

A MODELAGEM COMPUTACIONAL QUANTITATIVA NO ESTUDO DA INTERAÇÃO PREDADOR – PRESA: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO COM ESTUDANTES DE NÍVEL SUPERIOR

THE QUANTITATIVE COMPUTER MODELING IN THE STUDY ABOUT PREDATOR-PREY INTERACTIONS: AN EXPLORATORY STUDY WITH COLLEGE STUDENTS

Fernanda Provedel Zambom¹
Elias Gonçalves²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, fernandapz@gmail.com

²Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo/ Coordenadoria de Física, eliasgoncalves@gmail.com

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 superior, durante a utilização do ambiente de modelagem computacional quantitativo baseado na metáfora de ícones VENSIM em uma atividade sobre uma população de cervos que ocupou o Plato Kaibab, no nordeste do Arizona, Estados Unidos. Os dados são de natureza qualitativa e para a sua análise foi utilizada a técnica da Rede Sistemica. Os resultados sugerem que os estudantes foram capazes de desenvolver o modelo proposto para este sistema ambiental, apresentando dificuldades e habilidades no desenvolvimento do processo de construção de modelos.

Palavras-chave: Modelagem Computacional Quantitativa, Interação Predador-Presa.

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 college students, during the use of the quantitative computer modelling environment based on the Iconic Metaphor VENSIM for developing in the activity about deer population that occupied the Kaibab Plateau in northern Arizona, United States of America. 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 for this environment system and evidencing both abilities and difficulties throughout the model construction process.

Keywords: Quantitative Computer modelling, Predator-prey interactions

1. A MODELAGEM COMPUTACIONAL E A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

Um modelo é um substituto para um sistema real. Modelos são usados quando se é mais fácil trabalhar com um substituto do que com o sistema atual e são úteis quando nos ajudam a aprender alguma coisa nova sobre o sistema que eles representam.

A modelagem, processo de construção de modelos, é utilizada em, praticamente, todas as áreas de conhecimento e no contexto educacional sua utilização pode ser uma alternativa para atividades em sala de aula (Gomes, 2003). Assim, no contexto educacional a modelagem pode ser utilizada de diversas maneiras, as quais podem variar desde o uso de papel e lápis até a utilização de tecnologias interativas como o computador. Atualmente, apesar de encontrarmos muitas escolas e universidades que contam com modernos laboratórios de informática, possuindo um bom número de computadores, infelizmente estes são muitas vezes utilizados apenas como ferramentas de digitação, entretenimento ou mera estratégia de ensino para tornar a aula mais atraente. No dia a dia das escolas, pouco proveito se tem tirado e poucas propostas existem no uso efetivo dessa tecnologia nos processos de ensino e aprendizagem (Gonçalves & Ferracioli, 2003). Devido a isto, no mundo de hoje, é de suma importância pesquisar e investigar como explorar o potencial da tecnologia de informação e comunicação no ambiente escolar.

No ensino de Ciências isso pode ser feito levando o aluno a construir um modelo sobre um sistema em estudo e em seguida representá-lo no computador através de um Ambiente de Modelagem adequado. Uma vez representado o modelo no Ambiente de Modelagem Computacional este seria simulado gerando a possibilidade de ampliação do estudo do problema analisado. O processo de representação e simulação de um modelo no computador é denominado de modelagem computacional.

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 de aula.

Neste contexto, o estudo aqui relatado investigou a utilização da modelagem computacional quantitativa com estudantes de ensino superior na perspectiva da aprendizagem exploratória de um sistema ambiental. Esse sistema ambiental ilustra de forma bem concreta a natureza interativa do processo de modelagem.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A modelagem computacional é, particularmente, poderosa quando explora a possibilidade de simulação do sistema modelado e exibição do comportamento através de gráficos e tabelas. Os modelos e ferramentas de modelagem que os estudantes trabalham são tipicamente muito mais simples que aqueles usados pelos cientistas, mas as características fundamentais da atividade de modelagem são as mesmas.

A modelagem computacional permite 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 em que um modelo é 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 VENSIM

O Ambiente de Modelagem Computacional utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi o VENSIM (Ventana Systems, 1995), que é um software de simulação com um ambiente próprio onde você pode estudar o comportamento de modelos já construídos ou construir seus próprios diagramas causais, diagramas de fluxo e simulações de modelos. É uma ferramenta visual de modelagem que permite conceituar, documentar, simular, analisar e aperfeiçoar modelos de sistemas dinâmicos. Além disso, fornece um modo simples de construir modelos de simulação a partir de diagramas causais ou diagramas de fluxo, portanto o usuário não necessita trabalhar com equações matemáticas, sendo necessário fornecer somente as relações causais entre as variáveis consideradas relevantes para que o sistema converta essas relações em linhas de programa.

A conexão de variáveis através de setas estabelece as relações entre as variáveis do sistema, que são reconhecidas como conexões de causa-efeito. Essa informação é usada pelo Editor de Equações para formar uma simulação completa do modelo. Pode-se, então, analisar o modelo através do seu processo de construção, observando as causas (variáveis que modificam a variável de interesse) e os usos (variáveis que são modificadas pela variável de interesse) de uma variável, e também os loops envolvendo essa variável.

O VENSIM utiliza uma interface que pode ser vista como uma área de trabalho e um conjunto de ferramentas, conforme a figura 1. A janela principal é a área de trabalho que inclui a *Barra de Título*, o *Menu*, a *Barra de Ferramentas Principal* e as *Ferramentas de Análise*. O conjunto de ferramentas divide-se em *Ferramentas de Construção* e *Barra de Status*, essas ferramentas só aparecem quando um modelo estiver aberto.

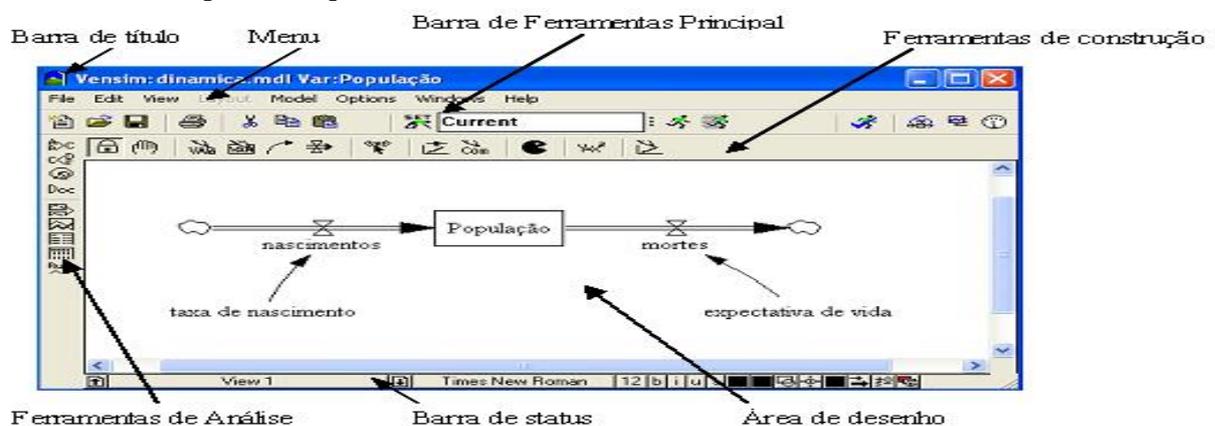


Figura 1: Ambiente Vensim

Na figura 2 temos os ícones da Barra de Ferramentas de Construção, cuja as funções são descritas a seguir:

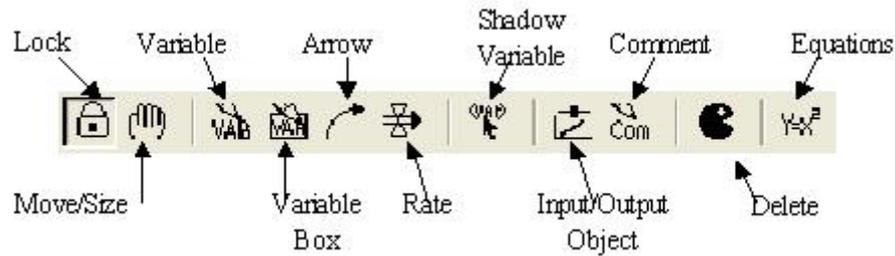


Figura 2: Ícones da Barra de Ferramentas de Construção

- **Lock:** o cursor pode selecionar elementos do modelo, mas não pode movê-los.
- **Move/Size:** move, altera tamanho, seleciona elementos.
- **Variable:** cria variáveis do tipo Constante, Auxiliar, Lookups e Data. Lookups são variáveis especiais que utilizam funções, esse tipo de variável não será tratado nessa apostila.
- **Variable Box:** cria variáveis do tipo Nível ou Estoque.
- **Arrow:** cria Setas de conexão retas ou curvas.
- **Rate:** cria variáveis do tipo Taxa ou Fluxo que são representadas por setas perpendiculares com válvulas e, se necessário, nuvens.
- **Shadow Variable:** adiciona na área de trabalho uma variável já existente no modelo (sem adicionar suas causas).
- **Input/Output Object:** adiciona sliders, gráficos e tabelas para o modelo.
- **Comment:** adiciona comentários e figuras.
- **Delete:** apaga estruturas, variáveis e comentários em um modelo.
- **Equation:** cria e edita as equações do modelo usando o Editor de Equações.

A configuração utilizada neste trabalho foi o Vensim Personal Learning Edition (PLE). O VENSIM PLE é similar às outras configurações do VENSIM, entretanto alguns recursos e opções não estão disponíveis. Essa versão é livre para uso educacional e pessoal. Um entendimento mais amplo do funcionamento do software é encontrado na oitava publicação da Série Modelos, uma coletânea de textos sobre a modelagem enquanto proposta para os modelos de ensino e aprendizagem, preparado pelo Modelab – Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva – no texto **Introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional VENSIM**.

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 VENSIM, 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 VENSIM e simulação.

3. CONCEPÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo investiga a utilização desse ferramental com estudantes em nível superior 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 VENSIM.

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 Predador-Presa no Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo VENSIM?*

4. O CONTEXTO

Para o desenvolvimento desta investigação foi elaborado um módulo instrucional que consistiu de uma apresentação através de slides sobre o sistema ambiental focalizado: a interação Predador-Presa no Platô de Kaibab. A seguir, os estudantes foram convidados a desenvolver uma atividade expressiva sobre este sistema ambiental seguindo o processo de construção de modelos apresentado na seção 2.3.

A atividade de investigação sobre o módulo educacional Sistema Predador Presa no Platô de Kaibab foi efetuada em aulas teóricas e experimentais, totalizando uma carga horária de 7 horas. O conteúdo da atividade foi distribuído em duas etapas de estudo de acordo com a programação abaixo:

- **Primeira Etapa (5 horas):** Introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional VENSIM: Modelagem e Representação do Conhecimento;
- **Segunda Etapa (2 horas):** Apresentação do Módulo Educacional e desenvolvimento de atividades exploratórias através do material instrucional.

4.1 O PROBLEMA A SER ESTUDADO

O Sistema Predador Presa do Platô de Kaibab foi escolhido pelo fato de ser um exemplo amplamente estudado pelos ecologistas, apresentando um equilíbrio dinâmico e um bom exemplo para simulação de modelos ambientais computacionais.

O Platô de Kaibab é encontrado no norte do rio de Colorado, no Arizona central norte. Esse sistema predador-presa tem se tornado um caso ideal para a Dinâmica de Sistema e uma importante aplicação de como a modelagem computacional quantitativa pode ser usada para construir modelos que descrevem um sistema ambiental, podendo assim, aumentar o nosso entendimento da trajetória natural desses sistemas (Ford, 1999).

No início do século XX, a população de cervos encontrada nessa área era de cerca de 4000 cervos. Em 1906, para proteger os cervos da caça e da predação, proibiu-se a caça dos mesmos e permitiu-se a exterminação de outros animais encontrados no platô, como leões de montanha, coiotes, chacais e lobos. Com isso a população de cervos aumentou significativamente em poucos anos. Em 1924 a população estimada era de cerca de 100.000 cervos. Porém, este crescimento da população trouxe problemas sérios para a própria preservação do rebanho. Muitos cervos começaram a morrer de fome e a ruína do rebanho dos cervos tornou-se estabelecida. Com isso, surgiram críticas ao sistema de controle de predadores, que foi o que desencadeou a seqüência de eventos citados.

Portanto, concluiu-se que os predadores têm importante papel no sistema, até mesmo para um equilíbrio dinâmico, que está presente no próprio Sistema Predador-Presa. Inclusive, ecologistas e biólogos continuam a debater a dinâmica de populações de predadores e presas na prática real. Este trabalho de pesquisa pretendeu então, dar continuidade a investigação da utilização da modelagem computacional quantitativa no contexto do ensino médio e ensino superior, mostrando que é viável através de modelos computacionais prever dados futuros.

Através da modelagem computacional buscou-se, a partir da articulação de modelos simples, desenvolver um modelo representativo deste sistema, seguindo os passos para construção apresentados na seção 2.3.

Quadro 1: Processo de Construção de Modelos para o Sistema Predador-Presa.

1º Passo – Sistema a ser estudado: Um população de Cervos e população de predadores

2º Passo - Fenômeno de Interesse: Crescimento e Decrescimento da População de Cervos interagindo com um número limitados de predadores.

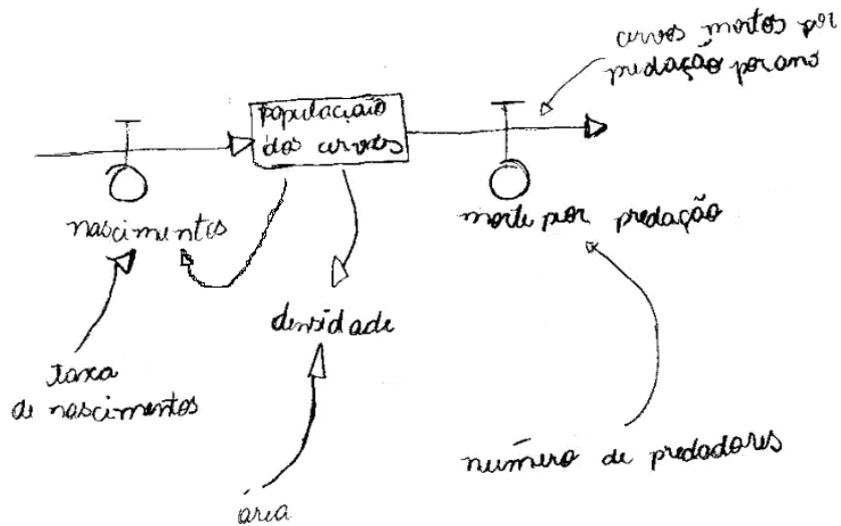
3º Passo - Listagem das Variáveis:

- População de Cervos;
- Nascimento de Cervos;
- Mortes por predação;
- Taxa de nascimento;
- Número de predadores;
- Densidade de cervos;
- Área;
- Cervos mortos por predadores por ano.

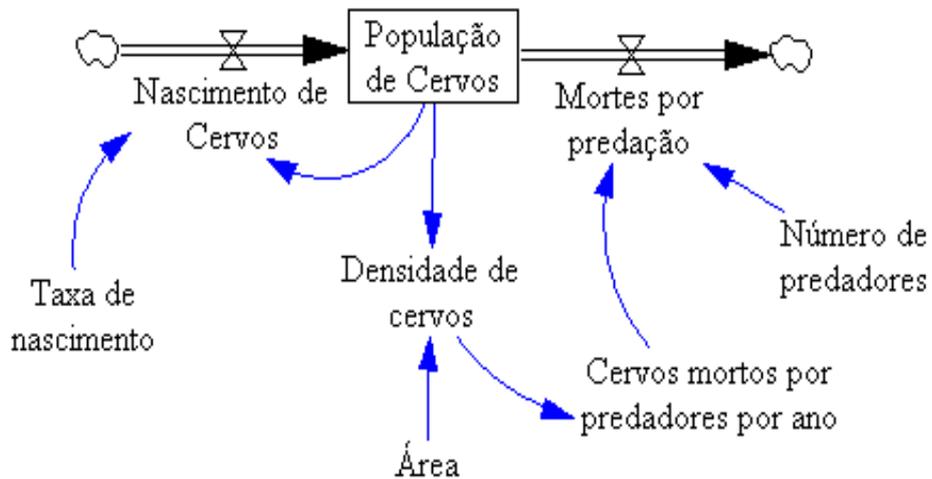
4º Passo - Tradução das variáveis:

- Taxa – Nascimento de cervos e Mortes por predação.
- Auxiliar – Taxa de nascimento, Número de predadores, Densidade de cervos, Área, Cervos mortos por predadores por ano.
- Nível – População dos cervos

5º Passo - Construção do modelo através dos Diagramas de Fluxo:



6º Passo – Representação do Diagrama de Fluxo no Ambiente de Modelagem Quantitativo VENSIM:



4.2 A AMOSTRAGEM

O estudo foi desenvolvido com alunos do 1º período do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (CEFETES). Estes trabalharam em duplas durante o desenvolvimento do curso, visando o favorecimento da discussão sobre o tema em estudo.

4.3 COLETA DE DADOS

O material instrucional fornecido aos estudantes foi confeccionado, de acordo com o Processo de Construção de Modelos, através de questões abertas onde os alunos, no decorrer da atividade exploratória e expressiva, responderam aos tópicos propostos. Ao término de cada etapa o material foi recolhido como fonte de dados para a pesquisa.

5. ANÁLISE DE DADOS

Os dados são de natureza qualitativa e o instrumento utilizado para a análise dos dados foi a Rede Sistemática (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 sistemática pode ser vista como uma gramática, independentemente do contexto que define uma “linguagem” construída para descrever os dados. Os elementos básicos de uma rede sistemática 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 baseados nos passos de construção de modelos, onde são abordados os aspectos que descrevem a seqüência de passos que conduziram os estudantes no processo de desenvolvimento das atividades de modelagem expressiva. A rede sistemática construída para a análise deste processo está mostrada na Figura 3 e consiste de dois aspectos: *Diagrama de Fluxo* e *Análise do Modelo Final*. 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 Final* descreve a representação do modelo construído no ambiente de modelagem computacional quantitativo VENSIM.

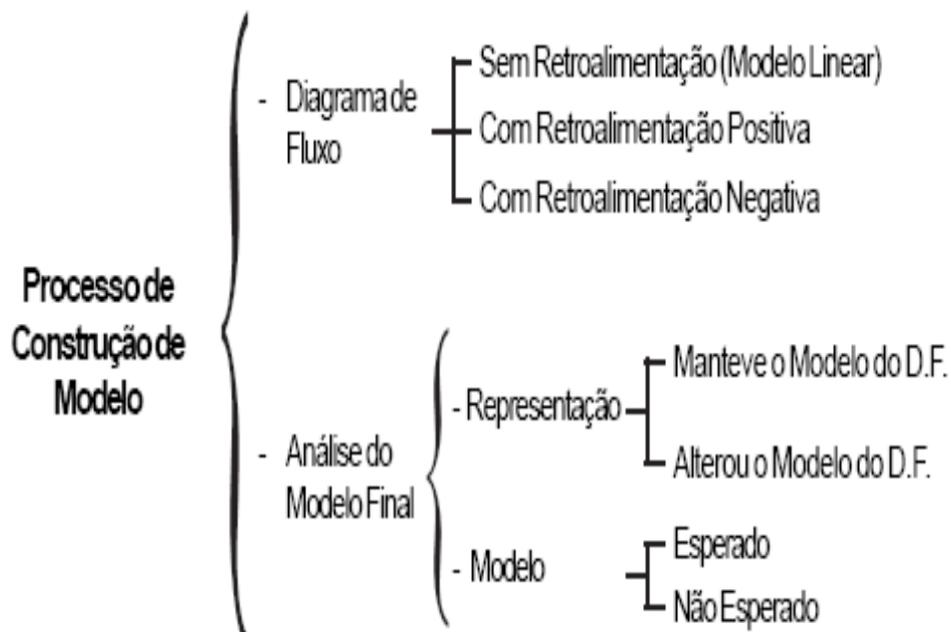


Figura 3: Rede Sistemática para Análise de Dados

6. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A conclusão sobre o Processo de Construção de Modelo será feita respondendo as questões básicas de pesquisa deste trabalho, descritas na seção 2.

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. Na figura 4 é apresentado o resumo deste aspecto da rede para o *Sistema Predador-Presa*, onde observa-se que o modelo apresenta uma retroalimentação positiva, e outra negativa. Assim, podemos concluir através da figura, que as duplas tiveram grande dificuldade em identificar o elo de retroalimentação positivo para este modelo, visto que apenas a dupla 08 relatou tanto a retroalimentação positiva quanto a negativa. Assim as duplas 01, 02, 05, 06 e 07 identificaram somente a retroalimentação negativa presente, mas não identificaram a positiva. As duplas 03 e 04 representaram o modelo sem nenhuma retroalimentação, ou seja, um modelo linear. Este resultado indica a necessidade de uma maior discussão com os alunos para que haja uma melhor compreensão da dinâmica de crescimento populacional presente neste modelo, ou seja, não basta compreender que os nascimentos aumentam uma população qualquer, sem perceber que o aumento desta população irá causar um crescimento na taxa de nascimentos.

		Duplas								
		01	02	03	04	05	06	07	08	Total
Diagrama de Fluxo	Sem Retroalimentação (Modelo Linear)			X	X					02
	Com Retroalimentação Positiva								X	01
	Com Retroalimentação Negativa	X	X			X	X	X	X	06

Figura 4: Resumo da Rede Sistêmica – Aspecto Diagrama de Fluxo

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 5 apresenta um resumo para a atividade do Sistema Predador-Presa dos cervos do Platô de Kaibab. A análise desta figura revela alguns resultados importantes que podem ser discutidos no que diz respeito à *forma* do modelo construído.

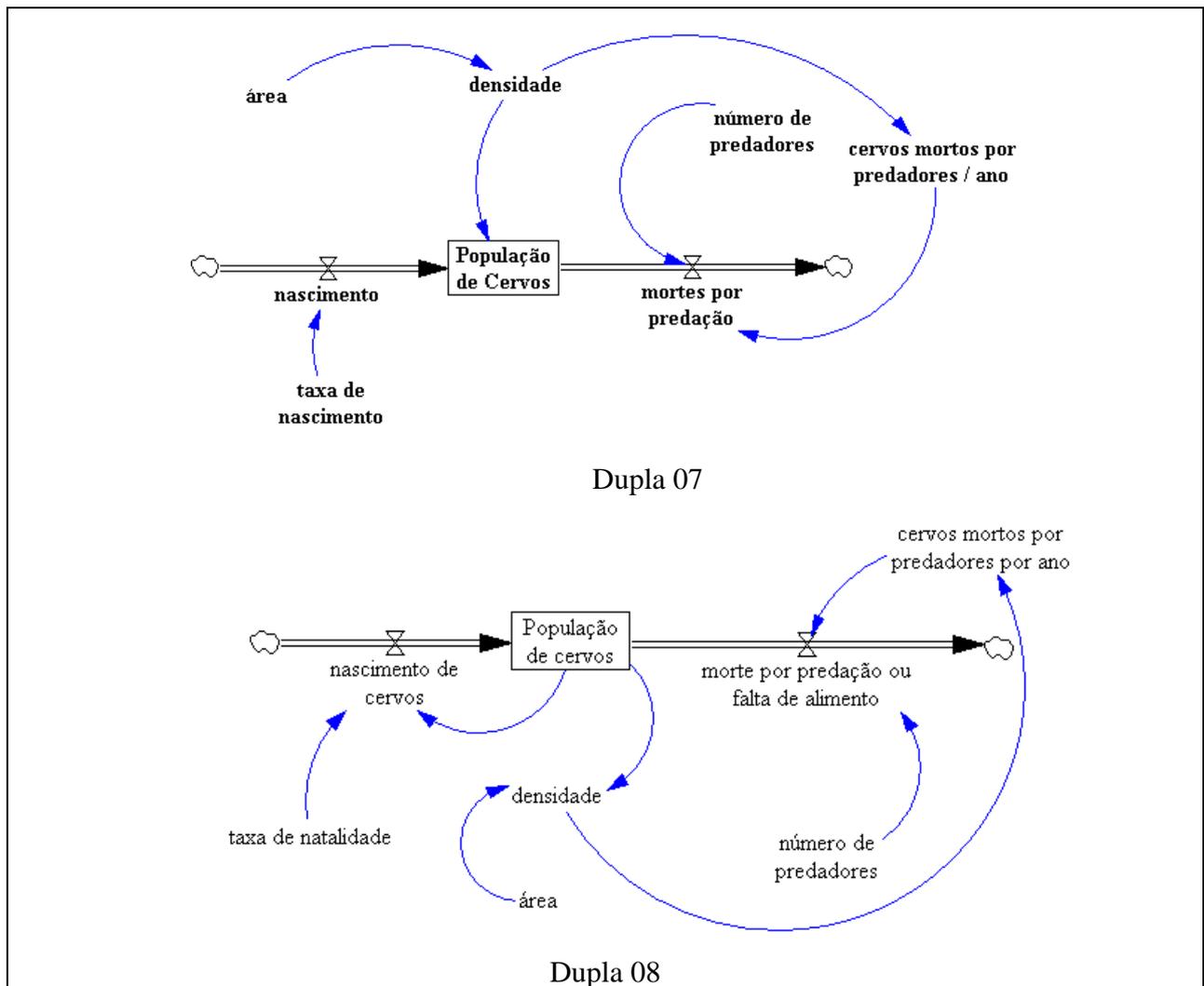
		Duplas								
		01	02	03	04	05	06	07	08	Total
Análise do Modelo Final	Representação								X	01
	Modelo	X	X	X	X	X	X	X		07
									X	01
		X	X	X	X	X	X	X		07

Figura 5: Resumo da Rede Sistêmica – Aspecto Análise do Modelo Final

6.1 FORMA DO MODELO PREDADOR-PRESA

Em relação ao modelo previsto para o dos cervos do Platô de Kaibab, a estrutura deve conter um elo de retroalimentação positivo e outro negativo para que se possa gerar o comportamento gráfico. Assim, conforme mostra o Quadro 2, apenas uma dupla construiu esse tipo de estrutura, que foi a dupla 8, sendo que as outras esqueceram principalmente da retroalimentação positiva entre a *população de cervos* e o *nascimento*, como é o caso da dupla 7.

Quadro 2: Modelo Final do Sistema Predador-Presa construído pelas duplas 07 e 08.



6.2 CONTEÚDO DO MODELO DOS CERVOS DO PLATÔ DE KAIBAB

Em relação ao conteúdo, deve-se observar a maneira como as grandezas do sistema foram consideradas e relacionadas. No quadro 02 representado acima vemos a descrição dos modelos representados por duas duplas, observa-se que ocorreu uma conceituação adequada para estas duplas para a definição da variável tipo nível e para as duas variáveis tipo taxa. Esse padrão foi seguido pelas outras duplas. As discrepâncias maiores ocorreram na definição das variáveis auxiliares.

7. CONCLUSÃO

Esta pesquisa apontou que os alunos do 1º período do curso de Saneamento Ambiental foram capazes de desenvolver modelos no Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo VENSIM sobre os cervos do Platô de Kaibab. A partir da análise dos resultados, novas questões de pesquisas podem ser formuladas para o desenvolvimento de novos estudos. Inclusive, modelos mais complexos podem ser elaborados, tornando os exercícios mais desafiadores e expandindo o modelo proposto para possibilitar um aprendizado sobre a acomodação de interpretações alternativas da Interação Predador-Presa dos cervos de Kaibab.

Em relação ao desenvolvimento de integração da modelagem computacional dinâmica em nível superior, 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, um 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 população, 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, as duplas podem comparar o experimento com o esboço e formular conclusões.

Finalmente, 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 Ecologia. Para isso, é necessária uma detalhada estruturação de atividades exploratórias e expressivas.

REFERÊNCIAS

BLISS, J. et al. (1983). **Qualitative data analysis for educational research: a guide of systemic networks**. 1ª. ed., London: Croom Helm. 215 p.

BLISS J. & OGBORN J (1989). **Tools for exploratory learning**. A Research Programme. *Journal of Computer Assisted Learning*, 5:37-50.

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.

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.

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.

FERRACIOLI, L. (2000) **A integração de ambientes computacionais ao aprendizado exploratório em ciências**. Projeto de Pesquisa apresentado ao CNPq, Processo No 46.8522/000.

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

FERRACIOLI, L. & CAMILETTI, G.G. (1998) **Introdução ao ambiente de modelagem computacional STELLA.** Série Modelos, 01/98, Vitória. Publicação Interna do Model@b/UFES.

FORD, A. (1999) **Modeling the Environment.** Washington, DC: Island Press, 1999.

FORRESTER, J. W. (1968) **Principles of systems.** Cambridge, MA: Wright-Allen Press.

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.

GONÇALVES, L. & FERRACIOLI, L.(2003). **Uma Reflexão sobre a Implementação da Modelagem Computacional do Contexto do Ensino Médio.** 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

GONÇALVES, E. (2004) **Um Estudo da Modelagem Computacional Quantitativa através de Estruturas Causais Básicas: 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.

MODELAB (2005) **Introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional VENSIM.** Vitória, ES. Série Modelos 08-2005. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES.

OGBORN, J. (1992) **Modelling with the computer at all ages.** Publicação Interna do Institute of Education University of London.

VENTANA SYSTEMS (1995) **Vensim User's Guide,** Ver. 1.62. Ventana Systems, Inc., 149 Waverley Street, Belmont, MA 02178. Disponível em: < www.vensim.com >.