. A inserção manual de dados durante a simulação foi utilizada para verificação dos resultados dos exercícios dados durante as aulas.

Após o uso do ambiente durante a disciplina, foi aplicado o pós-teste à todos os grupos, para verificar a melhora ou piora no aprendizado dos alunos que utilizaram o simulador e o segundo questionário aos grupos que utilizaram o ambiente, onde estes opinaram sobre a importância da utilização do ambiente. Após a aplicação do pós-teste todos os alunos tiveram acesso a ferramenta antes da prova de hierarquia de memória.

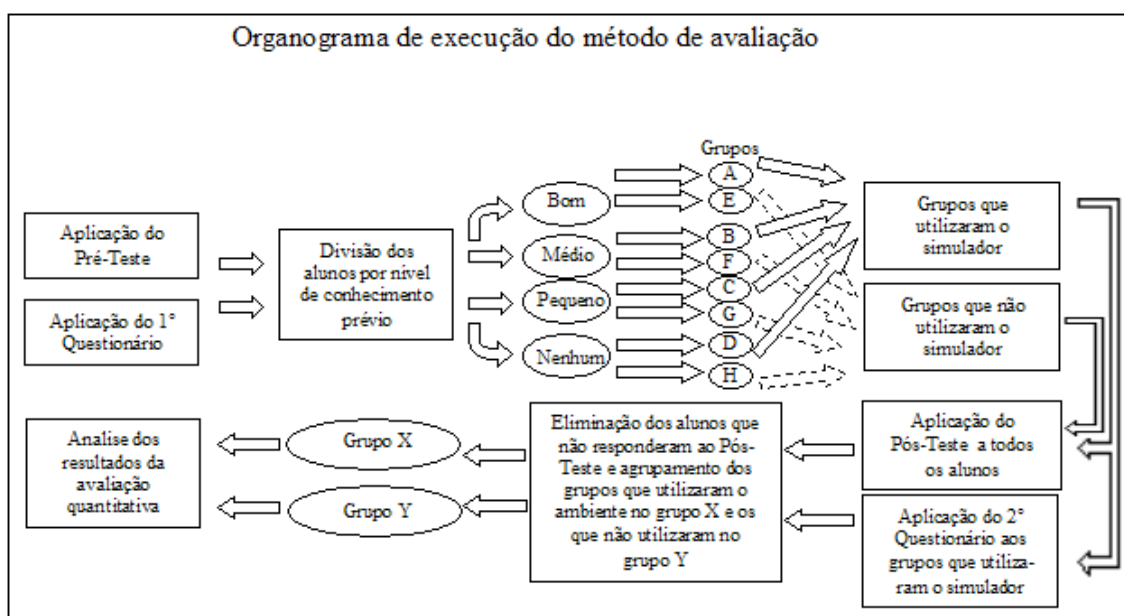


Figura 2. Organograma de execução do método de avaliação proposto

Para realizar a análise dos resultados foram selecionados 22 alunos, considerando apenas aqueles que responderam o segundo questionário e pós-teste e para criar dois grupos homogêneos (cinco alunos não fizeram o pós-teste), obtendo 8 alunos com bom nível de conhecimento prévio, 4 alunos com nível médio, 4 alunos com nível

pequeno e 6 alunos sem conhecimento prévio. Todos os grupos dos níveis de conhecimento citados foram divididos em dois, assim, obtendo 11 alunos que utilizaram o ambiente (grupo X) e 11 que não tiveram acesso (grupo Y).

5. Resultados

Analizando os resultados do pós-teste é possível verificar que a maior nota do grupo X foi cerca de 10% superior a maior nota do grupo Y, assim como a menor nota obtida pelo grupo que não utilizou o ambiente foi cerca de 13% inferior ao outro grupo. Dentre as cinco maiores notas, 4 foram obtidas por alunos do grupo que utilizou o ambiente (Figura 3).

Apenas 1 aluno do grupo X não atingiu a média de 60%, já em relação ao grupo Y quatro alunos ficaram abaixo da média, ou seja, se a disciplina fosse composta somente de hierarquia de memória, 4 alunos seriam reprovados, assim demonstrando que a ferramenta auxiliou os alunos do grupo X à melhorarem a sua média (Figura 3).

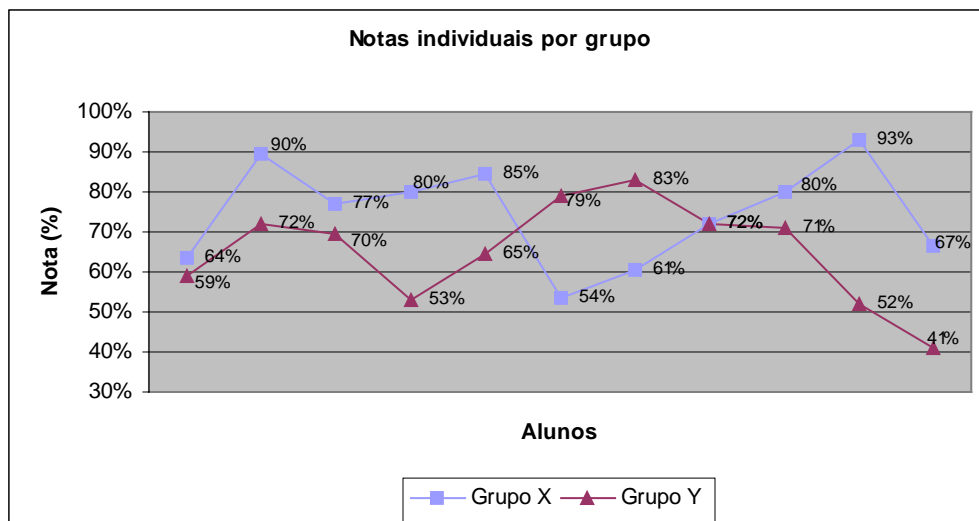


Figura 3. Notas individuais em relação à média para aprovação

Observando a Figura 4 é possível verificar que o grupo X obteve uma nota média em torno de 10% melhor do que o grupo Y, o que pode ser visto nos resultados das médias aritmética e geométrica, que foram de 75.7% (grupo X) e 65.0% (grupo Y) e de 74.9% (grupo X) e 64.2% (grupo Y) respectivamente. Isto mostra que os alunos que utilizaram a ferramenta conseguiram ter um melhor aprendizado do tópico hierarquia de memória.

Considerando as notas médias aritméticas e geométricas do pós-teste, por nível de conhecimento, é possível constatar que o uso da ferramenta foi mais benéfico para os alunos com algum conhecimento prévio (conhecimento médio). Em todos os níveis de conhecimento o grupo X obteve uma melhor média em relação ao grupo que não utilizou o simulador (Figura 4).

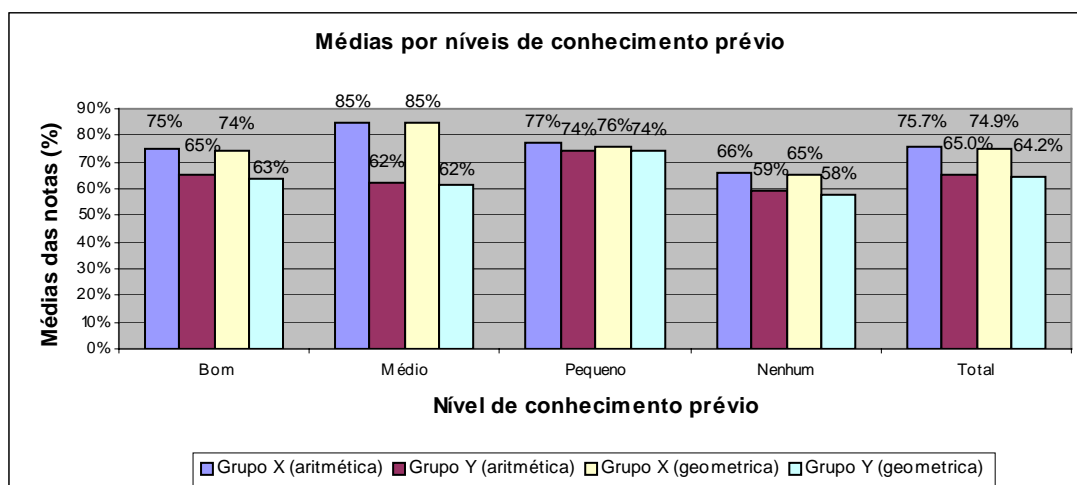


Figura 4. Nota média (aritmética e geométrica) obtida por cada grupo em relação ao nível de conhecimento prévio de hierarquia de memória e a nota média total dos grupos X e Y.

A importância do uso do ambiente como auxílio ao aprendizado também pode ser percebida ao analisar as respostas dos alunos no último questionário, onde a maioria considerou que a utilização do Web-MHE foi benéfica, contribuindo para o seu aprendizado.

Por ser *open-source*, foi possível propor aos alunos a inserção de melhorias e/ou novas funcionalidades relacionadas a teoria de hierarquia de memória. Para realizar a atividade proposta os alunos tiveram que realizar pesquisas e estudar mais a fundo os diversos conceitos de hierarquia de memória. Algumas das funcionalidades propostas e implementadas foram a criação de novas políticas de substituição, técnicas de otimização e outras.

Ao final do teste alguns alunos ficaram interessados em realizar iniciação científica e trabalhar no desenvolvimento de uma nova versão do Web-MHE, sendo que oficialmente dois destes alunos estão trabalhando no projeto da nova versão do ambiente.

6. Conclusão

Os resultados obtidos com o uso de uma ferramenta didática *open-source*, como método de auxílio ao aprendizado de hierarquia de memória foram interessantes, pois os alunos que utilizaram o Web-MHE obtiveram notas superiores aos outros, indicando que esses alunos dominaram o conteúdo com mais facilidade. De acordo com os resultados obtidos pode-se observar a importância do uso de ferramentas didáticas *open-source* em paralelo ao método tradicional de ensino, pois deste modo um complementa o outro, assim resultando em um modelo de ensino mais eficaz.

Como principal contribuição é possível destacar a avaliação quantitativa do ganho no aprendizado dos estudantes no tópico hierarquia de memória com o uso do Web-MHE. Outras importantes contribuições foram que o método de avaliação utilizado pode ser aplicado em outras disciplinas para avaliar outras ferramentas e o acréscimo no conhecimento de hierarquia de memória dos alunos que utilizaram o ambiente.

Como trabalho futuro ampliaremos o uso do ambiente Web-MHE realizando novos testes em novas turmas e em outras universidades e por um período maior, para obter resultados mais precisos sobre a eficiência do uso do ambiente. Também estará disponível um espaço no *site* do Web-MHE para que os usuários que adicionarem novos recursos à ferramenta, utilizando o código que está disponível ou o *class-loader*, possam divulgar suas contribuições, assim ampliando o número de pessoas envolvidas no projeto. Outro trabalho futuro será a melhoria e o aprimoramento do método de avaliação.

Referências

- Coutinho, L. M. N., Mendes, J. L. D. and Martins, C. A. P. S. (2006a) “MSCSim – Multilevel and Split Cache Simulator”, In: *36th Frontiers in Education Conference (FIE)*, p. T1F 7-12.
- Coutinho, L. M. N., Mendes, J. L. D. and Martins, C. A. P. S. (2006b) “Web-MHSim: Simulador didático de hierarquia de memória com carregamento dinâmico de módulos”, In: *VII Workshop em Sstemas Computacionais de Alto Desempenho (WSCAD)*.
- Djordjevic, J., Nikolic, B. and Mitrovic, M. (2005) “A Memory System for Education”, *The Computer Journal*, Vol. 48, No. 6, p. 630-64.
- Djordjevic, J. Milenkovic, A. and Grbanovic. N. (2000) "An Integrated Environment for Teaching Computer Architecture", *IEEE Micro*, Vol. 20, No. 3, p. 66-74.
- Djordjevic J., Milenkovic A. and Prodanovic S. (1998) “A Hierarchical Memory System Environment”, In: *WorkShop On Computer Architecture Education (WCAE), 25th Internacional Symposium On Computer Architecture (ISCA)*, Barcelona, Spain.
- Grünbacher H. (1998) “Teaching Computer Architecture / Organization using simulators”, In: *28th Frontiers in Education Conference (FIE)*, p. 1107-1112.
- Hennessy, J. L. and Patterson, D. A. (2004), *Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface*, third edition, Morgan Kaufman.
- Hennessy, J. L. and Patterson, D. A. (2002), *Computer Architecture: A Quantitative Approach*, third edition, Morgan Kaufman.
- IEEE. (2004), “Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Engineering, Joint Task Force on Computer Engineering Curricula”, *IEEE Computer Society Association for Computing Machinery*.
- Mendes, J. L. D., Coutinho, L. M. N. and Martins, C. A. P. S. (2006a) “Web-MHE - Web Memory Hierarchy Learning and Research Environment”, disponível em <http://web-mhe.msccsim.com/>.
- Mendes, J. L. D., Coutinho, L. M. N. and Martins, C. A. P. S. (2006b) “Web memory hierarchy learning and research environment”, In: *Workshop On Computer Architecture Education (WCAE), 33th Internacional Symposium On Computer Architecture (ISCA)*, Boston, United State, p. 25-32.
- Mendes, J. L. D., Coutinho, L. M. N. and Martins, C. A. P. S. (2006c) “Web-MHE - Ambiente web de auxilio ao aprendizado, ensino e pesquisa de hierarquia de

- memória”, In: XIV Workshop sobre Educação em Computação (WEI), Campo Grande, MS, p. 264-273.
- SBC. (2003), “Currículo de Referência da SBC para Cursos de Graduação em Computação e Informática”, disponível em: <http://www.sbc.org.br/index.php?language=1&subject=28>, acessado em: 09 de fevereiro de 2007.
- Yurcik, W., Wolffe, G. S., Holliday, M. and Osborne, H. (2002) “Teaching Computer Organization/Architecture With Limited”, *ACM SIGCSE Bulletin*, Vol 34, No. 1, p.176-180.