

A investigação da construção de modelos no estudo de um tópico de Física utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativo

(Investigation of model building in the study of a physics issue using a qualitative computer model environment)

Thiéberson Gomes¹ e Laércio Ferracioli²

Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas a Modelagem Cognitiva, Departamento de Física,
Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil

Recebido em 16/11/2005; Aceito em 28/4/2006

A integração de tecnologias de informação e comunicação no contexto educacional tem sido tema de diversos congressos e simpósios ao redor do mundo e no Brasil. Neste sentido, vários estudos têm sido realizados com o objetivo de se obter metodologias que tornem efetivo o emprego das novas tecnologias no ensino. Este artigo mostra um estudo que investigou a interação entre estudantes universitários da área de ciências exatas e um ambiente de modelagem computacional qualitativo em atividades de modelagem expressiva. Os resultados obtidos mostram que os estudantes foram capazes de criar e modificar o modelo do sistema proposto a partir de suas próprias concepções.

Palavras-chave: ambientes de modelagem, modelos, modelos mentais, modelagem qualitativa, atividades expressivas, modelagem, cognitiva, autômatos celulares.

The integration of information and communication technologies into the educational context has been the subject of several symposiums and conferences around the world and also in Brazil. Many studies have been carried out for developing methodologies that turn successful their application in the learning process. This paper shows a study that investigate the interaction between graduate students from physics and engineering areas and activities of a qualitative computer modelling environment expressive modelling activities. Results show that the students were able to build up and modify the model from the system proposed, starting from their own ideas.

Keywords: modelling environments, models, mental models, qualitative modelling, expressive activities, cognitive modelling, cellular automata.

1. Introdução

A investigação sobre a integração da tecnologia da informação e comunicação no contexto educacional tem sido o foco de diversos estudos nos diferentes níveis de escolaridade e em diferentes partes do mundo. No Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) ressaltam a importância deste fato apontando para a adequação dos currículos à realidade contemporânea e aos avanços tecnológicos. Os PCN indicam que a integração do computador no contexto educacional pode ser realizada de diferentes formas, tais como, planilhas eletrônicas, editores de texto, jogos e softwares de conteúdos específicos. Além destas formas, é ainda sugerida a utilização de modelos representativos dos mais variados sistemas da natureza [1]. Neste sentido, o presente artigo descreve um estudo sobre a integração de

ambientes de modelagem computacional no contexto da educação em ciências e tecnologia e, em particular, apresenta resultados relativos ao estudo de um tópico de Física.

2. Referencial teórico

Modelar significa representar um objeto, sistema ou fenômeno, entre outras coisas, através de metáforas e analogias [2]. Os cientistas buscam explicar estruturas que vão desde escalas microscópicas, como o átomo, até as escalas macroscópicas, como as órbitas dos planetas. Na maioria das vezes estas estruturas são inalcançáveis, devido a limitações da tecnologia, incitando cientistas a criarem modelos para estudá-las [3]. Neste contexto, as teorias podem ser entendidas como um conjunto de abstrações que são mapeadas em um mundo imaginário

¹E-mail: thieberson@gmail.com.

²E-mail: laercio@npd.ufes.br.

através da utilização dos modelos [4]. Um modelo pode ser visto como *um intermediário entre as abstrações da teoria e as ações concretas da experimentação; e que ajuda a fazer previsões, guiar a investigação, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação* [2]. Assim, devido à sua versatilidade e tratamento, os modelos são amplamente utilizados em todas as áreas de conhecimento.

No contexto educacional, vários estudiosos, entre eles Johnson-Laird [5], acreditam que as estruturas internas à mente de um indivíduo podem ser consideradas como modelos, denominados modelos mentais, que são criados a partir das interações deste indivíduo com o mundo que o cerca. Porém, para que se possa falar sobre modelos mentais, Gilbert e Boulter [2] afirmam que é preciso fazer distinção entre: Sistema-Alvo - sistema real que se deseja modelar, ou seja, o objeto da representação; Modelo Consensual - modelo expresso que foi submetido a testes por um grupo social, por exemplo, pertencente à comunidade científica, e sobre o qual se concorda que apresenta algum mérito; Modelo Pedagógico - modelo especialmente construído e usado para auxiliar na compreensão de um modelo consensual; Modelo Mental - representação pessoal e íntima do sistema-alvo; e Modelo Expresso - versão do modelo mental que é expressa através da ação, da fala ou da escrita.

Desta forma, dentro de um conteúdo específico um professor determina um sistema-alvo a ensinar e, após a verificação dos modelos consensuais relacionados a ele, constrói um modelo pedagógico. Este modelo pedagógico será utilizado como base para levar o estudante a construir um modelo mental - do sistema-alvo - que seja o mais próximo possível do modelo consensual do sistema-alvo. Esta abordagem pode ser representada pela Fig. 1.

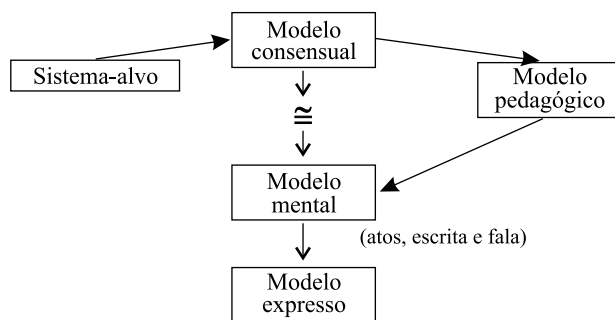


Figura 1 - Esquema de relações entre os Modelos em Educação.

No entanto, modelos mentais podem ser considerados como estruturas dinâmicas que não cessam de se desenvolver. Nesta perspectiva, Norman [6] descreve alguns resultados de seus estudos sobre modelos mentais:

- Modelos mentais são incompletos;
- As habilidades das pessoas em “rodar” seus modelos são limitadas;

- Modelos mentais são instáveis: as pessoas esquecem os detalhes do sistema que estão usando, principalmente quando esses detalhes não foram usados por um bom tempo;
- Modelos mentais não têm uma fronteira definida: dispositivos e operações similares se confundem umas com as outras;
- Modelos mentais são não-científicos: as pessoas incluem, em seus modelos, comportamentos supersticiosos mesmo quando sabem que esses comportamentos não são necessários: custa pouco esforço físico e reduz o esforço mental;
- Modelos Mentais são econômicos: freqüentemente as pessoas fazem muito mais operações mecânicas do que planejamento mental que as permitiria eliminar estas ações.

Pode-se perceber, através destes resultados, que modelos mentais não precisam ser tecnicamente apurados, mas devem ser primordialmente funcionais, caso contrário ele são descartados pelo indivíduo [4].

Assim, ao se construir um modelo das concepções de um estudante é necessário cautela, uma vez que, na verdade, está se construindo uma visão destas concepções, a qual pode não estar de acordo com o verdadeiro modelo mental do estudante [6]. Contudo, a utilização da modelagem como forma de acesso a estes modelos pode ser promissora: o aluno, quando solicitado a construir seu próprio modelo sobre determinado tópico, externaliza seus modelos mentais e os transforma em uma estrutura concreta que pode ser analisada e testada. As atividades de modelagem podem ser realizadas utilizando-se materiais que vão desde papel e lápis até as tecnologias interativas, como o computador. Deste modo, o presente trabalho está centrado em atividades de modelagem que utilizam o computador, ou seja, na modelagem computacional.

2.1. A modelagem computacional

A modelagem computacional no contexto educacional busca tanto representar modelos do mundo real quanto acessar os modelos do estudante a partir de ferramentas computacionais, aqui denominadas de Ambientes de Modelagem Computacional. No início, a utilização de ferramentas computacionais demandava o conhecimento de alguma linguagem de programação por parte do estudante. Nos dias de hoje, com os avanços da computação gráfica, os ambientes de modelagem computacional permitem que os modelos sejam criados de forma icônica apenas com a utilização do mouse. Esses avanços permitiram o desenvolvimento dos mais variados tipos de ambiente de modelagem computacional e, conseqüentemente, diferentes tipos e abordagens de modelagem.

2.2. Tipos de atividades de modelagem computacional em educação

Baseando-se na interação do aluno com o ambiente de modelagem computacional, Mellar e Bliss [7] distinguem dois modos de atividades de modelagem computacional. São elas as:

- Atividades de Aprendizagem Exploratória

O estudante é levado a observar o comportamento de um modelo construído por um especialista, não podendo alterar a estrutura do modelo apresentado;

- Atividades de Aprendizagem Expressiva

O estudante é levado a criar modelos sobre o mundo a partir de suas próprias concepções.

Podem, ainda, existir atividades de modelagem intermediárias onde o professor apresenta, inicialmente, um modelo pronto e, após o estudante ter interagido exploratoriamente, permitir que ele modifique estruturalmente o modelo de acordo com seu entendimento, caracterizando uma atividade semi-expressiva [8].

2.3. Ambientes de modelagem computacional

Os modelos matemáticos são muito utilizados para explicar os fenômenos da natureza nas diversas áreas de conhecimento e amplamente utilizados no contexto educacional. Contudo, aprender o ferramental matemático para entender estes fenômenos não é uma tarefa fácil para a maioria dos estudantes. Ogborn [9] afirma que a utilização de ambientes de modelagem computacional pode ser uma alternativa mais eficiente para introduzir o estudante ao aprendizado de tópicos de ciências, pois envolve a criação de modelos sem que o ferramental matemático seja exigido. Muitos fenômenos da natureza podem ser analisados, inicialmente, pelas suas tendências de variação, já outros podem ser estudados através da interação entre os seus componentes básicos. Desta forma, pode-se distinguir entre três tipos de ambientes de modelagem computacional [8]:

- Ambientes de Modelagem Quantitativo

Também denominados de ferramentas de modelagem matemática devido ao fato de demandarem a especificação das variáveis relevantes de um sistema e suas relações algébricas bem como seus possíveis valores [10];

- Ambientes de Modelagem Semiquantitativo

Ambiente que tem seu enfoque nas relações entre as variáveis e suas respectivas tendências de variação e não na análise matemática ou quantificação de variáveis [11];

- Ambientes de Modelagem Qualitativa

Uma terceira abordagem é o estudo de certos fenômenos da natureza através da modelagem sem a utilização da matemática e baseados na tomada de decisão ou na idéia de que o mundo pode ser estudado através da interação entre os seus constituintes básicos [8].

O presente trabalho relata um estudo realizado

utilizando-se o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker.

2.4. O ambiente WorldMaker

A idéia para o desenvolvimento do Ambiente de Modelagem WorldMaker surgiu a partir da afirmação de Ogborn [9] de que as pessoas, inicialmente, criam modelos do mundo em que vivem baseados nos objetos que o compõem e nos eventos que ocorrem com estes objetos. Desta forma, o Ambiente WorldMaker permite que determinados sistemas da natureza sejam representados no computador através da especificação dos objetos que os constituem e das regras de interação que regem o comportamento destes objetos, gerando os eventos.

Este ambiente de modelagem foi construído sobre a idéia dos *Autômatos Celulares* [12,13]. Um autômato celular é uma ferramenta computacional utilizada para modelar sistemas que podem ser representados como unidades básicas que interagem entre si. Cada célula de um autômato celular pode possuir um único valor e esse valor varia com o tempo de acordo com os valores das células vizinhas.

Porém, o Ambiente WorldMaker apresenta algumas diferenças em relação aos autômatos celulares. A principal delas é o fato das células não conterem valores, mas objetos. Para que um modelo seja construído no WorldMaker é necessário inicialmente especificar quais são os objetos relevantes para representar o sistema em questão. Os objetos no WorldMaker podem ser de dois tipos: *Objetos* e *Objetos-cenário*. Os *objetos* representam todos os constituintes básicos do sistema que podem se mover na rede, enquanto que os *objetos-cenário* representam os locais por onde os objetos se movem. Para exemplificar pode-se dizer que um *objeto* seria um coelho e um *objeto-cenário* seria a grama. Por definição, uma célula só pode ocupar um objeto de determinado tipo num mesmo tempo. Após a especificação dos objetos é necessário especificar os eventos que ocorrem no sistema e as regras que geram estes eventos para, em seguida, proceder à implementação do modelo no ambiente.

A interface do Ambiente WorldMaker é mostrada na Fig. 2 e é composta das seguintes estruturas: a Grade dos Mundos, local onde os objetos são inseridos para interagirem entre si e que permite a visualização do comportamento dos objetos do mundo e conseqüentemente o comportamento do modelo como um todo; a Barra de Ferramentas de Arquivo, onde se encontram os botões de trabalho com os arquivos dos mundos; os Botões de Execução do Mundo: Voltar, Parar, Avançar, Passo-a-passo, Avanço rápido; os Painéis dos Objetos, onde os *objetos* e *objetos-cenário* são definidos; Painel das Regras, onde são listadas as regras de interação associadas a cada entidade do mundo. O ambiente WorldMaker permite, ainda, que seja associada uma probabilidade de execução para cada regra.

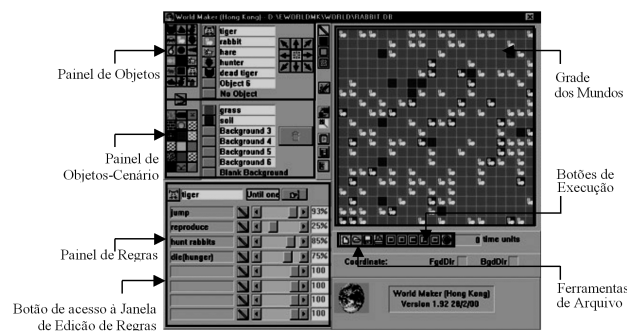


Figura 2 - Interface gráfica do ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker.

O Ambiente de Modelagem WorldMaker permite que os modelos sejam criados de forma icônica com o auxílio do mouse. Desta forma, é possível utilizá-lo para a realização de atividades de modelagem com adolescentes e crianças devido à sua versatilidade na construção de modelos [9]. Os problemas a serem abordados com esse ambiente de modelagem podem abranger tópicos de Física, Biologia, Química, Ciências Ambientais, entre outros.

Para que uma atividade de modelagem possa ser realizada adequadamente é necessário que ela seja estruturada considerando-se: as características do ambiente de modelagem computacional, o sistema a ser estudado e o nível de escolaridade dos estudantes que a executarão.

3. Concepção do estudo

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de investigar a interação entre estudantes e o ambiente de modelagem qualitativo WorldMaker em atividades de modelagem expressiva. A coleta de dados foi feita através da aplicação de um Curso de Extensão com a duração de 3 horas, dividido em 2 módulos:

- Primeiro Módulo (1 hora)

Introdução à Metáfora de Objetos e Eventos e ao Ambiente WorldMaker;

- Segundo Módulo (2 horas)

Atividades de Modelagem Expressiva utilizando o Ambiente WorldMaker.

As atividades de modelagem expressiva do segundo módulo abordaram dois tópicos: um relacionado à Física e outro relacionado à Biologia. O primeiro foi o fenômeno da *difusão de um gás* e o segundo o sistema *predador-presa*. A escolha destes tópicos para a investigação foi baseada na sua diferença de complexidade e familiaridade dos estudantes com os mesmos. Este artigo abordará somente o estudo do fenômeno da *difusão de um gás*, caracterizado por uma sala isolada contendo um frasco de perfume fechado. Os estudantes foram solicitados a desenvolver um modelo que representasse o que aconteceria após o frasco de perfume ser aberto. Assim, o modelo a ser construído pelos estudantes de-

veria representar o fenômeno da difusão de um gás em um sistema fechado.

O conjunto de procedimentos necessários para a construção de um modelo em um ambiente de modelagem computacional é aqui denominado de Processo Construção do Modelo - PCM. O processo utilizado neste estudo foi adaptado de Camiletti e Ferracioli [11], que sugeriram uma seqüência de sete passos para a construção do modelo em um ambiente de modelagem computacional semiquantitativa. Dessa forma, o PCM para esta investigação passou a ser constituído de oito passos:

- 1º Passo: Definição do sistema a ser estudado;
- 2º Passo: Escolha do fenômeno de interesse;
- 3º Passo: Listagem dos elementos - objetos - relevantes;
- 4º Passo: Classificação dos elementos listados em Objetos-Cenário e Objetos;
- 5º Passo: Construção do modelo através de regras de interação entre os elementos;
- 6º Passo: Representação das Interações no Ambiente WorldMaker;
- 7º Passo: Simulação;
- 8º Passo: Validação do modelo.

Para o desenvolvimento da atividade de modelagem expressiva no segundo módulo, foi disponibilizado um material constituído do texto base sobre o problema a ser modelado e dos passos para construção do modelo que continham espaços em branco para que os estudantes pudessem escrever suas idéias. Os dois módulos do curso foram vídeo filmados e, posteriormente os diálogos foram transcritos para serem analisados. Assim, a base de dados para análise consistiu das filmagens, dos diálogos, do material escrito e dos modelos construídos pelos estudantes.

Para a realização do estudo foram convidados dezesseis estudantes dos cursos de Física e de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo. Esses estudantes foram distribuídos em oito duplas e o Curso de Extensão foi realizado separadamente para cada uma delas.

Depois de terminada a coleta de dados, estes foram analisados utilizando-se a técnica das redes sistêmicas [14] apropriada para análise de dados de natureza puramente qualitativa.

4. Análise dos dados

As redes sistêmicas [14] são utilizadas para avaliar dados qualitativos através da categorização de seus principais aspectos. Esta categorização é feita utilizando-se os elementos básicos *colchete* e *chave*, onde

- um colchete é usado para representar qualquer conjunto de escolhas exclusivas;
- uma chave é usada para representar um conjunto de escolhas que ocorrem simultaneamente.

A partir destes elementos foi construída a rede sistêmica que enfocou o Processo de Modelagem dos estudantes através do Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker.

4.1. A rede sistêmica sobre o processo de modelagem computacional

A rede sistêmica representa o comportamento dos estudantes ao longo de todo o processo de construção de modelos no desenvolvimento da atividade de modelagem expressiva. Os aspectos incluídos na rede refletem o conjunto de comportamentos observados em todas as duplas. No entanto, isso não significa que necessariamente todas as duplas apresentaram todos estes comportamentos. Para isso foi utilizado um recurso técnico das redes sistêmicas denominado *recursão* e representado pela notação. Esse recurso foi utilizado no aspecto *Regras*, mostrado na Fig. 4, e significa que se deve passar pelo mesmo colchete quantas vezes forem necessárias até se obter a descrição desejada da situação antes de seguir adiante na rede [14].

Dessa forma, a rede sistêmica foi construída a partir de dois aspectos mais gerais: a *Descrição*, onde são abordados aspectos que descrevem o que foi realizado pelos estudantes no processo de desenvolvimento da atividade de modelagem expressiva e a *Análise*, onde são abordados aspectos relativos a como os estudantes interagiram com a atividade no processo de construção de modelos. Estes dois aspectos são retratados pela chave representada na Fig. 3.



Figura 3 - Rede sistêmica para a análise dos dados.

O presente artigo se restringe aos resultados da investigação da interação entre estudantes e o ambiente WorldMaker a partir dos aspectos da *Descrição* do Processo de Construção do Modelo.

A Fig. 4 mostra *Rede Sistêmica* da *Descrição*, e observa-se que, partindo-se dos aspectos mais gerais à esquerda e seguindo para a direita, o nível de detalhamento vai aumentando até atingir os termos mais à direita que representam informações mais próximas dos dados brutos. A contagem dos símbolos chave e colchete é realizada da esquerda para a direita e de cima para baixo. Assim, o aspecto *Versão do Modelo* é representado pela sexta chave e o aspecto *Passos*, representado pelo primeiro colchete da Fig. 4. O quadro-resumo anexado à rede mostra como foi o comportamento das duplas durante o Processo de Construção do Modelo (PCM): a leitura por colunas esclarece qual foi o comportamento de cada dupla e a leitura por linhas proporciona a visualização de quais aspectos da rede foram comuns entre as duplas.

4.2. Aspectos da descrição do processo de modelagem computacional comuns às duplas

A *Descrição* do PCM foi dividida nos 5 aspectos representados na Fig. 4. Os aspectos apresentados são *Início da Atividade*, que descreve a seqüência inicial de desenvolvimento da atividade de modelagem; *Postura de Trabalho*, relacionado à maneira com a qual os estudantes trabalham a construção dos modelos; *Elementos de Modelagem*, que mostra como os estudantes inseriram os elementos no modelo; *Versão do Modelo*, relacionado ao processo de validação do modelo pela dupla e *Modelo Final*, que diz respeito à versão final do modelo construído.

O aspecto *Início da Atividade*, representado pela segunda chave da Fig. 4, mostra que todos os estudantes iniciaram a atividade pela leitura do texto e que quatro duplas percorreram os passos de construção do modelo no papel, representado pelo primeiro colchete, expondo suas idéias sobre os elementos relacionados ao sistema. Os elementos listados por eles e apresentados no segundo colchete foram

Probabilidades:

- ...deixa do jeito que tá que o equilíbrio a gente vê pela probabilidade

Comportamento dos objetos:

- ...lá tem que ter várias partículas, umas em cima mais rápidas e outras em baixo mais devagar

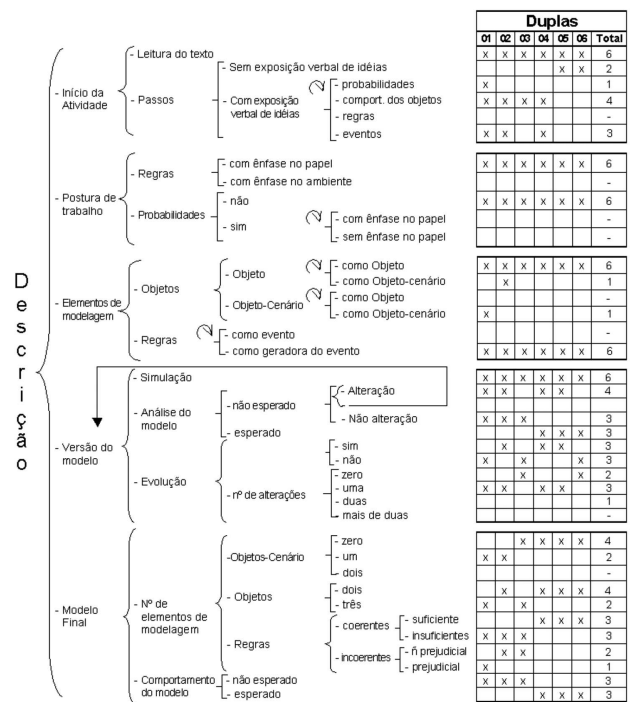


Figura 4 - Rede sistêmica dos aspectos da descrição do processo de modelagem computacional.

Eventos:

- as partículas do gás vão estar colidindo e depois de um tempo elas vão tomar conta de toda sala.

Observa-se que, apesar de introduzido na rede o aspecto *Regras*, nenhuma dupla abordou verbalmente este aspecto no início da atividade.

O segundo aspecto da Descrição, *Postura de Trabalho*, representado pela terceira chave da Fig. 4, mostra que todas as duplas optaram por trabalhar a listagem das regras no papel. É também possível observar que, apesar da Dupla 01 ter expressado verbalmente idéias relacionadas a probabilidades no *Início da Atividade*, nenhuma dupla trabalhou com esse conceito nem no papel nem no ambiente.

Em relação aos *Elementos de Modelagem* - quarta chave - observa-se que todas as duplas especificaram corretamente os *objetos*, exceto pela Dupla 02 que especificou o objeto “parede” do recipiente como um *objeto-cenário*. Contudo, os estudantes desta dupla, durante a simulação observaram que algo estava errado com o modelo e perceberam que deveriam modificar a “parede” para *objeto*. Ocorre que o modelo do sistema abordado não necessita da especificação de *objetos-cenário*. Na rede sistêmica foi introduzida a possibilidade de aparecimento de dois tipos de regras: como evento e como geradora de evento. O primeiro tipo ocorreria quando a dupla, ao listar a regra, escrevesse o evento resultante da regra, tais como, *a partícula se move* e *a partícula colide na parede*. Já o segundo tipo ocorreria quando a dupla listasse a regra na estrutura *se ... então*, ambos representados pelo oitavo colchete. Observa-se através da rede que todas as duplas especificaram as regras como geradoras de evento.

A sexta chave representa o aspecto *Versão do Modelo* e mostra os procedimentos de *Simulação*, *Análise* e a verificação da *Evolução* do modelo construído. Pode-se observar através deste aspecto que todas as duplas realizaram a simulação do modelo. O quadro resumo mostra, ainda, que, a partir das simulações, quatro duplas realizaram modificações ao modelo.

O último aspecto da descrição, denominado *Modelo Final*, mostra como ficou a última versão do modelo de cada dupla em relação ao número de elementos de modelagem - objetos e regras -, especificando quais duplas conseguiram construir um modelo que apresentasse o comportamento esperado. Observa-se, através deste aspecto, que para o modelo construído apresentasse tal comportamento era necessário que tanto o número de objetos inseridos quanto as regras implementadas estivesse de acordo com o modelo consensual esperado.

4.3. O aspecto versão do modelo: análise da evolução dos modelos

Como mencionado anteriormente, este artigo aborda os aspectos da *Descrição* do PCM no estudo do fenômeno da *difusão de um gás* com o Ambiente WorldMaker. Assim, a partir do aspecto *Versão do Modelo*, da Fig. 4, pode-se analisar a possível evolução dos modelos de cada dupla em separado, ressaltando que um modelo

consensual do sistema associado a este fenômeno no Ambiente WorldMaker é constituído de:

- Dois objetos: *parede* e *partícula do gás*;
- Três eventos: *partícula se move aleatoriamente*, *colisão partícula-partícula* e *partícula-parede*.

A Dupla 01 construiu um modelo de gás como se fosse uma nuvem que se espalha, associando a idéia de um efeito macroscópico - como uma nuvem. Os principais argumentos utilizados por esta dupla para a construção do modelo foram:

- *O gás se multiplica e toma conta de todo o espaço*;
- *Se uma partícula encontra espaço vazio ela se multiplica*;
- *Se partícula encontra uma parede ela para*.

Na construção do modelo no ambiente, os estudantes criaram uma regra de multiplicação das partículas do gás com o objetivo de simular seu espalhamento. Após a simulação, quando perguntados se o sistema apresentava o comportamento de acordo com o que eles esperavam, afirmaram que, em parte, sim. Os estudantes defenderam dizendo que *o gás está se comportando como uma nuvem* e que *fica um efeito mais macroscópico*. Porém, após observarem a simulação da primeira versão do modelo e refletirem sobre o seu comportamento, assumiram que o modelo não estava completo e modificaram a regra de movimento da partícula. Após nova simulação perceberam que o comportamento não havia sido alterado e complementaram que seria necessário inserir alguma regra que fizesse o gás se tornar rarefeito quando afirmaram *para gerar a rarefação é necessário criar regras para destruir moléculas*. No entanto, essa alteração não foi implementada e terminaram a atividade.

A Dupla 02 realizou uma única modificação e utilizou os seguintes argumentos durante a construção da primeira versão do modelo:

- *As partículas do gás se movem em linha reta caso encontrem espaço vazio*;
- *As partículas do gás colidem entre si e com as paredes do recipiente*;
- *As partículas, ao colidirem, retornam na direção contrária*.

Percebe-se, através destes excertos, que os estudantes não possuíam clareza sobre o movimento das partículas de um gás, pois indicaram que elas *se movem em linha reta*. A dupla apresentou uma concepção sobre o fenômeno de colisão. Inicialmente, a dupla concebeu o objeto “parede” como *objeto-cenário*. Durante a primeira simulação, os estudantes observaram que as partículas atravessavam a “parede” e perceberam esta

conceituação não era adequada. A partir daí, realizaram a modificação da “parede” para *objeto* e na segunda simulação observaram que aquela situação havia sido corrigida e fizeram o seguinte comentário:

- *Eu acho que realmente algumas partículas batem e ficam ali nas proximidades das paredes. Não ficam sempre se movimentando pra lá e pra cá.*

Dessa forma, apesar do modelo ter sido construído a partir do pressuposto das partículas se deslocarem em linha reta, os estudantes afirmaram que o modelo apresentava o comportamento esperado por eles e não realizaram mais modificações.

A Dupla 03 não realizou nenhuma modificação no modelo mesmo não tendo chegado ao modelo consensual esperado. Os principais argumentos desta dupla durante a construção do modelo foram:

- *Partículas diferentes com velocidades diferentes, umas mais rápidas outras menos rápidas;*
- *Partículas se movendo e colidindo entre si;*
- *Criação de partícula a partir da colisão entre partículas;*

Nestes excertos é possível perceber que o estudante faz referência às diferentes velocidades das partículas de um mesmo gás ao invés de referenciar a abordagem sistêmica quando o enfoque é na velocidade média das partículas. A idéia do estudante de implementar uma regra que crie uma partícula a partir da colisão entre outras duas partículas pode estar relacionada à idéia de quebra de moléculas através da colisão. Os principais argumentos após a simulação e visualização do comportamento do modelo foram:

- *... elas estão distribuídas homoganeamente;*
- *As partículas saem do recipiente e, após algum tempo, retornam novamente ao recipiente.*

No primeiro argumento, mesmo observando que as partículas estavam se movendo em linha reta, a dupla alegou que elas ocupavam todo o espaço. Já o segundo argumento parece estar relacionado à idéia de equilíbrio dinâmico que inclui a possibilidade das partículas poderem atingir qualquer configuração, inclusive a configuração inicial de retorno ao recipiente. Assumindo que o modelo apresentava o comportamento esperado por eles, os estudantes finalizaram a atividade.

Como se pode observar, essas três primeiras duplas analisadas não conseguiram construir um modelo que apresentasse o comportamento do modelo consensual esperado. A Dupla 01 concebeu regras que implementavam a criação e/ou destruição de matéria, sendo que as Duplas 02 e 03 construíram modelos semelhantes que não estavam adequados ao modelo consensual esperado

devido ao fato de terem sido concebidos com a concepção apenas de que as partículas se moviam em linha reta. As demais duplas conseguiram construir modelos que apresentaram o comportamento esperado.

A Dupla 04 realizou apenas uma modificação e utilizou os seguintes argumentos:

- *As moléculas do gás vão colidir entre si no canto do recipiente e após um tempo vão estar em todos os lugares;*
- *As moléculas ao andar em linha reta e após a colisão vão andar aleatoriamente;*

Esta dupla construiu uma primeira versão do modelo estabelecendo um movimento retilíneo para as moléculas do gás e esperando que a partir das colisões entre as moléculas todo o espaço seria ocupado. Após a simulação eles observaram que o movimento das moléculas não permitia que elas se espalhassem homoganeamente e argumentaram que *elas não devem andar em linha reta e que o comportamento das moléculas deve ser aleatório*. Assim, realizaram a modificação no movimento da partícula, tornando-o aleatório. Após a visualização do comportamento do gás a dupla alegou que *as moléculas estão mais espalhadas*. O modelo desta dupla apresentou o comportamento esperado e a dupla terminou a atividade.

A Dupla 05 também realizou apenas uma modificação e os argumentos expostos foram:

- *As partículas podem colidir de várias formas (ângulos) diferentes;*
- *O movimento é intrínseco às partículas, e se a partícula não encontra nada ela se move;*
- *Se a partícula encontra qualquer objeto ela muda de sentido.*

Observa-se que os estudantes associaram concepções sobre colisões no primeiro e terceiro argumentos e, no segundo, eles admitem que as partículas possuem movimento próprio bastando haver um local vazio para que elas se movimentem. Finalizada a primeira versão do modelo, os estudantes realizaram a simulação e, na visualização do seu comportamento, verificaram que as partículas não se moviam como esperavam. Isso foi expresso pelo excerto *o movimento retilíneo das partículas está incorreto*. Então, modificaram a regra de movimento da partícula e o modelo passou a apresentar o comportamento esperado. Ao final os estudantes comentaram *o movimento aleatório das partículas torna o modelo mais parecido com a realidade*, o que pode ser interpretado como o estabelecimento da relação entre o que ele estava visualizando no ambiente de modelagem e sua concepção do sistema real.

O desenvolvimento da Dupla 06 foi diferente das demais, uma vez que eles conseguiram chegar ao modelo

esperado logo na em sua primeira versão. Os principais argumentos utilizados por esta dupla na construção do modelo foram:

- *As partículas andam aleatoriamente;*
- *Elas colidem umas com as outras e com as paredes;*
- *As moléculas irão se espalhar por todo o recipiente;*

Observa-se que estes três argumentos refletem uma concepção na direção da conceituação científica do mesmo. Tendo construído o modelo, a dupla realizou a simulação e observou que este apresentava o comportamento esperado e terminaram a atividade. Este modelo, além de se comportar como o esperado, possuía uma estrutura semelhante ao modelo consensual esperado.

5. Considerações finais

Os resultados deste estudo mostram que os estudantes foram capazes de construir modelos no ambiente de modelagem computacional qualitativo a partir de suas próprias concepções e também de modificá-los. As modificações eram realizadas se, durante a visualização do comportamento da versão do modelo construído, os estudantes observassem que este não apresentava o comportamento esperado, de acordo com suas próprias concepções. Para quatro duplas, esta reflexão levou os estudantes a realizarem uma evolução no modelo construído, sendo que para uma dupla não houve evolução pelo fato do modelo esperado ter sido alcançado em sua primeira versão.

A evolução do modelo dos estudantes através da visualização de seu comportamento dinâmico no ambiente de modelagem computacional qualitativo corrobora os resultados relatados por Camiletti e Ferracioli [10] que, na utilização de um ambiente de modelagem computacional qualitativo, observaram que a visualização da simulação dinâmica permitiu aos estudantes a reflexão sobre aspectos e conceitos que não haviam considerado anteriormente à atividade. A simulação dinâmica pode representar uma alternativa para a limitada capacidade das pessoas ‘rodarem’ seus próprios modelos apontados por Norman [6]. Foi também possível observar, em versões intermediárias dos modelos considerados finais pelos estudantes, as características de incompletude, instabilidade e não-cientificidade apontadas por Norman [6].

Dessa forma, estes resultados apontam para uma promissora utilização do Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker no levantamento de concepções de estudantes sobre determinado tópico bem na análise da evolução de modelos ao longo do processo de sua construção.

Por outro lado, Wilenski [15], utilizando um modelo de gás construído no ambiente de modelagem computacional StarLogo, observou que estudantes levados a interagir com o modelo, foram capazes de levantar hipóteses e fazer inferências sobre o seu comportamento, além de estabelecer relações com o sistema real. O autor reporta, ainda, que o desafio maior desta linha de pesquisa é desenvolver ambientes de modelagem e pedagogias que promovam a modelagem de forma efetiva no contexto educacional.

Neste contexto, os PCN indicam que a introdução de modelos no ensino pode promover a construção de abstrações indispensáveis ao conhecimento científico, além de abordar a importância da introdução de novas tecnologias no contexto do ensino visando a integração das mais variadas formas de ensinar [1]. Entretanto, a introdução do conceito de modelos e a inserção de novas tecnologias levantam questões relacionadas tanto à formação de recursos humanos quanto ao desenvolvimento de atividades curriculares adequadas a essa nova realidade [16]. Assim, a investigação da integração de ambientes de modelagem computacional no contexto educacional tem por objetivo a busca de alternativas que levem em consideração os dois aspectos acima citados. Desta forma, este artigo relata um estudo contextualizado na investigação da construção de modelos sobre um tópico de conteúdo específico através da utilização de um ambiente de modelagem computacional qualitativo.

Em relação ao desenvolvimento de atividades curriculares alternativas para a integração do conceito de modelagem no ensino, foi desenvolvida uma seqüência de passos, descrita no item 3, para a construção de modelos utilizando o ambiente de modelagem WorldMaker. A seqüência sugerida permitiu que os estudantes dividissem o PCM em três etapas: *primeira etapa*, a construção do modelo no papel; *segunda etapa*, a implementação do modelo no ambiente e *terceira etapa*, a análise e modificação do modelo. Na primeira os estudantes puderam refletir sobre o sistema, representando no papel tudo o que conseguiam expressar sobre ele. Na segunda os estudantes puderam implementar, no ambiente de modelagem computacional, as idéias que haviam expressado no papel. Já na terceira etapa, eles puderam simular e analisar o modelo, conflitando o comportamento apresentado pelo mesmo no ambiente com o esperado por eles. Os resultados obtidos revelam que esta metodologia foi adequada a esse tipo de atividade, sendo sugerido a repetição dos passos 3, 4 e 5 após o término da atividade como forma de verificar uma possível evolução das concepções dos estudantes.

Agradecimento

Trabalho parcialmente financiado pelo CNPq, CAPES e pelo FACITEC – Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia do Conselho Municipal de Ciência e Tecnologia do

Município de Vitória, ES.

Referências

- [1] Brasil, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília (1999). Disponível em www.mec.gov.br. Acesso em 30 maio 2004.
- [2] J. Gilbert e C. Boulter, in *Modelos e Educação em Ciências*, editado por D. Colinvaux (Ravil, Rio de Janeiro, 1998). Artigo traduzido do original que integra a coletânea *The Handbook of Science Education*, organizada por B. Frazer e K. Tobin.
- [3] R. Harré, *Physics Education* **13**, 275 (1978).
- [4] J. Gilbert, *Models in Science and Science Education, Exploring Models and Modelling in Science and Technology Education – Contribution From the MISTRE Group* (The College of Estate Management, Reading, 1997).
- [5] P.N. Johnson-Laird, *Mental Models* (Harvard Press, Cambridge, 1983).
- [6] D.A. Norman, in *Mental Models*, edited by D. Gentner and A.L. Stevens (Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1983).
- [7] H. Mellar and J. Bliss, in *Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modeling in the Curriculum* edited by H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn and C. Tompsett (The Falmer Press, London, 1994).
- [8] T. Gomes, *A Modelagem Computacional Qualitativa no Estudo de Tópicos de Ciências: Um Estudo Exploratório com Estudantes Universitários*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.
- [9] J. Ogborn, in *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education*, edited by W. Feurzeig and N. Roberts (Springer-Verlag, New York, 1999).
- [10] G. Camiletti e L. Ferracioli, in *Anais do IV Seminário sobre Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem*, Vitória, 2003, p. 253. Disponível em www.modelab.ufes.br/ivseminario. Acesso em 30 maio 2004.
- [11] G. Camiletti e L. Ferracioli, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **18**, 2 (2001).
- [12] T. Gomes e L. Ferracioli, *Fractais e Autômatos Celulares – Uma Visão Geral* (2001). Disponível em <http://www.modelab.ufes.br/automato>. Acesso em 30 maio 2004.
- [13] T. Gomes and L. Ferracioli, in *Proceedings of X International Organization for Science and Technology Education Symposium*, Foz do Iguaçu, 2002. Disponível em www.modelab.ufes.br/xioste. Acesso em 30 maio 2004.
- [14] J. Bliss, M. Monk e J. Ogborn, *Qualitative Data Analysis for Educational Research: A Guide of Systemic Networks*. (Croom Helm, London, 1983), 1st ed.
- [15] U. Wilenski, in *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education*, edited by W. Feurzeig and N. Roberts (Springer-Verlag, New York, 1999).
- [16] L. Ferracioli e F.F. Sampaio, *Revista Brasileira de Informática na Educação* **8**, 83 (2001).