

Modelo de simulação a eventos discretos como recurso didático em disciplina de física no Ensino Médio

João José de Assis Rangel, joao@ucam-campos.br

Antônio Carlos Torres Teixeira, acarlostt@uol.com.br

Eduardo Shimoda, shimoda@ucam-campos.br

Rogério Trindade Lisbôa, rogeriotrind@hotmail.com

Universidade Candido Mendes (UCAM-Campos), Programa de Pós-graduação em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

*Recebido: Novembro, 2010 / Aceito: Março, 2011

RESUMO

O ensino da disciplina de Física apresenta certos desafios para professores do Ensino Médio, principalmente quando o tema aborda conceitos muito abstratos. A utilização da informática e, particularmente, da simulação computacional tem sido estimulada como recurso didático de modo a facilitar o aprendizado dos alunos, uma vez que a visualização de um fenômeno em um ambiente gráfico pode proporcionar melhor compreensão. Este artigo apresenta uma análise da utilização de um modelo de simulação a eventos discretos de uma reação nuclear de fusão para auxiliar o ensino de Física em turmas de ensino médio. A utilização do modelo de simulação, associado a uma prévia aula expositiva levou a um aumento no índice de acertos de questões relacionadas ao tema da aula, especialmente conforme as questões aumentaram o grau de dificuldade.

Palavras-Chave: Simulação. Física. Ensino Médio. Recurso Didático.

1. INTRODUÇÃO

Segundo pesquisa realizada por SILVA (2005) em escolas públicas do município de Campos dos Goytacases, RJ (Brasil), a disciplina de que o aluno menos gosta é Física, seguida por Matemática. No ensino de Física, trata-se, muitas vezes, com situações dinâmicas as quais são representadas nos livros didáticos e pelo professor no quadro negro, com desenhos estáticos, ficando a cargo de cada aluno a transposição mental da animação. Da mesma forma, situações tridimensionais são representadas por modelos bidimensionais. Um desafio é como superar essas limitações de forma simples e eficaz.

“Nas últimas duas décadas, a utilização da informática na educação tem experimentado um enorme avanço no seu potencial e diversidade de usos” MEDEIROS e MEDEIROS (2002). Segundo BASER (1996), em países desenvolvidos, aproximadamente 90% dos laboratórios de ensino e pesquisa em Física eram assistidos por computadores. No Brasil, a introdução da informática na educação passou a se tornar possível, a partir dos anos 90, em parte devido a:

- o rápido avanço tecnológico dos computadores, permitindo máquinas mais rápidas, com mais memória e a preços mais acessíveis;
- o fim da política governamental de reserva de mercado de informática, ao final de 1992, permitindo a livre importação de computadores e softwares;
- o surgimento da internet, possibilitando o acesso e compartilhamento de informações em tempo real; e
- a disponibilidade de softwares atendendo a diversos escopos educacionais.

“Na atualidade, a informática tem uma aplicação muito diversificada no ensino de Física, sendo utilizada em medições, gráficos, avaliações, apresentações, modelagens, animações e simulações”. (REUSCH, 1996; KOCIJANCIC, 1996, MARINO, VIOLINO e CARPIGNANO, 1996; MARTINS, PEREIRA e MARTINS, 1996; ZOECHLING, 1996). A utilização da informática em simulações tem despertado o interesse de pesquisadores no Brasil e no exterior. DAVIS, GOTTSCHALK e DAVIS (2007) argumenta que a educação no século 21 somente estará à altura das necessidades dos Estados Unidos se tecnologias desenvolvidas na comunidade de simulação, além de melhoradas pelo poder da computação de alto desempenho, estiverem preparadas para suplantam a instrução didática tradicional. Estes autores citam suas experiências profissionais em simulação, computação e estudos pedagógicos para sustentar a tese de que esta implementação não é somente exigida, como também é factível, sustentável e disponível.

GOLDSMAN (2007) assegura que a simulação no computador apresenta uma variedade de oportunidades para estudantes de ensino médio conectarem a Matemática e Engenharia ao mundo real. Ele descreve um curso que usa simulação em computador para melhorar habilidades gerais de estudantes em estatística e probabilidade, modelos com filas, engenharia financeira e programação, concluindo que os estudantes podem facilmente manipular e aparentam gostar da experiência. Segundo VALENTE (1993), a simulação envolve a criação de modelos dinâmicos e simplificados do mundo real, com a seguinte ressalva:

“A simulação deve ser vista como um complemento de apresentações formais, leituras e discussões de aprendizado. Se estas complementações não forem realizadas não existe a garantia de que o aprendizado ocorra e de que o conhecimento possa ser aplicado à vida real. Além disso, pode levar o aprendiz a formar uma visão distorcida a respeito do mundo; por exemplo, ser levado a pensar que o mundo real pode ser simplificado e controlado da mesma maneira que nos programas de simulação. Portanto, é necessário criar condições para o aprendiz fazer a transição entre simulação e o fenômeno no mundo real. Essa transição não ocorre automaticamente e, portanto, deve ser trabalhada”.

Outros autores também adotam a posição de VALENTE (1993). Em uma análise sobre as possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física, MEDEIROS E MEDEIROS (2002) assinala que um sistema real é freqüentemente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos que contêm, necessariamente, simplificações e aproximações da realidade. Tomadas as devidas precauções alertadas por VALENTE (1993), MEDEIROS e MEDEIROS (2002), vê-se, de imediato, a aplicação da simulação na disciplina de Física do Ensino Médio em situações como:

- Utilização simulada de aparelhos ou equipamentos antes da utilização real, como por exemplo, na utilização de aparelhos de medição em circuitos elétricos. Esse tipo de simulação permite ao estudante manipular os aparelhos sem que haja dano real com uma inserção inadequada no circuito. Comprovado o aprendizado do estudante no modelo simulado, passaria ele, então, ao circuito real AGUIAR e CASTRO (2006);

- simulação de situações fictícias, perigosas, muito caras ou impossíveis de serem reproduzidas em laboratório. Por exemplo, uma reação nuclear, uma demonstração da teoria da relatividade DAMÁSIO e CALLONI (2009); e
- reprodução simulada de ensaios reais destrutivos GIORDAN (2005).

Assim, o presente artigo tem os seguintes objetivos:

(a) Construção de um modelo de simulação em Arena[®] 12 de uma reação nuclear de fusão, que ocorre comumente no interior do Sol, como recurso didático em aulas de Física para o Ensino Médio; e

(b) avaliação da percepção dos alunos quanto às facilidades proporcionadas pelo recurso, além da realização da aferição do grau de conhecimento adquirido na aula em três situações distintas.

2. DESCRIÇÃO BÁSICA DE UMA REAÇÃO DE FUSÃO NUCLEAR

A principal fonte de energia do Sol é a fusão termonuclear. A reação de fusão que ocorre no Sol e em outras estrelas é um processo constituído de várias etapas seqüenciais na qual o hidrogênio (H) se transforma em hélio (He). A Figura 1 mostra o ciclo próton-próton (pp) do processo de fusão com as respectivas reações presentes neste processo.

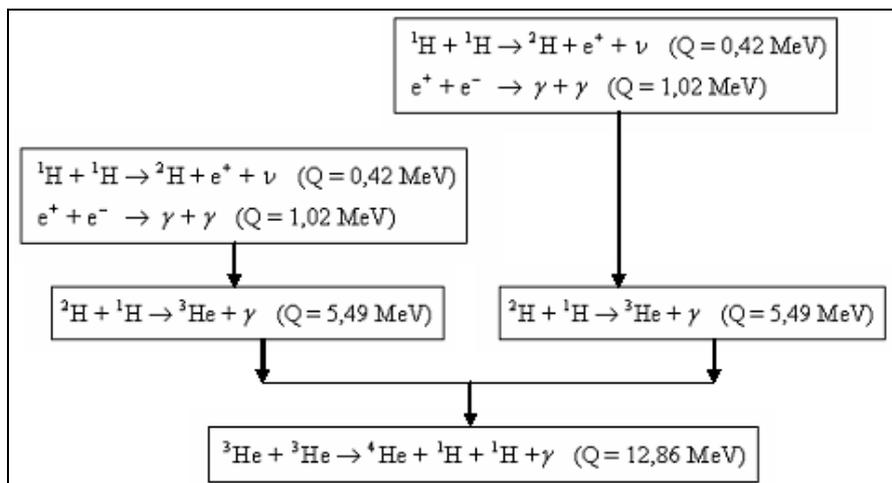


Figura 1: Reação próton-próton de fusão nuclear.

Para alunos do ensino médio é difícil a construção mental de um modelo que corresponda a esta reação. Por outro lado, atualmente, não é possível a sua reprodução em laboratório. No entanto, através do simulador foi possível produzir uma animação desta reação. O software Arena[®] foi concebido para atender a uma categoria de simulações para sistemas dinâmicos, estocásticos e discretos. Segundo FREITAS FILHO (2008), inúmeros são os sistemas aptos à modelagem e simulação a eventos discretos, como de produção, de transporte e estocagem, computacionais, administrativos, de prestação de serviço direto ao público, dentre outros.

O conteúdo de uma disciplina de Física no ensino médio, em sua maior parte, trata de sistemas estáticos ou dinâmicos com características determinísticas e contínuas, não atendendo, portanto, aos pressupostos do software de simulação Arena. No entanto, optou-se pela utilização dessa ferramenta, devido à sua capacidade de atender ao caso específico deste fenômeno, com relativa facilidade, e de outros de natureza semelhante.

3. MODELO DE SIMULAÇÃO

A partir da reação apresentada na Figura 1, foram elaborados os seguintes passos para serem utilizados na construção do modelo de simulação:

- 1) Criação dos ^1H ;
- 2) choque de 1 ^1H com 1 ^1H com a formação de 1 ^2H , 1 neutrino (ν) e um pósitron (e^+);
- 3) criação de ^1H para choque com ^2H ;
- 4) choque de 1 ^2H com 1 ^1H formando 1 ^3He e 1 raio gama (γ);
- 5) saída do neutrino (ν) do bloco 2;
- 6) criação de elétron (e^-) para choque com o pósitron (e^+);
- 7) choque de 1 elétron (e^-) com um pósitron (e^+) formando 2 raios gama (γ);
- 8) saída dos 2 raios gama (γ) do bloco 7;
- 9) criação de outro ^3He para choque com ^3He ;
- 10) saída de raio gama (γ) do bloco 4;
- 11) choque de 1 ^3He com 1 ^3He produzindo um ^4He e 2 ^1H ;
- 12) saída do ^4He do bloco 11;
- 13) saída dos ^1H do bloco 11.

O Apêndice A mostra de forma detalhada a descrição do modelo conceitual para cada passo da reação. Foram utilizados os elementos do IDEF-SIM apresentados em LEAL, ALMEIDA e MONTEVECHI (2008) de forma a se utilizar uma linguagem textual e de domínio público para descrever o modelo elaborado neste trabalho.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir do modelo conceitual descrito no Apêndice A, passou-se à construção do modelo de simulação com a utilização do software Arena[®]12. Esta construção, pelo fato de trabalhar com objetos voltados à simulação, na forma de blocos de fluxo, ao invés de digitação de linhas de sintaxe, é facilitada, principalmente para aqueles que não têm a devida habilidade em programação de computadores e desenvolvimento de softwares. As Figuras 2 e 3 mostram dois momentos apresentados pelo ambiente gráfico que podem ser visualizados durante a sua execução do modelo de simulação.

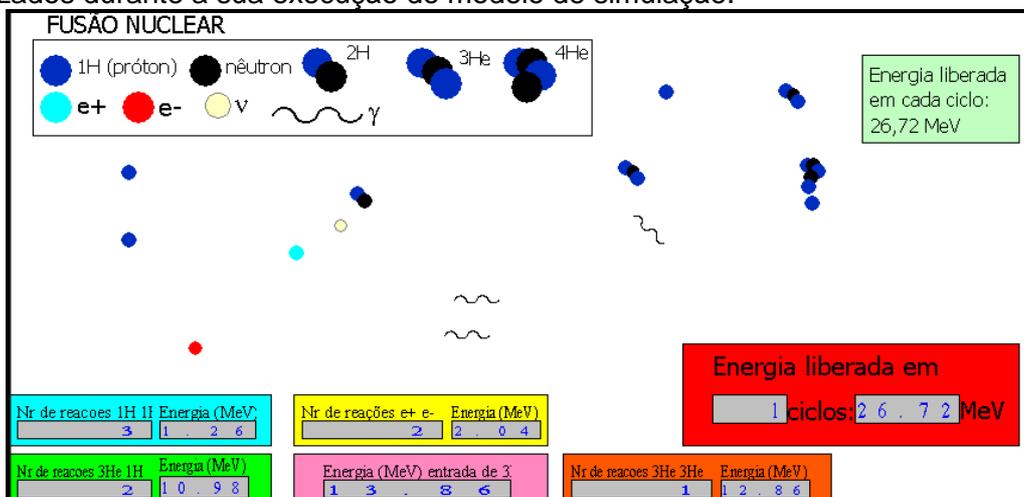


Figura 2: Instantâneo 1 da animação em Arena@12 da fusão próton-próton.

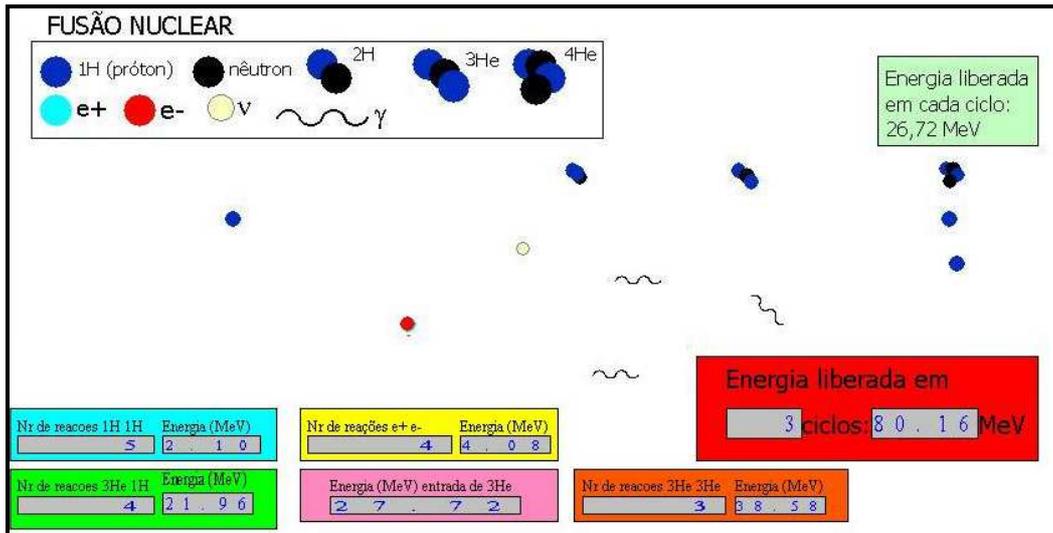


Figura 3: Instantâneo 2 da animação em Arena@12 da fusão próton-próton.

Podem ser observadas nas Figuras 2 e 3 a animação gráfica decorrente da execução do modelo de simulação. O professor pode utilizar então esta ilustração gráfica animada para auxiliar a explicação do referido fenômeno físico. Neste ambiente, podem ser compreendidos mais facilmente os fenômenos relativos à fusão nuclear, às reações produzidas, à energia liberada em cada ciclo, dentre outros elementos próprios do processo em questão e que possam ser acrescentados à exposição do professor.

5. AVALIAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Foi elaborado um questionário e aplicado a uma turma de pré-vestibular comunitário, dividida em três aulas, ministradas para 3 grupos diferentes, cujos alunos foram escolhidos aleatoriamente, como descrito abaixo:

- Grupo 1: a primeira aula foi expositiva, sem utilização do Simulador, ministrada para 43 alunos, com tempo de duração de noventa minutos, onde foi mostrada toda a seqüência do processo que ocorre ciclicamente na fusão nuclear, mediante utilização de quadro negro de giz;
- Grupo 2: a segunda aula foi lecionada exclusivamente com a utilização do software, estando presentes 23 alunos;
- Grupo 3: a terceira aula consistiu na utilização associada da aula expositiva e do recurso computacional, sendo a ministrada a 31 alunos.

O questionário foi aplicado ao final das aulas, com as mesmas questões para os três grupos.

5.1. DESEMPENHO E INTERESSE NA DISCIPLINA DE FÍSICA

As duas primeiras questões relacionavam-se ao desempenho e interesse na disciplina de Física e tinham como objetivo verificar a homogeneidade entre grupos. As alternativas foram dispostas em gradação, como segue:

Questão 1) Quanto ao seu desempenho (nota) na disciplina de Física, você se classifica como um aluno: 1) péssimo; 2) ruim; 3) regular; 4) bom; 5) ótimo; NS) não sei/prefiro não responder

Questão 2) O seu interesse na disciplina de Física é: 1) muito baixo; 2) baixo; 3) médio; 4) alto; 5) muito alto; NS) não sei/prefiro não responder.

5.2. FACILIDADE DE APRENDIZADO E CAPACIDADE DE DESPERTAR INTERESSE PROPORCIONADO PELA UTILIZAÇÃO DE UM RECURSO COMPUTACIONAL

As questões 3 e 4 versaram a respeito da percepção dos alunos quanto à facilidade de aprendizado e à capacidade de despertar interesse proporcionado pela utilização de um recurso computacional. À semelhança das questões anteriores, também foi apresentado um leque de alternativas em gradação, de 1 a 5.

Questão 3) Quanto à facilidade de aprendizado você acha que a utilização de um recurso computacional com animação: 1) atrapalharia muito; 2) atrapalharia pouco; 3) nem atrapalharia nem ajudaria; 4) ajudaria pouco; 5) ajudaria muito; NS) não sei/prefiro não responder.

Questão 4) Quanto ao interesse que seria despertado pela utilização de um recurso computacional, você considera que a aula ficaria: 1) muito menos interessante; 2) menos interessante; 3) nem menos interessante nem mais interessante; 4) mais interessante; 5) muito mais interessante, NS) não sei/prefiro não responder.

5.3. GRAU DE CONHECIMENTO ADQUIRIDO NA AULA

As questões de 5 a 10 visaram aferir o grau de conhecimento adquirido na aula, por meio de perguntas dissertativas relacionadas ao assunto, classificadas de acordo com o grau de dificuldade, que foi definido mediante discussão entre três professores de Física. Na correção das respostas, adotaram-se as notas 0, 25, 50, 75 e 100, sendo 0 correspondente a totalmente errada e 100 a totalmente certa.

- Questões classificadas como “fáceis”

Questão 5) A energia gerada no interior do Sol é devida à fissão ou à fusão nuclear?

Questão 6) Quais os elementos (núcleos atômicos) iniciais na reação nuclear no interior do Sol?

- Questões classificadas como de grau de dificuldade “médio”

Questão 7) O que é o pósitron?

Questão 8) O que acontece quando um elétron se encontra com um pósitron?

- Questões classificadas como “difíceis”

Questão 9) Qual a diferença entre fissão nuclear e fusão nuclear?

Questão 10) Na reação final, em que elemento se transmutaram (transformaram) os elementos iniciais?

5.4. METODOLOGIA – ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram tabulados e a análise estatística foi realizada mediante a utilização do aplicativo Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG, versão 9.1). Foram apresentados, inicialmente, os parâmetros de estatística descritiva (médias e erros-padrão) de cada questão, estratificada por grupo de alunos de acordo com o recurso utilizado. Posteriormente, procedeu-se a comparação entre as médias dos três grupos por meio da análise de variância e, sendo verificado efeito significativo do grupo sobre as médias, foi realizado o teste de Tukey, adotando-se o nível de significância de 5%. Os resultados são apresentados no item 5.5, nas Figuras 4 a 10, sendo que nestas, as médias seguidas por uma mesma letra indicam médias sem diferença significativa.

5.5. RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE RECURSOS DIDÁTICOS

(a) Desempenho e interesse na disciplina de Física

As médias e erros-padrão das questões relacionadas ao desempenho e interesse dos alunos relacionados à disciplina de Física são apresentados nas Figuras 4 e 5.

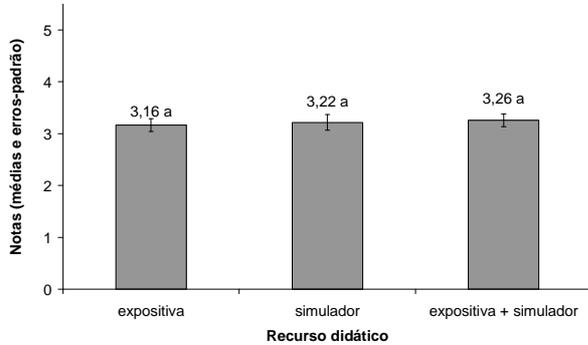


Figura 4 – Percepção dos alunos quanto ao próprio desempenho na disciplina de Física.

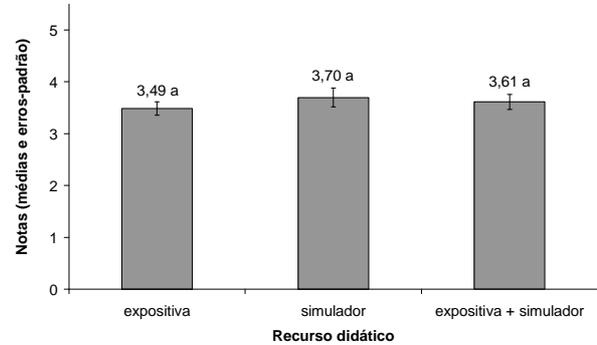


Figura 5 – Percepção dos alunos quanto ao próprio interesse na disciplina de Física.

De forma geral, os perfis dos alunos dos três grupos, submetidos aos diferentes recursos, não diferiu significativamente. Ou seja, as amostras podem ser consideradas homogêneas.

(b) Facilidade de aprendizado e capacidade de despertar interesse proporcionado pela utilização de um recurso computacional

As médias e erros-padrão das questões relacionadas à facilidade de aprendizado e capacidade de despertar interesse proporcionado pelo recurso computacional são apresentados nas Figuras 6 e 7. Embora sem diferenças significativas, a utilização do software Simulador, na percepção dos alunos, facilitou ou facilitaria o aprendizado e despertou ou despertaria maior interesse pela aula, quando comparada apenas à aula expositiva.

(c) Grau de conhecimento adquirido na aula

Os resultados relacionados à aferição do grau de conhecimento adquirido nos três grupos são apresentados nas Figuras de 8 a 10, sendo os resultados referentes às questões fáceis mostrados na Figura 8; as médias, na Figura 9; e as difíceis, na Figura 10.

De acordo com as análises realizadas, em relação às questões consideradas fáceis, a utilização do software Simulador proporcionou um menor aproveitamento quando comparado com aula expositiva. O mesmo ocorreu com a aula onde foram utilizados os dois métodos (expositiva+ Simulador). Estatisticamente, obteve-se uma maior eficácia quando, na aula, foram explorados os dois métodos conjuntamente em comparação com a aula onde foi usado somente o software Simulador.

Com relação às questões consideradas com grau de dificuldade médio, o uso unicamente do recurso computacional (Simulador) na aula não diferiu, estatisticamente, da aula expositiva, como também na comparação desta com os alunos que tiveram os dois métodos sendo apresentados ao mesmo tempo. Mas se for avaliada a realização da aula somente com o software em relação à que foi ministrada utilizando a aula expositiva com o Simulador, tem-se diferença significativa.

As questões difíceis tiveram como melhor resultado o uso em conjunto da aula expositiva com o Simulador, mostrando um resultado estatisticamente superior se comparado à utilização isolada dos métodos de ensino.

É importante notar, também, que a aula somente com o Simulador apresenta melhores resultados do que a aula simplesmente expositiva (embora sem diferença estatística).

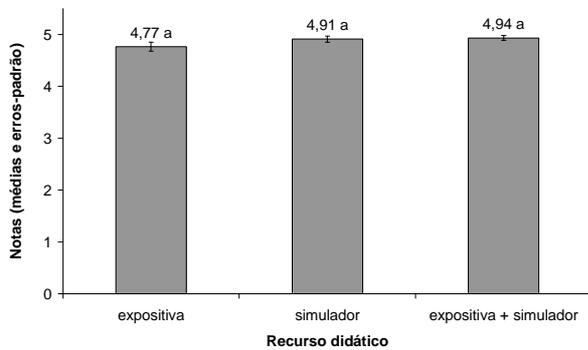


Figura 6 – Percepção dos alunos quanto à facilidade de aprendizado proporcionado pela utilização do recurso computacional.

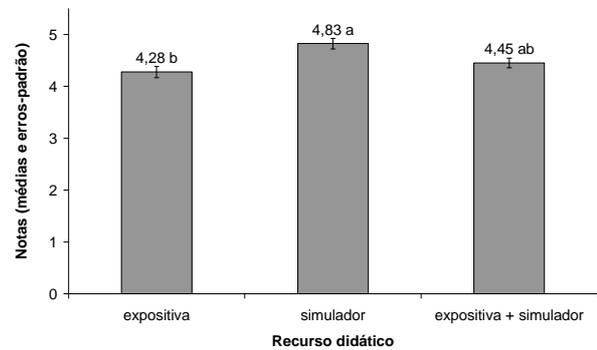


Figura 7 – Percepção dos alunos quanto ao interesse despertado com a utilização do recurso computacional.

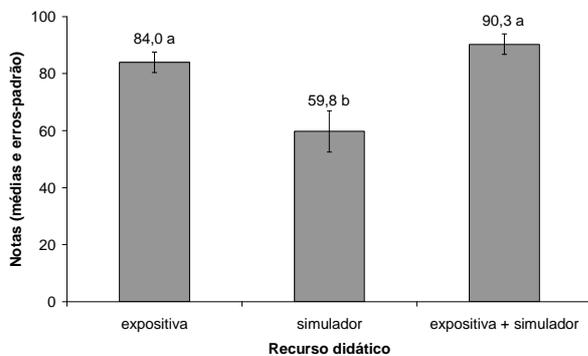


Figura 8 – Notas (médias e erros-padrão) obtidas pelos alunos nos três grupos nas questões classificadas como fáceis.

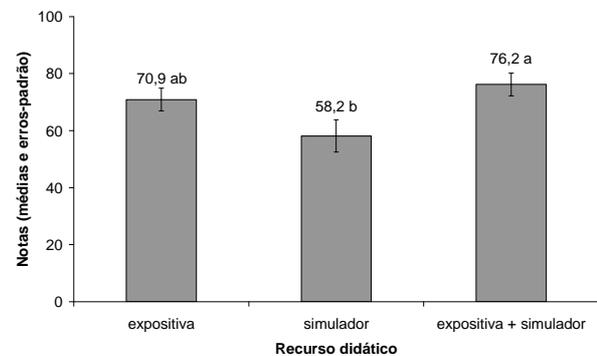


Figura 9 – Notas (médias e erros-padrão) obtidas pelos alunos nos três grupos nas questões consideradas como de dificuldade mediana.

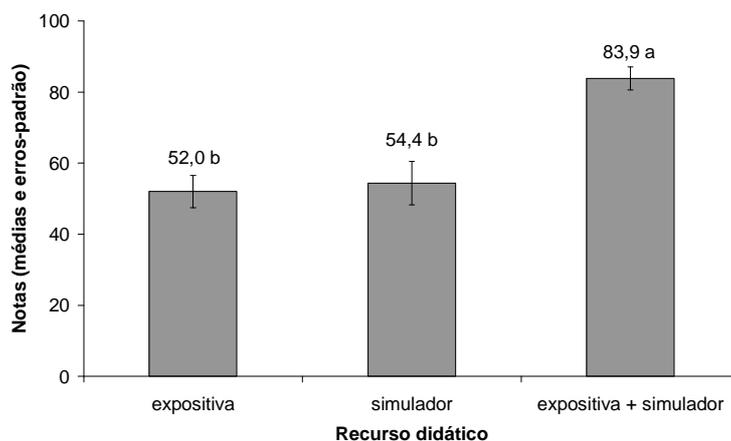


Figura 10 – Notas (médias e erros-padrão) obtidas pelos alunos nos três grupos nas questões difíceis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do modelo através do software Arena[®]12 mostrou-se factível e de pouca complexidade, face aos recursos disponibilizados por esta ferramenta. Entretanto, como exposto na Seção 2, as características específicas desse software, e seu alto custo, desaconselham sua aquisição específica para utilização na disciplina de Física do ensino médio, já que existem outros softwares com custos inferiores, até mesmo livres, que executam simulações em Física, sem as restrições do respectivo software.

Por outro lado, existem, situações em que uma instituição já possui o respectivo software Arena[®]12, como por exemplo, em determinados cursos de graduação de Engenharia. Em algumas dessas instituições funciona também o ensino médio. Nessa circunstância, e em similares, o software poderia ser utilizado no ensino médio sem custo adicional.

Por fim, avaliando todos os resultados obtidos, verificou-se uma tendência de que quanto maior o grau de dificuldade das questões, maior é a eficiência devido à utilização do recurso computacional. Ou seja, observando os três últimos gráficos, é possível perceber que, de acordo com a complexidade das questões, a aula com o recurso computacional sofre um avanço gradativo, até podendo ultrapassar a média das notas referentes ao grupo que teve apenas a aula expositiva.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ pelo suporte financeiro para esta pesquisa.

8. REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. S.; CASTRO, R. M. Atividades experimentais e novas tecnologias nas disciplinas de Física no Ensino Médio. **XI Encontro de Iniciação Científica e VII Mostra de Pós-graduação da UNITAU**, 2006, Taubaté.

BASER, B. Use of PC's in Students Laboratories. **Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics**. Ljubjana, Slovenia, 21/8 a 27/8 de 1996.

DAMÁSIO, F.; CALLONI, G. Uma proposta de inserção de Física moderna e contemporânea na educação básica através de uma hipermídia. **Caderno de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 1 (1), p. 1-9, 2009.

DAVIS, D. M.; GOTTSCHALK, T. D.; DAVIS, L. K. High-performance computing enables simulations to transform education. **Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference**. 2007

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**, 2 ed., São Paulo, Editora Visual, 2008.

GIORDAN, M. O computador na educação em ciências: breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização. **Ciência & Educação**, v. 11, p. 279-304, 2005.

GOLDSMAN, D. A simulation course for high school students. **Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference**. 2007.

KOCIJANCIC, S. Collection of Computer Based Experiments. **Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics**. Ljubjana, Slovenia, 21/8 a 27/8 de 1996.

LEAL, F.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de Elementos do IDEF. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – XL-SBPO**, João Pessoa - Pb, 1-12, 2008.

MARINO, T.; VIOLINO, P.; CARPIGNANO, G. A New Interface Card for the Physics Lab. **Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics**. Ljubjana, Slovenia, 21/8 a 27/8 de 1996.

MARTINS, M., PEREIRA, M.; MARTINS, N. Computer Based Training in University Education. **Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics**. Ljubjana, Slove-nia, 21/8 a 27/8 de 1996.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. de. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, junho, 2002.

REUSCH, W. Combining Measurement and Modelling Using Graphics Editor. **Proceedings of the GIREPICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics**. Ljubjana, Slovenia, 21/8 a 27/8 de 1996.

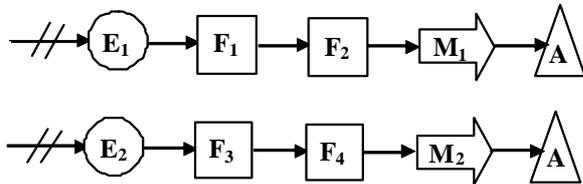
SILVA, R. Análise do uso de novas tecnologias no ensino de física em quatro escolas públicas do município de Campos dos Goytacazes (RJ). **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, 2005.

VALENTE, J. A. **Computadores e conhecimento: Repensando a educação**, São Paulo, UNICAMP, 1993.

ZOECHLING, J. The Austrian Physics-Computer. **Proceedings of the GIREP-ICPE-ICTP International Conference: New Ways of Teaching Physics**. Ljubjana, Slovenia, 21/8 a 27/8 de 1996.

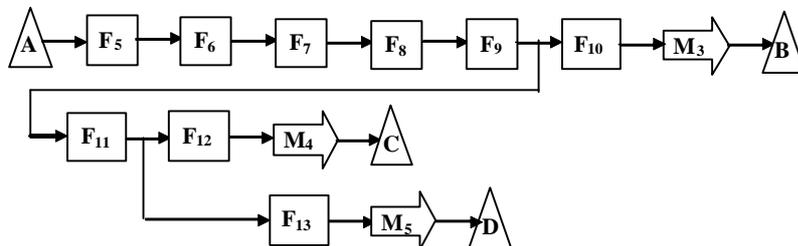
APÊNDICE – A

1) Criação dos ^1H



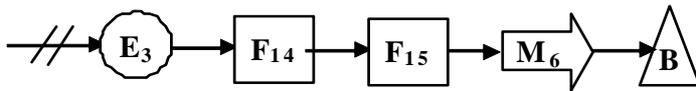
	Descrição	Parâmetro
E ₁	Entidade: ^1H (próton)	Função constante: 1 ^1H a cada segundo, $t_{\text{inicial}} = 0$ s
F ₁	Atribui uma figura ao ^1H	Um círculo azul escuro
F ₂	Local 1: entrada do ^1H	Não sofre ação (capacidade infinita)
M ₁	Movimentação: próton para o local de colisão ^1H com ^1H	Tempo = 1s
E ₂	Entidade: ^1H	Função constante: 1 ^1H a cada segundo, $t_{\text{inicial}} = 0$ s
F ₃	Atribui uma figura ao ^1H	Figura de um círculo azul escuro
F ₄	Local 2: entrada do ^1H	Não sofre ação (capacidade infinita)
M ₂	Movimentação: próton para o local de colisão ^1H com ^1H	Tempo = 1s

2) Choque de 1 ^1H com 1 ^1H com a formação de 1 ^2H , 1 neutrino (ν) e 1 pósitron (e^+)



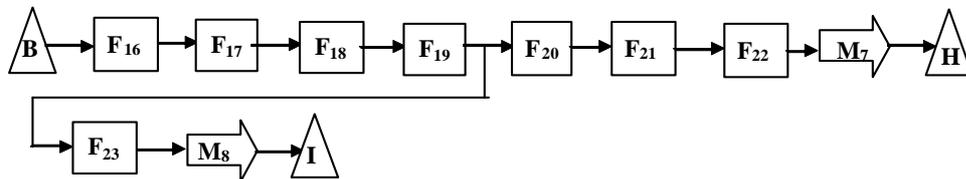
	Descrição	Parâmetro
F ₅	Local 2: colisão de ^1H com ^1H	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₆	Junta ^1H com ^1H	Agrupamento temporário
F ₇	Registra: Quantidade eventos F ₅	Transfere dado para arquivo
F ₈	Função: Atributo energia ^2H (evento F ₅)	Transfere dado para arquivo
F ₉	Duplica entidade	Duplica o agrupamento de F ₆
F ₁₀	Atribui uma figura ao ^2H (1 próton + 1 nêutron)	Um círculo azul junto com um preto
M ₃	Movimentação: ^2H para local de colisão com um ^1H	Tempo = 1s
F ₁₁	Duplica entidade	Duplica uma das entidades de F ₉
F ₁₂	Atribui uma figura ao neutrino	Um círculo de cor creme
M ₄	Movimentação: do neutrino para seu local de saída	Tempo = 1s
F ₁₃	Atribui uma figura ao pósitron	Um círculo azul claro
M ₅	Movimentação: do pósitron para seu local de saída	Tempo = 1s

3) Criação de ^1H para choque com ^2H



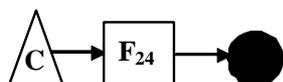
	Descrição	Parâmetro
E ₃	Entidade: ^1H (próton)	Função constante: 1 ^1H a cada segundo, $t_{\text{inicial}} = 1\text{ s}$
F ₁₄	Local 3: entrada do ^1H	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₁₅	Atribui uma figura ao ^1H	Um círculo azul escuro
M ₆	Movimentação: próton para o local de colisão ^1H com ^2H	Tempo = 1s

4) Choque de 1 ^2H com 1 ^1H formando 1 ^3He e 1 raio gama (γ)



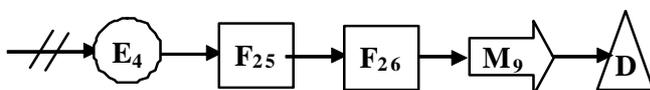
	Descrição	Parâmetro
F ₁₆	Local 4: colisão ^1H com ^2H	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₁₇	Separa em duas entidades ^1H e ^1H	Separa o agrupamento formado em F ₆
F ₁₈	Junta: entidades ^1H , ^1H e ^2H	Agrupamento permanente
F ₁₉	Duplica entidade	Duplica o agrupamento de F ₁₈
F ₂₀	Atribui uma figura ao ^3He (2 prótons + 1 nêutron)	Dois círculos de cor azul escuro junto com um círculo preto
F ₂₁	Registra: Quantidade eventos F ₁₆	Transfere dado para arquivo
F ₂₂	Função: Atributo energia ^3He (evento F ₁₆)	Transfere dado para arquivo
M ₇	Movimentação: ^3He para local de colisão com outro ^3He	Tempo = 1s
F ₂₃	Atribui uma figura ao raio gama	Linha ondulada
M ₈	Movimentação: raio gama para seu local de saída	Tempo = 1s

5) Saída do neutrino (ν)



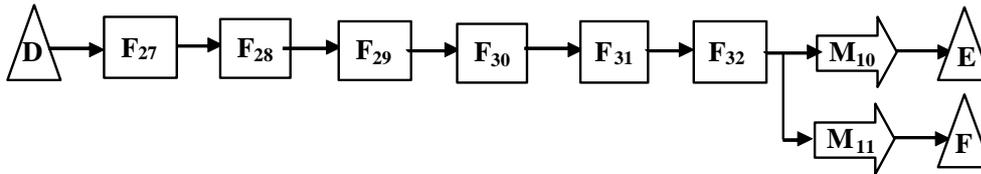
	Descrição	Parâmetro
F ₂₄	Local 5: saída do neutrino	Não sofre ação (capacidade infinita)

6) Criação de elétron (e^-) para choque com pósitron (e^+)



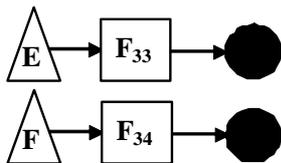
	Descrição	Parâmetro
E ₄	Entidade: elétron	Função constante 1 próton a cada segundo, $t_{inicial} = 1$ s
F ₂₅	Local 6: entrada do elétron	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₂₆	Atribui uma figura ao elétron	Um círculo vermelho
M ₉	Movimentação: elétron para o local de choque com o pósitron	Tempo = 1s

7) Choque de 1 elétron (e^-) com 1 pósitron (e^+) formando 2 raios gama (γ)



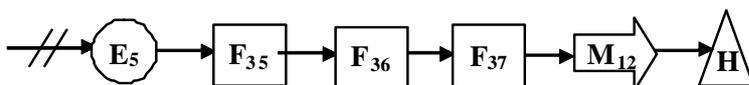
	Descrição	Parâmetro
F ₂₇	Local 7: colisão elétron com pósitron	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₂₈	Junta elétron com pósitron	Agrupamento permanente
F ₂₉	Atribui uma figura ao raio gama	Linha ondulada
F ₃₀	Registra: Quantidade eventos F ₂₇	Transfere dado para arquivo
F ₃₁	Função: Atributo energia raio gama (evento F ₂₇)	Transfere dado para arquivo
F ₃₂	Duplica entidade	Duplica o agrupamento de F ₂₈
M ₁₀	Movimentação: o primeiro raio gama para seu local de saída	Tempo = 1s
M ₁₁	Movimentação: o segundo raio gama para seu local de saída	Tempo = 1s

8) Saída de raios gama (γ)



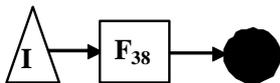
	Descrição	Parâmetro
F ₃₃	Local 8: saída de raio gama 1	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₃₄	Local 9: saída de raio gama 2	Não sofre ação (capacidade infinita)

9) Criação de outro ^3He para choque com ^3He



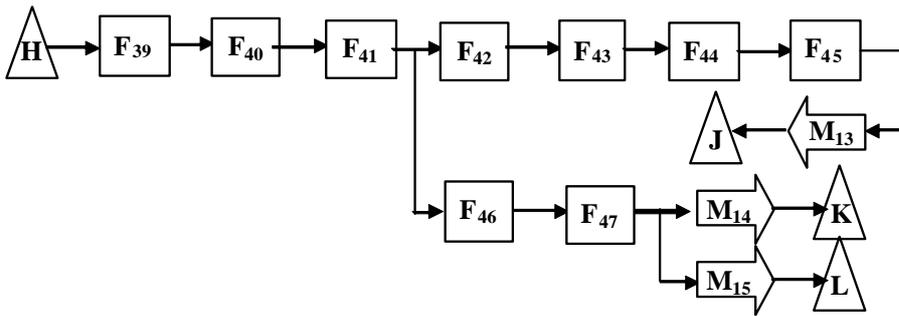
	Descrição	Parâmetro
E ₅	Entidade: ³ He	Função constante 1 ³ He a cada segundo, t _{inicial} = 2 s
F ₃₅	Local 10: entrada do ³ He	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₃₆	Atribui uma figura ao ³ He (2 prótons + 1 nêutron)	Dois círculos de cor azul escuro junto com um círculo preto
F ₃₇	Função: Atributo energia ³ He	Transfere dado para arquivo
M ₁₂	Movimentação: ³ He para o local de colisão com outro ³ He	Tempo = 1s

10) Saída de raios gama (γ)



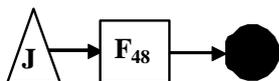
	Descrição	Parâmetro
F ₃₈	Local 11: saída de raio gama	Não sofre ação (capacidade infinita)

11) Choque de 1 ³He com 1 ³He produzindo 1 ⁴He, e 2 ¹H



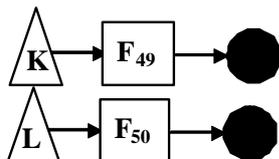
	Descrição	Parâmetro
F ₃₉	Local 12: colisão ³ He com ³ He	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₄₀	Junta ³ He com ³ He	Agrupamento permanente
F ₄₁	Duplica entidade	Duplica o agrupamento de F ₄₀
F ₄₂	Atribui uma figura ao ⁴ He (2 prótons + 2 nêutrons)	Dois círculos de cor azul escuro junto com dois círculos pretos
F ₄₃	Registra: Quantidade eventos F ₃₉	Transfere dado para arquivo
F ₄₄	Função: Atributo energia à colisão ³ He com ³ He (evento em F ₃₉)	Transfere dado para arquivo
F ₄₅	Função: Calcula a energia total liberada na reação	Transfere dado para arquivo
M ₁₃	Movimentação: ⁴ He para seu local de saída	Tempo = 1s
F ₄₆	Atribui uma figura a ¹ H	Um círculo azul escuro
F ₄₇	Duplica entidade	Duplica ¹ H
M ₁₄	Movimentação: o primeiro ¹ H para seu local de saída	Tempo = 1s
M ₁₅	Movimentação: o segundo ¹ H para seu local de saída	Tempo = 1s

12) Saída do ^4He



	Descrição	Parâmetro
F ₄₈	Local 13: saída de ^4He	Não sofre ação (capacidade infinita)

13) Saída dos ^1H



	Descrição	Parâmetro
F ₄₉	Local 14: saída de ^1H	Não sofre ação (capacidade infinita)
F ₅₀	Local 15: saída de ^1H	Não sofre ação (capacidade infinita)

Simulation model of discrete event as a teaching resource in the subject of physics at High School

João José de Assis Rangel, joao@ucam-campos.br

Antônio Carlos Torres Teixeira, acarlostt@uol.com.br

Eduardo Shimoda, shimoda@ucam-campos.br

Rogério Trindade Lisbôa, rogeriotrind@hotmail.com

Universidade Candido Mendes (UCAM-Campos), Programa de Pós-graduação em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

*Received: November, 2010 / Accepted: March, 2011

ABSTRACT

The teaching of Physics presents certain challenges for secondary school teachers, especially when the topic deals with very abstract concepts. The use of computers and, particularly, the computer simulation has been stimulated as a teaching resource to facilitate student learning, since the visualization of a phenomenon in a graphical environment can provide better understanding. This article presents an analysis of the use of a simulation model discrete event of a fusion nuclear reaction to support learning in high school classes. The use of the simulation model, associated with a previous class led to an increase in the number of correct answers of questions related to the theme of the lesson, especially when questions have increased the degree of difficulty.

Keywords: Simulation. Physics. High School. Teaching Resource.
