

A Utilização da Modelagem Computacional Qualitativa no Estudo do Sistema Gás-Recipiente: Uma Análise de Procedimentos de Modificações de Modelos até a Obtenção dos Modelos Finais

Rafael Rodrigues de Oliveira¹ Laércio Ferracioli¹

¹Departamento de Física – Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória – ES – Brasil

rafaelfisica2000@yahoo.com.br, laercio@modelab.ufes.br

Resumo Este artigo apresenta resultados relacionados ao desenvolvimento de atividades de modelagem expressiva com o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker no estudo de um tópico específico de ciências. O fenômeno estudado foi a difusão de um gás dentro de um recipiente fechado, caracterizado no estudo como sistema *Gás-Recipiente*. Para a realização desse estudo foi desenvolvido um experimento com estudantes universitários das áreas de ciências biológicas e exatas. Os resultados mostram que os estudantes foram capazes de construir modelos sobre o sistema sendo possível observar dificuldades, habilidades e procedimentos no processo de construção de modelos. Este artigo apresenta os resultados referentes aos procedimentos utilizados pelos estudantes para a obtenção dos seus modelos finais.

Palavras Chaves: modelagem computacional, procedimentos de modificação

Abstract This paper reports results concerning the development of expressive modelling activities with the Computer Modelling Environment WorldMaker in the study of a topic in science. The study phenomenon was the diffusion of gas inside of a closed container, characterised of study as system *Gás-Recipiente*. To carry on this study was development a experiment with university students from biological and science-technology areas. Results show that students were able to build models about the proposed system being possible to observe, difficulties, abilities and procedures in the model building process. This paper reports results related to the procedures used by students to attain its final models.

Keywords: Computer modelling, modification procedures

1. Introdução

Uma das principais atividades da ciência é a teorização para a construção de modelos que expliquem o mundo a nossa volta. Com o avanço da tecnologia da informática essa importante atividade da ciência tem se tornado cada vez mais acessível na educação em ciências através do desenvolvimento dos ambientes de modelagem computacional [1]. O presente artigo relata resultados de um estudo realizado com estudantes universitários que utilizaram o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker para construir modelos sobre o fenômeno de difusão de gases, denominado de sistema *Gás-Recipiente*.

1.1 Referencial Teórico

Um modelo pode ser definido como a representação de uma idéia, um objeto, um evento, um processo ou um sistema. Essa definição pode evoluir em direção ao entendimento de modelos como representações concretas, tais como, um objeto, uma maquete, um protótipo ou um sistema físico, quanto ao entendimento de modelos como representações abstratas, tais como, um pensamento, uma idéia, um evento ou um processo. Assim, a partir dessa definição pode-se dizer que a modelagem é a atividade humana de construir modelos, sejam eles concretos ou abstratos.

A modelagem aplicada ao ensino de tópicos específicos em ciência pode ser feita a partir da utilização de ambientes de modelagem computacional. Um ambiente de modelagem computacional consiste em uma ferramenta computacional onde os estudantes podem construir modelos a partir de suas próprias concepções sobre o fenômeno estudado ou explorar modelos já prontos desses fenômenos. Essas ferramentas são denominadas de ambiente de modelagem devido ao fato de haver uma proposta educacional associada à sua utilização.

Os ambientes de modelagem computacional podem ser classificados de acordo com o raciocínio empregado na construção dos modelos no ambiente. Dessa forma, tem-se:

- *Ambientes de Modelagem Quantitativos*
Ambientes que enfocam o cálculo de valores de variáveis dependentes através de suas relações algébricas [2]. São também denominados de ambientes de modelagem matemática.
- *Ambientes de Modelagem Semiquantitativa*
Ambientes que enfocam o entendimento de relações causais entre os elementos do sistema e a análise do efeito nessas relações – acréscimo e decréscimo – mas não no conhecimento dos valores numéricos das relações algébricas.
- *Ambientes de Modelagem Qualitativos*
Nestes ambientes os modelos são criados sem a especificação de variáveis, relações algébricas ou quantidades, mas pela especificação dos seus constituintes básicos e das regras que determinam seus comportamentos.

Existem dois tipos de atividades utilizando a modelagem computacional denominadas por Mellar & Bliss [5] de atividade expressiva e a exploratória cuja diferenciação é baseada na relação de interação entre o estudante e a ferramenta de modelagem computacional.

- *Modelagem Exploratória*
O estudante é levado a explorar um modelo previamente construído por um professor ou especialista sobre um determinado fenômeno.
- *Modelagem Expressiva*
O estudante é levado a construir seus próprios modelos a partir de suas próprias concepções sobre um fenômeno ou sistema.

Sendo assim, os ambientes de modelagem computacional são utilizados de acordo com a forma de raciocínio empregada na construção ou exploração dos modelos dos fenômenos do mundo que nos cerca. Este artigo relata resultados e perspectivas com o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker a partir da

observação dos procedimentos utilizados para modificar a primeira versão dos modelos do sistema *Gás-Recipiente* até a obtenção dos modelos finais desse sistema.

1.2 O Ambiente WorldMaker

O Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker foi desenvolvido baseado em duas premissas

- Necessitamos de um sistema de modelagem computacional que expresse os modelos em termos de objetos e ações desses objetos uns com os outros;
- Necessitamos de um sistema de modelagem computacional que expresse relações entre coisas grandes e pequenas, acréscimo e decréscimo, porém, sem usar variáveis e equações matemáticas.

Dessa forma, o WorldMaker [4] é fundamentado para que os modelos neles construído sejam baseados em *Objetos* e *Eventos*, ou seja, objetos interagem uns com os outros e com os lugares onde vivem, *Objetos-Cenário* gerando eventos, mas não sendo necessário expressar essas interações em termos de variáveis e equações.

Segundo o autor [4] o WorldMaker foi construído com o objetivo de tornar acessível a prática da modelagem para crianças desde seus primeiros estágios de desenvolvimento intelectual, uma vez que, a princípio, a modelagem no ambiente computacional qualitativo é acessível a crianças mais novas por fazer o uso apenas de objetos e eventos. No entanto, o uso do WorldMaker não se restringe apenas com crianças em seus primeiros estágios de desenvolvimento intelectual, pois os modelos construídos no ambiente podem ser complexos tanto nas suas construções quanto nos resultados por eles gerado. Dessa forma, pode-se construir modelos simples ou complexos nos mais variados tópicos de Ciência que são estudados desde o ensino fundamental até a educação superior.

Para construir um modelo no WorldMaker é necessário especificar quais objetos serão usados para representar o sistema em questão [5]. No WorldMaker existem dois tipos de objetos: *Objetos* e *Objetos-Cenário*. Os *Objetos* representam todos os elementos que podem se mover. Por outro lado, os *Objetos-Cenário* representam os locais onde os *Objetos* podem se mover [5]. Por definição, no WorldMaker, uma célula pode ser preenchida apenas por um *Objeto* e um *Objeto-Cenário* ao mesmo tempo. Dessa forma, dois elementos do mesmo tipo não podem ocupar a mesma célula ao mesmo tempo. Por fim, após a especificação dos elementos *Objetos* e *Objetos-Cenário* que vão compor o modelo, é necessário construir a partir desses elementos *Regras* que representam os *Eventos* que ocorrem no modelo. De posse dessas informações os modelos podem ser construídos e simulados. O Ambiente de Modelagem WorldMaker possui uma série de funções e painéis específicos e seu layout é mostrado na Figura 01.

- *Grade dos Mundos:*
Local onde os *Objetos* e *Objetos-Cenário* são dispostos para interagirem entre si. Possibilitando a visualização do comportamento do modelo como um todo;
- *Barra de Ferramentas de Arquivos:*
Botões de trabalho com os arquivos dos modelos: Novo, abrir, Salvar e Imprimir Modelo;
- *Botões de Execução do Mundo:*

Contém os botões Voltar, Parar, Avançar, Avançar um passo e Avançar rapidamente;

- *Painéis de Objetos e Objetos-Cenário*

Painéis dos *Objetos* e *Objetos-Cenário* que representam o sistema a ser modelado;

- *Painel das Regras:*

Local onde ficam listadas as regras de interação associadas a cada objeto do modelo. Neste painel existe um botão que quando acionado abre a *Janela de Edição de Regras*, onde as regras podem ser criadas, conforme mostrado na Figura 02.

O Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker permite construir modelos de forma icônica apenas utilizando o mouse [5].

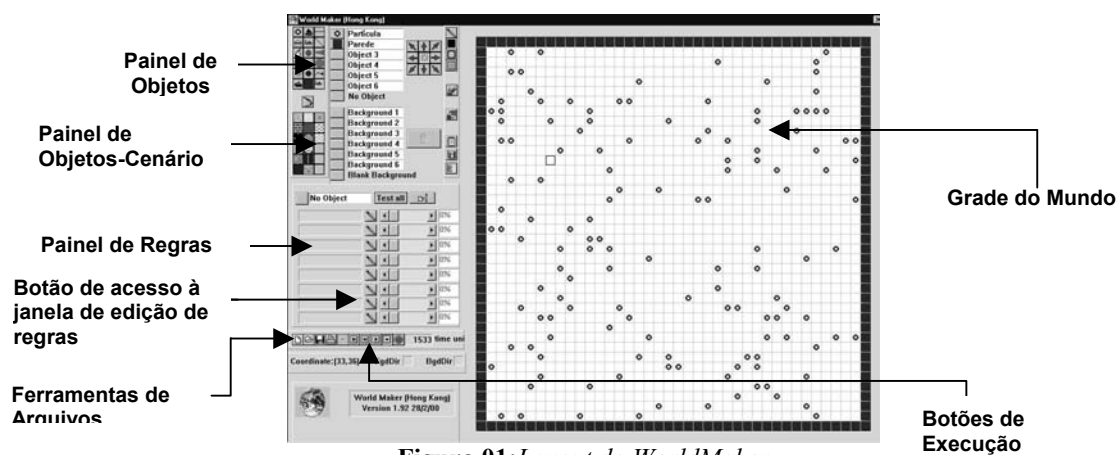


Figura 01: Layout do WorldMaker

Além disso, o ambiente permite a construção de modelos nas mais diversas áreas da ciência tais como, Física, Química e Biologia.

2 Concepção do Estudo

Esse estudo teve o objetivo de investigar o Processo da Modelagem Computacional (PMC) através da análise dos Passos de Construção de Modelos (PCM's) desenvolvidos por estudantes universitários para o fenômeno de *Difusão de Gás*. Para executar esse estudo foi estruturado um experimento com duração de duas horas em dois módulos:

- *Primeiro Módulo (1 hora)*

Introdução a metáfora dos *Objetos* e *Eventos* e ao ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker;

- *Segundo Módulo (1 hora)*

Atividade de modelagem expressiva utilizando o Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker.

O critério de escolha do fenômeno de interesse foi que ele devia ser um processo que tivesse interesse científico em relação a um conteúdo específico e também ao processo de modelagem computacional e que, ao mesmo tempo, pudesse ser facilmente discutido em termos de argumentos do cotidiano pelos estudantes. Dessa forma, o fenômeno escolhido para o desenvolvimento desse estudo foi o da *Difusão de Gás* caracterizado a partir de um sistema constituído de gás inicialmente confinado em um recipiente e localizado no canto de uma sala que é liberado, espalhando-se por toda a sala.

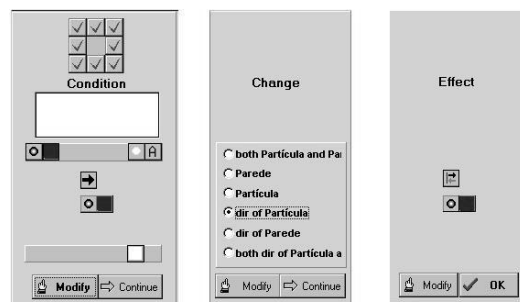


Figura 02: Janela de Edição de Regras do WorldMaker

2.1 Os Passos de Construção de Modelos (PCM's)

No processo de construção de modelos utilizando a metáfora dos objetos e eventos, devem ser identificados, inicialmente, os objetos considerados relevantes para a construção do modelo e as regras que irão reger os seus comportamentos dentro do modelo. Assim, visando orientar os estudantes neste processo Gomes [5] utilizou uma sequência de oito passos denominada de *Passos de Construção de Modelos (PCM's)* desenvolvida a partir de Camiletti & Ferracioli [6]. Para o presente estudo, a partir de sugestão apresentada por Gomes na conclusão de seu estudo, foi incluído um passo intermediário no papel que auxiliasse os estudantes a incorporar o formalismo da ferramenta antes de construírem as versões computacionais de seus modelos. Dessa forma, o material instrucional utilizado nesse experimento continha um passo a mais nesse processo, totalizando uma sequência de nove passos. O passo intermediário acrescido foi o de construção de regras no papel representado pelo *Sexto Passo de Construção de Modelos (PCM6)*. Assim, a sequência de passos final foi:

- 1º Passo:** Definição do sistema a ser estudado – PCM1
- 2º Passo:** Escolha do fenômeno de interesse – PCM2
- 3º Passo:** Listagem dos elementos importantes – PCM3
- 4º Passo:** Classificação dos elementos listados em Objetos e Objetos-Cenário – PCM4
- 5º Passo:** Construção das regras através das interações entre os elementos – PCM5
- 6º Passo:** Construção de cada regra descrita no 5º passo através de detalhamento de acordo com o ambiente de modelagem descrito na apostila – PCM6
- 7º Passo:** Representação das interações no ambiente WorldMaker e simulação – PCM7
- 8º Passo:** Simulação – PCM8
- 9º Passo:** Validação do modelo – PCM9

É importante lembrar que os passos de construção de modelos têm o objetivo de levar a refletir sobre o fenômeno abordado preparando-o para a construção e representação de um modelo inicial no papel para, então, ir ao computados representa-lo no ambiente de modelagem computacional: a representação informática é entendida como o estágio final da representação de um fenômeno [7].

2.2 A Amostragem

Para a realização desse estudo não foi possível obter uma amostragem aleatória e o estudo foi desenvolvido com estudantes de graduação e pós-graduação do curso de Física e com alunos de graduação do curso de Biologia da Universidade Federal do Espírito Santo selecionados de acordo com a disponibilidade para participarem do experimento. A amostra foi composta por alunos de ambos os sexos.

3 Análise de Dados

Os dados coletados neste estudo são de natureza inerentemente qualitativa e para a sua análise foi utilizada a técnica de *rede sistêmica*. As redes sistêmicas são utilizadas para avaliar dados qualitativos através da categorização de seus de seus principais aspectos. Os elementos básicos de uma rede sistêmica são: a *chave* e o *colchete*.

- Uma *chave* é utilizada para caracterizar dados que representam um conjunto de escolhas que ocorrem simultaneamente.
- Um *colchete* é utilizado para caracterizar dados que representam qualquer conjunto de escolhas exclusivas.

Dessa forma, esses elementos foram utilizados para construir a Rede Sistêmica com enfoque no Processo da Modelagem Computacional (PMC) através da análise dos Passos de Construção de Modelos (PCM's) desenvolvidos por estudantes universitários no Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker.

3.1 Rede Sistêmica Para a Análise do Processo de Construção de Modelos

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, é importante ressaltar que isso não significa que necessariamente todas as duplas apresentaram todos estes comportamentos. Na Figura 03 é mostrada a rede construída para a análise dos dados.

Dessa forma, a rede sistêmica foi construída a partir de três aspectos mais gerais denominados por, *Discussão das Regras no Papel*, onde são abordados características do processo de modelagem do sistema *Gás-Recipiente* no terceiro, quarto e quinto passos de construção de modelos – PCM3, PCM4 e PCM5. No segundo aspecto, *Construção das Regras no Ambiente de Modelagem*, são abordados características do processo de modelagem do sistema *Gás-Recipiente* no sexto passo de construção de modelos – PCM6. Finalmente, no aspecto, *Construção das Regras no Ambiente de Modelagem*, são abordados características do processo de modelagem computacional no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker – PCM7, PCM8 e PCM9. Cabe ainda ressaltar que esses três aspectos são subdivididos em dois aspectos, *Descrição*, onde são abordados aspectos que descrevem o processo de desenvolvimento da atividade de modelagem expressiva, e *Análise*, onde são abordados aspectos relativos ao processo de construção de modelos propriamente ditos.

Este artigo apresenta resultados referentes ao aspecto *Construção das Regras no Ambiente de Modelagem*, mais especificamente sobre o aspecto de *Descrição*, que descreve todos os procedimentos seguidos pelas duplas ao longo da implementação dos modelos no Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker, mais precisamente este artigo relata os procedimentos de alteração da primeira versão dos modelos construídos no WorldMaker até a sua versão final.

4 Discussões

Os resultados relativos aos procedimentos de alteração dos modelos apresentadas pelos estudantes no estudo serão detalhados na resposta a uma questão básica de pesquisa, apresentada na próxima seção.

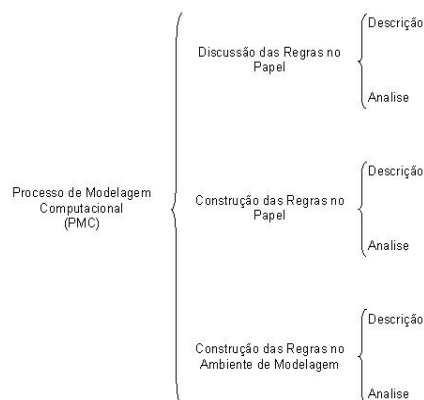


Figura 03: Rede Sistemica de Análise dos Dados

4.1 Quais são os procedimentos adotados pelas duplas na modificação da primeira versão dos modelos construídos no ambiente de modelagem computacional qualitativo WorldMaker para a obtenção dos modelos finais?

Os resultados desse experimento constaram que excetuando-se a Dupla_06, as demais modificaram no, mínimo, uma vez a primeira versão do modelo do sistema *Gás-Recipiente* construído no ambiente WorldMaker. Dessa forma, o objetivo deste artigo é buscar descrever os procedimentos usados pelas duplas na modificação dessas primeiras versões até construírem as versões finais dos modelos. Para isso, será apresentada a Tabela 01, onde são mostrados os procedimentos utilizados pelas duplas e, a partir dessa tabela será comentada para cada dupla os procedimentos utilizados em ordem temporal. Por fim, será apresentado as conclusões referentes a esses procedimentos.

Para a **Dupla_01**, observa-se que o modelo foi modificado **quatro vezes**.

A primeira modificação do modelo ocorreu em duas etapas: na Primeira, os estudantes analisaram a primeira regra construída por eles, regra *Bounce*, considerando-a correta. Na Segunda, os estudantes analisaram a segunda regra construída, regra *Both Repel*, modificando-a para a regra *Swap*.

A segunda modificação do modelo ocorreu em uma única etapa: os estudantes analisaram novamente a primeira regra construída, regra *Bounce*, modificando-a para a regra *Make Radon*. Dessa forma, nesse estágio o sistema ainda possui duas regras: *Make Radon* e *Swap*.

A terceira modificação do modelo ocorreu em duas etapas: na Primeira, a regra *Make Radon* foi modificada para a regra *Roll*. Na Segunda, os estudantes incluíram uma terceira regra no modelo, a regra *Repelled By*. Nesse estágio o sistema possuía três regras: *Swap*, *Repelled By* e *Roll*.

A quarta modificação, feita em uma única etapa e, mais uma vez, a primeira regra foi modificada, *Roll*, foi alterada para uma regra *Jump*.

Para a **Dupla_02**, observa-se que o modelo foi modificado **duas vezes**.

A primeira modificação do modelo ocorreu em duas etapas: na Primeira, os estudantes analisaram a primeira regra construída por eles, regra *Bounce*, considerando-a correta. Na Segunda, os estudantes construíram uma segunda regra para o modelo denominada de *From Background*. Após essa primeira modificação o modelo possuía duas regras: *Bounce* e *From Background*.

A segunda modificação do modelo ocorreu em uma única etapa: os estudantes incluíram uma terceira regra para o modelo, a regra *Roll*.

Tabela 01: *Procedimentos Utilizados Pelas Duplas Para Obtenção Das Várias Versões dos Modelos*

Procedimento	D 01	D 02	D 03	D 04	D 05	D 06
Análise da validade de regras já construídas	X	X				
Alteração de uma regra por outra que representa a mesma interação no modelo	X		X	X		
Alteração de uma regra por outra que representa uma interação diferente no modelo	X					
Inclusão de uma regra que representa uma nova interação no modelo		X	X	X	X	
Inclusão de uma regra que representa uma interação já construída no modelo	X					

Para a **Dupla_03** observa-se que o modelo foi modificado **três vezes**

A **primeira modificação** do modelo ocorreu em uma única etapa: os estudantes incluíram uma segunda regra para o modelo, a regra *Roll*. Nesse estágio o modelo possuía duas regras: *Bounce* e *Roll*.

A **segunda modificação** do modelo ocorreu em duas etapas: na Primeira, os estudantes analisaram a regra *Roll*, modificando-a para a regra *Jump*. Na Segunda, os estudantes incluíram uma terceira regra no modelo, a regra *Swap*. Assim, o modelo final era composto por três regras, *Bounce*, *Swap* e *Jump*.

Para a **Dupla_04** observa-se que o modelo foi modificado **duas vezes**.

A **primeira modificação** do modelo ocorreu em uma única etapa: os estudantes incluíram uma segunda regra no modelo, a regra *Roll*. Após essa primeira modificação o modelo possuía duas regras: *Bounce* e *Roll*.

A **segunda modificação** do modelo ocorreu mais uma vez em uma única etapa: os estudantes alteraram a regra *Roll*, modificando-a para *Jump*.

Para a **Dupla_05** observa-se que o modelo foi modificado uma **única vez**.

A **primeira e única modificação** do modelo ocorreu com os estudantes incluindo uma segunda regra no modelo, a regra *Jump*.

Para a **Dupla_06** não houve modificação alguma na primeira versão do modelo

O modelo final construído por essa dupla no ambiente de modelagem era composto de quatro regras: *Both Repel*, *Bounce*, *Repeled By* e *Jump*.

A partir da descrição dos procedimentos usados por cada dupla para implementar as versões dos seus modelos no ambiente WorldMaker foi possível observar que os procedimentos foram baseados na **análise** de regras e na **alteração** de regras já construídas, sendo que as duplas utilizam um total de 5 procedimentos, mostrados na Tabela 01.

Por fim, pode-se concluir que os procedimentos de modificação de versões de modelos do sistema *Gás-Recipiente* construídos no ambiente WorldMaker nesse experimento consistiu de **análise** e **alteração** de regras já construídas.

Pode-se observar que esses procedimentos utilizados pelas duplas não incluíram as possíveis alternativas de **inclusão**, **exclusão** de *Objetos* e *Objetos-Cenário* ou **alteração** das classificações desses elementos. Cabe ressaltar que, tivessem as duplas utilizado alguns desses procedimentos, elas teriam a possibilidade de ter produzido uma versão final do modelo mais adequada ao experimento: excetuando a versão final do modelo da Dupla_03, as demais versões finais produzidas não possuíam o número adequado de

Objetos e Objetos-Cenário. Além disso, as versões das duplas 02 e 06 não apresentaram as classificações corretas em *Objetos* e *Objetos-Cenários* de alguns dos elementos considerados importantes.

5 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

O objetivo desse artigo foi apresentar resultados sobre a utilização do Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo WorldMaker no estudo do sistema *Gás-Recipiente*, apontando os *Procedimentos* de alterações de modelos adotados pelos estudantes durante a atividade de modelagem expressiva. Os resultados mostraram que os estudantes se concentraram principalmente na modificação das regras construídas para produzir os modelos finais. Porém, existem outras formas de modificar o comportamento de um modelo e que não foram abordadas nesse experimento, tais como, alteração da probabilidade de ocorrência das regras, alteração da disposição dos *Objetos* e *Objetos-Cenários* na grade do mundo e alteração dos elementos do sistema. Dessa forma, um estudo futuro poderia explorar algumas dessas outras possibilidades de alteração a partir da apresentação formal delas ao estudante.

Por fim, este estudo gerou resultados que contribuíram para o delineamento e desenvolvimento de um Ambiente de Modelagem Computacional Qualitativo com design apropriado para a implementação de atividades de modelagem na perspectiva dos Passos de Construção de Modelos. Esta é uma perspectiva de trabalho promissora mas que demandará um maior investimento de recursos humanos e de tempo.

Referências

- [1] LAW, N., LI, S.C., LI, R. & TANG, P. (2000) WorldMaker: Making Collaborative Exploration of Complex Systems Accessible to Children. In: *Paper presented at the Global Chinese Conference on Computers in Education, Singapore*. Disponível em: <<http://worldmaker.cite.hku.hk/worldmaker/pages/>> Acesso em 02 maio 2005.
- [2] BOOHAN, R. (1994) Interpreting the world with numbers: an introduction to quantitative modelling. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. The Falmer Press. p. 49-58.
- [3] MELLAR, H. & BLISS, J. (1994) Introduction: Modelling and Education. In: Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Topsett (Eds.) *Learning with Artificial Worlds: Computer-Based Modelling in the Curriculum*. The Falmer Press, London & Washington, D.C., 1994. Cap 1, p. 1-7.
- [4] OGBORN, J.; BOOHAN, R. & WRIGHT, S. (1992) *WorldMaker: A New Approach to Computer Modelling*. User Guide-London: Institute of Education University of London.
- [5] GOMES T. & FERRACIOLI L. (2006) *A Utilização da Modelagem Computacional Qualitativa no Estudo do Sistema Predador-Presa*.
- [6] CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. A. (2001) A Utilização da Modelagem Computacional Quantitativa no Aprendizado Exploratório de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(2): 214-28.
- [7] FERRACIOLI, L. (2004) A Integração de Ambientes Computacionais ao Aprendizado Exploratório em Ciências. Projeto de Pesquisa financiado pelo CNPq. Processo 30.4785/2004-0.