

# **A MODELAGEM COMPUTACIONAL QUANTITATIVA NO ESTUDO DO RESFRIAMENTO DA ÁGUA: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO COM ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO**

## **THE QUANTITATIVE COMPUTER MODELING IN THE STUDY OF COOLING WATER: AN EXPLORATORY STUDY WITH HIGH SCHOOL STUDENTS**

**Elias Gonçalves<sup>1</sup>**

**Laércio Ferracioli<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, elias@cefetes.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Física/UFES, laercio@modelab.ufes.br

### **RESUMO**

O artigo apresenta resultados da investigação sobre a utilização do Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo ao aprendizado exploratório de conteúdos específicos de Ciências. Os resultados aqui apresentados são relativos ao estudo e a interação e desempenho de alunos de ensino médio, durante a utilização do ambiente de modelagem computacional quantitativo baseado na metáfora de ícones STELLA em uma atividade sobre o resfriamento da água. Os dados são de natureza qualitativa e para a sua análise foi utilizada a técnica da Rede Sistêmica. Os resultados sugerem que os estudantes foram capazes de desenvolver os modelos propostos, identificando o tipo de estrutura causal característico do fenômeno de resfriamento da água e apresentando dificuldades e habilidades no desenvolvimento do processo de construção de modelos.

**Palavras-chave:** modelagem computacional quantitativa

### **ABSTRACT**

This paper presents results of the investigation on the use of Quantitative Computer Modelling environment into the exploratory learning of specific contents of Science. The results presented refer to the study of the interaction and performance of high school students, during the use of the quantitative computer modelling environment based on the Iconic Metaphor STELLA for developing in the activity about cooling water. All data are of qualitative nature, with Systemic Networks technique being used for their analysis. Results suggest that the students were able to develop proposed model, indentifying the type of causal framework typical about the cooling water phenomenon and evidencing both abilities and difficulties throughout the model construction process.

**Keywords:** quantitative computer modelling

## 1. A MODELAGEM COMPUTACIONAL E A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

No contexto escolar, desde a educação básica à educação superior, as oportunidades de explorar cada vez mais o potencial da tecnologia de informação e comunicação tem aumentado significativamente no últimos anos. Recentes pesquisas sobre a integração da tecnologia da informática no processo de ensino-aprendizagem relacionada a tópicos de Ciências têm mostrado que a abordagem baseada na utilização da modelagem computacional é uma alternativa promissora (e.g. Santos, 1992; Sampaio, 1996; Sampaio & Torres, 1999; Camiletti, 2001; Camiletti & Ferracioli 2001; Gomes, 2003, Oliveira, 2004). Essas pesquisas tem buscado promover a modelagem computacional como ferramental de trabalho nos processos de ensino e aprendizagem em Ciências e pesquisas sobre a integração de ambientes de modelagem computacional no aprendizado exploratório de tópicos de Ciências (Ferracioli, 2000).

No entanto, segundo Ferracioli (1997b) a utilização da modelagem computacional no contexto educacional demanda o delineamento de uma investigação que inclua tanto o desenvolvimento de atividades de modelagem quanto a sua efetiva utilização para que se possa concluir sobre as reais possibilidades de sua integração no cotidiano de sala da aula.

Neste contexto, o estudo aqui relatado investigou a utilização da modelagem computacional quantitativa com estudantes de ensino médio na perspectiva da aprendizagem exploratória em Física que articula: conteúdos curriculares específicos, a tecnologia de informática e a modelagem como estratégia de elicitação e construção do conhecimento (Ferracioli, 2003).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A modelagem computacional pode permitir o desenvolvimento de atividades de modelagem sem a exigência de um formalismo matemático ou conhecimento de uma linguagem de programação. Nos ambientes de modelagem computacional baseado na metáfora de ícones, as variáveis envolvidas no estudo e as possíveis ligações entre elas, são representadas por ícones de forma que o cálculo necessário para o estabelecimento dessas ligações entre as variáveis são realizados internamente por procedimentos computacionais, não exigindo do estudante o conhecimento de programação e matemático.

Um ambiente de modelagem computacional é um software que, no contexto deste trabalho, recebe esta denominação devido ao fato de estar contextualizado no ambiente escolar onde ele é entendido como um ambiente de aprendizagem.

A modelagem computacional caracteriza-se como um processo dinâmico na medida que um modelo construído pelo estudante com papel e lápis e, a seguir, representado em um ambiente de modelagem computacional, pode ser simulado e os resultados desse procedimento levam o estudante tanto a vislumbrar a evolução temporal da realidade física modelada, quanto repensar sua concepção sobre esta.

### 2.1 Sobre as atividades de Modelagem

De acordo com Bliss & Ogborn (1989) as atividades de construção de modelos podem ser desenvolvidas de duas maneiras:

**Exploratória:** Quando o aluno explora através da simulação um modelo previamente desenvolvido pelo professor ou pesquisador no ambiente de modelagem.

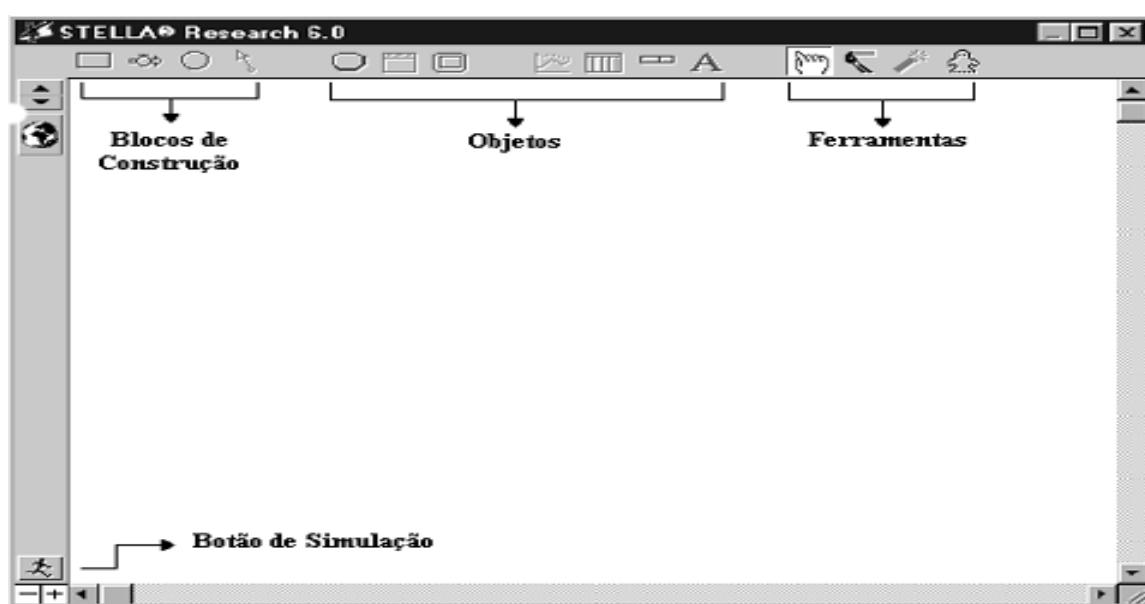
**Expressiva:** Quando é pedido ao aluno para desenvolver seus próprios modelos em um ambiente computacional.

Neste trabalho as atividades de construção de modelo foram desenvolvidas em nível expressivo.

## 2.2 O Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA





O Ambiente de Modelagem Computacional utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi o STELLA, acrônimo de *Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation* (Richmond, 1987; Ferracioli & Camiletti, 1998), pois permite a construção e simulação de modelos dinâmicos em nível quantitativo com uma representação gráfica baseada em ícones. Baseado na metáfora do tanque e da torneira, o ambiente STELLA possibilita a construção de modelos através da conexão dos elementos básicos no formato de ícones – nível, taxa, conversor e conectores.

Ao executar-se o Ambiente STELLA é apresentado ao usuário a tela no Nível Construção de Modelos, conforme Figura 1.



**Figura 1** : Tela do Nível Construção do Modelo no Modo Mapa.

Neste nível os ícones do Bloco de Construção do Modelo representam os ícones básicos e são descritos a seguir:

-  **NÍVEL** - Representa uma variável que pode ser alterada ao longo do tempo por uma variável do tipo taxa. Este variável reflete o estado de um sistema.
-  **TAXA** - Representa uma variável que promoverá a mudança da variável tipo nível ao longo do tempo. Pode ser unidirecional ou bidirecional.
-  **CONVERSOR** - Representar uma constante ou uma função, sendo nos dois casos para converter valores. Eles não acumulam Taxas e portanto, não possuem “memória” do sistema..
-  **CONECTOR** - Serve para transportar a informação de uma variável para a outra. Quando usamos um conector para ligar duas variáveis, estamos impondo uma relação entre elas.

### 2.3 Estratégia para a Construção de Modelo

O Processo de elaboração de um modelo e sua representação em um Ambiente de Modelagem é denominado **Processo de Construção do Modelo**. Através deste procedimento de modelagem baseado em atividades de modelagem expressivas com ênfase no entendimento de elos de retroalimentação e de sua representação estrutural no ambiente STELLA, foi investigado a utilização da modelagem computacional quantitativa com estudantes de nível médio.

Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado um procedimento de modelagem baseado nos passos de construção de modelos proposto por Camiletti (2001) que abordam os seguintes aspectos:

- A definição do *sistema* a ser estudado;
- Escolha do *fenômeno de interesse* a ser estudado no sistema escolhido;
- Listagem das *variáveis importantes* para a construção do modelo;
- Tradução das *variáveis* listadas para as variáveis dos Diagramas de Fluxo;
- Construção do modelo através dos Diagramas de Fluxos;
- Representação do Diagrama de Fluxo no Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA e simulação.

## 3. CONCEPÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo investiga a utilização desse ferramental com estudantes em nível médio através de um procedimento de modelagem baseado em atividades de modelagem expressivas com ênfase no entendimento de elos de retroalimentação e de sua representação estrutural no ambiente STELLA.

Neste contexto, o presente estudo foi estruturado para investigar as seguintes questões básicas de pesquisa:

1. *Como são as representações das estruturas causais básicas na construção dos Diagramas de Fluxo?*
2. *Como se dá o processo de representação do Diagrama de Fluxo do modelo de resfriamento da água no Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA?*

### 3.1 O Contexto

Para o desenvolvimento desta investigação foi elaborado um curso de curta duração, oferecido a estudantes do segundo ano do ensino médio. O curso teve uma carga horária de 4 horas e foi organizado em 2 módulos conforme é descrito a seguir:

- **Módulo 1 (1 hora)** - *Traçando o gráfico de Resfriamento da Água.*
- **Módulo 2: Atividade Expressiva (3 horas)** - *Modelando e Representando Sistemas com o Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA.*

O objetivo do **Módulo 1** foi traçar o gráfico da temperatura da água em função do tempo durante o processo de Resfriamento da Água.

O **Módulo 2** teve o objetivo de introduzir os estudantes no em nível de Sistemas (Forrester, 1968) e desenvolvimento de atividade de modelagem expressiva sobre o resfriamento da água com o Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA. Antes de

desenvolver essas atividades os alunos desenvolveram outras três atividades que envolviam um conjunto de situações-problema relativo a uma interação populacional envolvendo um nível de complexidade reduzido, pois a interação populacional representa um fenômeno clássico de estudo para a compreensão das variáveis do ambiente STELLA e da modelagem com elos de retroalimentação.

Dessa forma, seguindo os passos de construção de modelos apresentados na seção 2.3, os alunos poderiam identificar as diferenças e características dos três tipos de modelos gerados por essas estruturas básicas e sua representação no ambiente STELLA.

### 3.2 O Problema a Ser Estudado

A atividade de modelagem expressiva desenvolvida no ambiente STELLA sobre o resfriamento da água, seguindo os passos para construção apresentados na seção 2.3. A seguir será apresentado de forma breve o processo de construção de modelo para esta atividade envolvendo o resfriamento da água, cujo gráfico foi traçado no **Módulo 1**.

*No processo de resfriamento, a água que está a uma temperatura superior a do ambiente, perde parte de sua energia interna para o ambiente. Esta energia transferida é denominada calor, que representa a energia em trânsito, isto é, a energia que está sendo transferida de um corpo para outro enquanto houver uma diferença de temperatura.*

#### **Quadro 1:** *Processo de Construção de Modelos para o Resfriamento da Água*



### 3.3 A Amostragem

Participaram do curso estudantes do segundo ano do ensino médio do Centro Federal de Educação Espírito Santo (CEFET-ES), provenientes de 4 turmas distintas. Dessa forma, a amostra foi constituída de 12 estudantes de ambos os sexos que foram agrupados em 6 duplas (Camiletti & Ferracioli, 2001).

### 3.4 Coleta de Dados

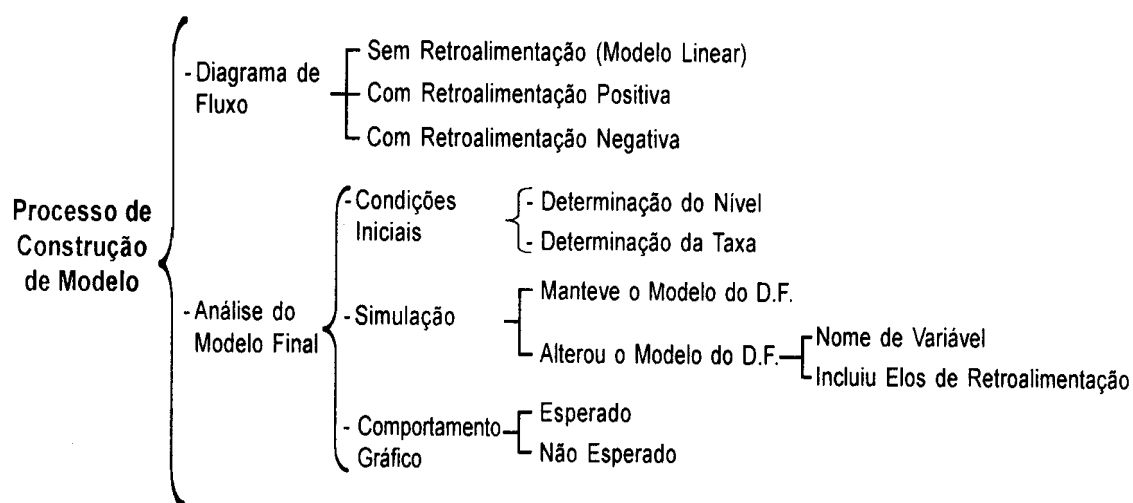
As atividades desenvolvidas durante a realização de cada Módulo foram vídeo-filmadas e o material instrucional disponibilizado ao aluno para a realização das atividades de modelagem expressiva foi recolhido. Este material incluía espaço para o aluno registrar suas anotações ao longo das atividades de modelagem. Dessa forma, estes dois tipos de registros, filmagem das atividades e material escrito pelos alunos, foram as fontes dos dados para o processo de análise.

## 4 ANÁLISE DE DADOS

Os dados são de natureza qualitativa e o instrumento utilizado para a análise dos dados foi a Rede Sistêmica (Bliss et al., 1983), devido á possibilidade de estruturação de categorias de uma forma mais abrangente e complexa. De acordo com Ogborn (1994) uma rede sistêmica pode ser vista como uma gramática, independentemente do contexto que define uma “linguagem” construída para descrever os dados. Os elementos básicos de uma rede sistêmica são:

- **Colchete** - usado para representar qualquer conjunto de escolhas exclusivas;
- **Chave** - usada para representar um conjunto de escolhas que ocorrem simultaneamente;

Os aspectos analisados foram o *Processo de Construção de Modelos*, descrito no 2.3, onde são abordados os aspectos que descrevem a sequência de passos que conduziram os estudantes no processo de desenvolvimento das atividades de modelagem expressiva. A rede sistêmica construída para a análise deste processo está mostrada na Fig. 2 e consiste de dois aspectos: *Diagrama de Fluxo* e *Análise do Modelo*. Esses dois aspectos estão representados na primeira chave. Dessa forma, a análise do Processo de Construção de Modelo de acordo o aspecto do *Diagrama de Fluxo*, descreve a estrutura do modelo construído em relação aos elos de retroalimentação, e a *Análise do Modelo*, descreve a representação do modelo construído no ambiente de modelagem computacional quantitativo STELLA.



**Figura 2:** Rede Sistêmica para a análise dos dados.

Esses dois aspectos estão relatados para as questões de pesquisa e eles consistem nas categorias que podem ser vistas no lado esquerdo da Figura 3, e no lado direito, um quadro-resumo é mostrado no formato de tabela, onde uma leitura de cada coluna provê uma visão do comportamento de cada dupla em relação ao aspecto de *Diagrama de Fluxo* e *Análise do Modelo*, enquanto a leitura de cada linha provê a visão de todos os pares em relação a um aspecto especificado.

		Duplas							
		01	02	03	04	05	06	Total	
- Diagrama de Fluxo	Sem Retroalimentação (Modelo Linear)		X			X		02	
	Com Retroalimentação Positiva							-	
	Com Retroalimentação Negativa	X		X	X		X	04	
- Análise do Modelo Final	- Condições Iniciais	- Determinação do Nível	X	X	X	X	X	X	06
		- Determinação da Taxa	X		X	X	X	X	05
	- Simulação	Manteve o Modelo do D.F.	X	X	X			X	04
		Alterou o Modelo do D.F.				X	X		02
	- Comportamento Gráfico	Nome Variável Elos de Retro.					X		01
			Esperado						
	Não Esperado	X		X	X	X	X	05	

**Figura 3:** Resumo da Rede Sistêmica - Aspecto Diagramas de Fluxo e Análise de Modelo.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A conclusão sobre o Processo de Construção de Modelo será feita respondendo as questões básicas de pesquisa deste trabalho, descritas na seção 2. A resposta a cada questão é baseada no quadro-resumo mostrados na Fig. 3.

### 1. Como são as representações das estruturas causais básicas na construção dos Diagramas de Fluxo?

Na análise dos Diagramas de Fluxo foi observado as representações das estruturas causais básicas do ponto de vista da Dinâmica de Sistemas, ou seja, estrutura causal sem elo de retroalimentação, estrutura causal com elo de retroalimentação positivo e estrutura causal com elo de retroalimentação negativo. Na figura 3 é apresentado o resumo deste aspecto da rede para o processo do resfriamento da água, observa-se que a estrutura causal básica predominante é estrutura gerando uma retroalimentação negativa. Assim as duplas 01, 03, 04 e 06 representaram no papel a estrutura esperada para o fenômeno estudado. As duplas 02 e 05 representaram uma estrutura de modelo linear com a variável tipo taxa saindo da variável tipo nível. Este resultado apresentado indica que as duplas entenderam que para a variável tipo nível “*Temperatura da água*” diminuir ao longo do tempo, da mesma maneira que no experimento, deve haver uma variável tipo taxa saindo deste nível. Essa estrutura do Diagrama da fluxo com uma taxa saindo do nível está de acordo com a metáfora torneira/tanque. Este resultado parece indicar que, apesar de não ter havido uma compreensão exata da relação entre as variáveis, os estudantes foram capazes de analisar estas interações a partir da representação icônica no ambiente STELLA (Ogborn, 1992).

## 2. Como se dá o processo de representação do Diagrama de Fluxo no Ambiente de Modelagem Computacional STELLA?

Esta questão é respondida através do aspecto *Análise do Modelo Final* da rede sistêmica e a Figura 3 apresenta um resumo para as quatro atividades. A análise desta figura revela alguns resultados importantes que podem ser discutidos no que diz respeito à *forma* do modelo construído.

### 5.1 Forma do Modelo de Resfriamento da Água

Em relação ao modelo previsto para o resfriamento da água, a *estrutura* deve conter um elo de retroalimentação negativo para que se possa gerar o comportamento gráfico observado no laboratório. Assim, conforme mostra o Quadro 2, cinco das seis duplas construíram esse tipo de estrutura, sendo que a dupla 05, durante este processo, alterou o seu Diagrama de Fluxo com inclusão de um elo de retroalimentação. A dupla 02 foi a única que não inclui um elo de retroalimentação negativo no modelo inicialmente construído nesta atividade de modelagem.

Em relação ao *comportamento gráfico* apresentado pelos modelos construídos sobre o resfriamento da água, a análise do comportamento gráfico permitiu que os estudantes comparassem o gráfico obtido, ao simularem o modelo, com o gráfico construído ao realizar o experimento do resfriamento da água no laboratório. Essa comparação seria um indicativo para que a dupla avaliasse o modelo construído. Excetuando a dupla 02, as demais solicitaram e obtiveram uma saída gráfica para o modelo construído. A dupla 02 não efetuou essa comparação, por não ter conseguido definir o valor da variável tipo taxa e, dessa forma, poder simular o modelo.

Embora cinco duplas tenham construído um modelo com a estrutura de retroalimentação negativa prevista para o modelo de resfriamento da água, as saídas gráficas obtidas para todas as duplas não foi a esperada: embora o comportamento gráfico obtido representasse a estrutura de um elo de retroalimentação negativo, a temperatura de estabilização ocorria em torno de 0°C e não em torno da temperatura ambiente. Embora os alunos não tenham conseguido concluir qual o problema com o modelo construído, através da utilização da saída gráfica eles puderam constatar a existência dessa diferença.

### 5.2 Conteúdo do Modelo de Resfriamento da Água

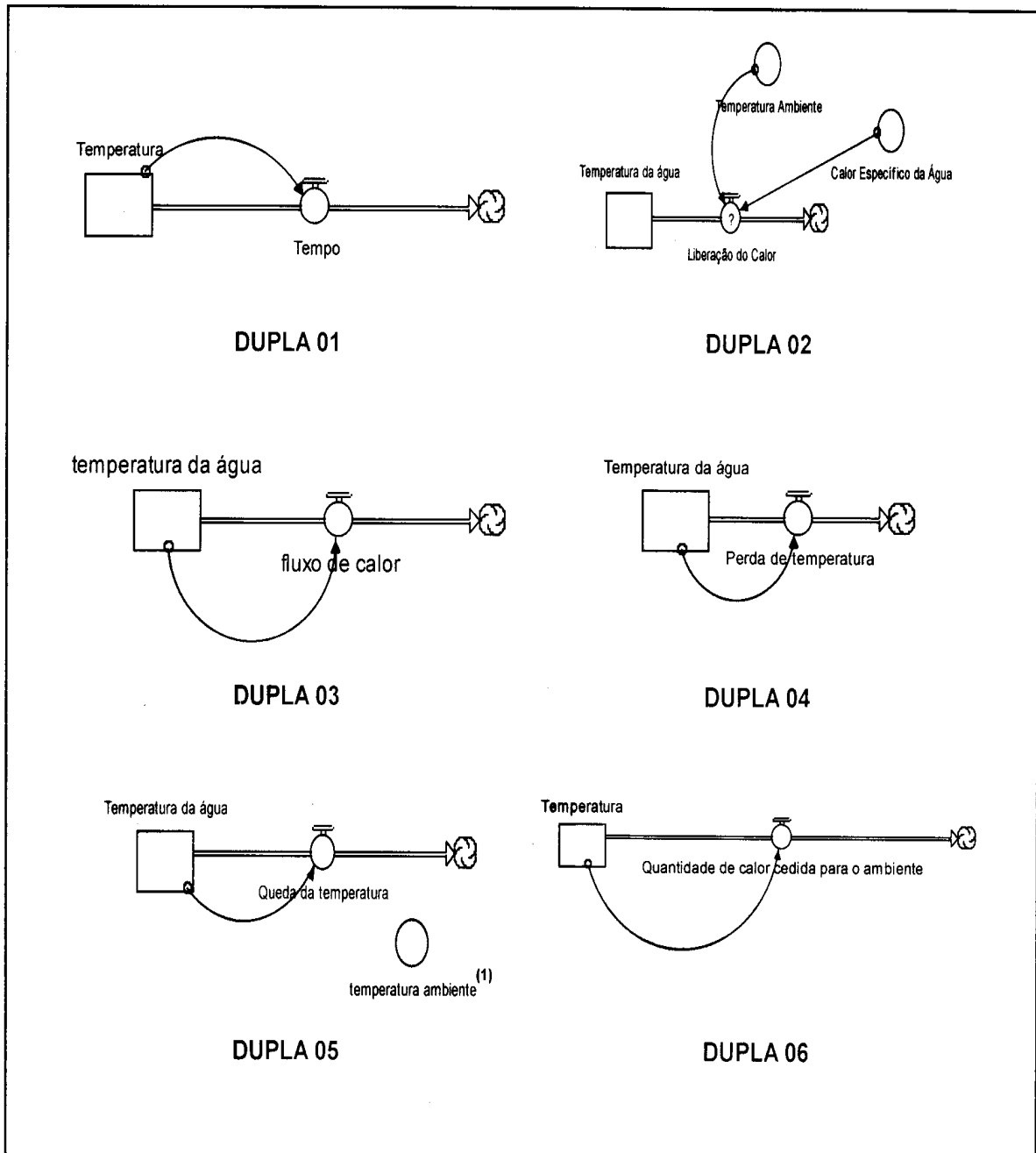
Em relação ao *conteúdo* deve-se observar a maneira como as grandezas físicas do sistema foram consideradas e relacionadas. Analisando o quadro 2 que apresenta os modelos finais do resfriamento da água representado no ambiente STELLA, observa-se que eles podem ser agrupados em três categorias relacionadas aos tipos de definições estabelecidas para as variáveis tipo nível e taxa e a conceituação física destas variáveis.

#### **Categoria 1 - Temperatura e Calor**

Esta categoria, na qual são enquadradas as duplas 02, 03 e 06, reflete uma conceituação adequada a respeito da variável tipo taxa, que é associada ao conceito de calor. Essa definição estabelecida pelas duplas parece ser um indicativo de que as duplas compreenderam que durante o processo de resfriamento da água ocorre uma transfência de calor para o ambiente, podendo esta transferência ser denominada de “*Liberção de calor*”, “*Fluxo de Calor*” ou “*Quantidade de calor cedido para o meio ambiente*”, conforme definido pelas duplas. No entanto, em relação à variável tipo nível definida como “*Temperatura da água*” ou simplesmente “*Temperatura*”, observa-se uma concepção alternativa o conhecimento científico deste fenômeno pois, neste

processo físico é a variável tipo taxa associada ao calor, entendido como energia em trânsito, que altera diretamente a *Energia Interna* da água: esta deveria ser a grandeza física considerada relevante e traduzida como variável tipo nível conforme abordado no item 3.3.2. Entretanto, não é de todo equivocado o pensamento dos estudantes, pois como a *Energia Interna* está diretamente relacionada a grandeza física *Temperatura*, a diminuição em uma causará uma diminuição da outra. Assim, parece que apesar das dificuldades conceituais apresentadas pelos estudantes, estes foram capazes de construir uma estrutura adequada, sob o ponto de vista da Dinâmica de Sistemas, que representasse o fenômeno estudado.

**Quadro 2:** Modelo Final Construído na Atividade de Resfriamento da Água por cada Dupla



Outro aspecto a ser considerado nestes modelos é a retroalimentação entre a *Temperatura da água* e a *Perda de calor* da água para o ambiente, que faz com que uma grandeza afete a outra, ou seja, se a *Temperatura da água* diminui a taxa de *Perda de calor* também irá diminuir. Esta afirmativa apresenta o resultado final, porém, percebe-se que as duplas foram capazes de construir uma estrutura que incluisse este aspecto o qual é representado pela intermediação da *diferença de temperatura* entre a temperatura da água e a temperatura ambiente. Significa que na medida que diminui a temperatura da água, diminui a diferença de temperatura entre a água e o ambiente e, por sua vez, diminui a perda de calor. Dessa forma, quando a temperatura da água atinge a temperatura ambiente, acaba a diferença de temperatura e cessa a perda de calor. Da maneira como os modelos foram representando a perda de calor só termina quando a temperatura da água se atinge o valor zero. Embora as duplas 02 e 05 tenham indicado esta variável “*Temperatura ambiente*” no modelo, observa-se que não foram capazes de utilizá-la no processo de representação do fenômeno do resfriamento da água.

### **Categoria 2 - Temperatura e Temperatura**

Nesta segunda categoria observa-se as duplas 04 e 05 definindo a variável tipo taxa relacionada ao conceito de “*Perda de temperatura*” e “*Queda de temperatura*”, respectivamente. Analisando esses dois modelos parece que a dupla tem um entendimento da temperatura como que dependeria da quantidade de água.

Na estrutura deste modelo temos a variável tipo nível definida como “*Temperatura da água*” e uma variável tipo taxa saindo deste nível, relacionada da uma diminuição de temperatura. Esse tipo de construção está indicando a água com um nível de temperatura e durante o processo de resfriamento a taxa de perda ou queda de temperatura faz com que esse nível de temperatura diminua. No entanto, ainda que esteja de acordo com o uso da metáfora tanque/torneira utilizada para a construção do Diagramas de Fluxo, essa concepção não reflete a conceituação científica sobre este fenômeno do resfriamento da água, uma vez que a temperatura não pode fisicamente fluir. O que flui de um corpo mais quente para outro mais frio é calor (Chung, 1993).

### **Categoria 3 - Temperatura e Tempo**

Do ponto de vista dos conceitos físicos envolvidos no resfriamento da água este caso observado pela dupla 03 é o que apresenta uma concepção alternativa mais divergente do conhecimento físico sobre este fenômeno. Nesse modelo a variável “*Tempo*” é representada como variável tipo taxa que irá provocar alterações na variável “*Temperatura*” definida como variável tipo taxa. Na concepção desta dupla, conforme exposto pelo aluno C1: “*é o decorrer do tempo que fez com que a água resfriasse*”, ou seja, como a temperatura da água diminui no decorrer do tempo, eles interpretaram que é o tempo o agente causal desta variação. Concluindo, além desta análise relacionada ao conceito de temperatura esta dupla não considerou os conceitos de calor ou energia interna na construção deste modelo.

## **6. CONCLUSÃO**

Esta pesquisa apontou que os alunos de ensino médio foram capazes de desenvolver modelos no Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo STELLA sobre o resfriamento da água. A partir da análise dos resultados novas questões de pesquisas podem ser formuladas para o desenvolvimento de novos estudos.

Em relação ao desenvolvimento de integração da modelagem computacional dinâmica em nível de ensino médio, os resultados aqui relatados parecem fornecer subsídios significativos

para o desenvolvimento de novos estudos, para que este não seja apenas um evento isolado, mas tenha continuidade no contexto em que está inserida.

Em relação ao experimento de resfriamento da água, um aspecto que pode ser investigado são as concepções do estudante sobre como e por quê ocorre o resfriamento. Outro aspecto relevante é a estruturação de atividades que incluam a observação e questionamento dos alunos sobre as concepções do senso comum ao longo do processo de construção de modelos para poder abrir a possibilidade de um entendimento a respeito delas. Por fim, um outro aspecto a ser explorado é a solicitação de um esboço da previsão do comportamento gráfico da variação da temperatura, que deve ser solicitado antes da realização do experimento visando levar o estudante a uma reflexão sobre o que está acontecendo no experimento. Após a realização do experimento, as duplas podem comparar o experimento com o esboço e formular conclusões.

Finalmente, apesar do foco desse estudo não ter sido a aprendizagem de conceitos físicos, é importante ressaltar que a modelagem computacional e, em particular, a modelagem computacional quantitativa pode ser integrada aos processos de ensino e aprendizagem através da abordagem de conteúdos curriculares específicos relacionados a tópicos de Física. Para isso, é necessária uma detalhada estruturação de atividades exploratórias e expressivas e, que, neste caso, a partir do estudo do resfriamento de um líquido poder-se-ia abordar os conceitos de temperatura, calor e energia interna.

## REFERÊNCIAS

- 1 BLISS, J. et al. (1983). **Qualitative data analysis for educational research: a guide of systemic networks**. 1ª. ed., London: Croom Helm. 215 p.
- 2 BLISS J. & OGBORN J (1989). **Tools for exploratory learning**. A Research Programme. *Journal of Computer Assisted Learning*, 5:37-50.
- 3 CAMILETTI, G. (2001) **Modelagem computacional semiquantitativa no estudo de tópicos de ciências: um estudo exploratório com estudantes universitários**. Vitória, ES, Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa em Ensino de Física.
- 4 CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. (2001) **A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física**. Cadernos Catarinenses do Ensino de Física, v.18, n 2.
- 5 CHUNG, C. & POWERS, A. (1993) **A cooling cup of coffee: an introduction to constant outflow and negative feedback**. [Disponível no Creative Learning Exchange Web site: [www.clexchange.org](http://www.clexchange.org)]
- 6 FERRACIOLI, L. (1997) **As novas tecnologias nos centros de ciências, nos centros de formação profissional e na formação de professores**. In: Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 27-31/Janeiro/1997. p. 127-33.
- 7 FERRACIOLI, L. (2000) **A integração de ambientes computacionais ao aprendizado exploratório em ciências**. Projeto de Pesquisa apresentado ao CNPq, Processo Nº 46.8522/00-0.
- 8 FERRACIOLI, L. (2003). **Perspectivas e resultados da aprendizagem exploratória em ciências através da educação à distância**. Anais do IV Seminário sobre Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem. Vitória, ES, 30/10-01/11/2002. [www.modelab.ufes.br/ivseminário](http://www.modelab.ufes.br/ivseminário)

- 9 FERRACIOLI, L. & CAMILETTI, G.G. (1998) **Introdução ao ambiente de modelagem computacional STELLA**. Série Modelos, 01/98, Vitória. Publicação Interna do Model@b/UFES.
- 10 FORRESTER, J. W. (1968) **Principles of systems**. Cambridge, MA: Wright-Allen Press.
- 11 GOMES, G. (2003) **A modelagem computacional qualitativa no estudo de tópicos de ciências: um estudo exploratório com estudantes universitários**. Vitória, ES, Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa em Ensino de Física.
- 12 OLIVEIRA, F. (2004) **A construção de modelos baseada na utilização de diagramas causais no estudo de tópicos de ciências: um estudo exploratório com estudantes do ensino médio**. Vitória, ES, Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa em Ensino de Física.
- 13 OGBORN, J. (1992) **Modelling with the computer at all ages**. Publicação Interna do Institute of Education University of London.
- 14 RICHMOND, B. et. al. (1987) **An academic user's guide to STELLA**. High Performance System, Inc. Lyme.
- 15 SANTOS, A. C. K. (1992) **Computational modelling in science education: a study of students' ability to manage some different approaches to modelling**. Institute of Education University of London. Unpublished PhD thesis. 359p.
- 16 SAMPAIO, F. F. (1996) **LinkIt: design, development and testing of a semi-quantitative computer modelling tool**. Ph.D. Thesis, Department of Science and Technology, Institute of Education, University of London.
- 17 SAMPAIO, F. F. & TORRES, A. S. (1999). **Trabalhando o conhecimento qualitativo de taxa de variação num ambiente de modelagem dinâmica computacional**. III COINFE – Congresso Estadual de Informática na Educação. Instituto de Educação. Rio de Janeiro.