

# A Modelagem Computacional, Utilizando o Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para o Pensamento Sistêmico (STELLA), em Tópicos de Educação Ambiental<sup>1</sup>

Flávio Galdino Xavier<sup>2</sup>, Arion de Castro Kurtz dos Santos<sup>3</sup>

<sup>2</sup>Colégio Técnico Industrial – Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Rua Eng. Alfredo Huch, 475 – 96201-900 – Rio Grande – RS – Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Física – Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Campus Carreiros. Av. Itália, km 8 – 96201-900 – Rio Grande – RS – Brasil

flaviox@cti.furg.br, dfsarion@furg.br

**Resumo.** Este artigo apresenta os resultados obtidos através de uma investigação sobre a possibilidade de uso do Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo Baseado na Metáfora de Ícones STELLA na modelagem e simulação de modo exploratório e expressivo de tópicos relacionados à Educação Ambiental, trabalhados com alunos do ensino técnico profissionalizante através de uma introdução ao raciocínio em Nível de Sistema e ao Ambiente STELLA seguido da exploração de modelos básicos de crescimento populacional e atividades expressivas, na qual os estudantes desenvolveram um modelo sobre o sistema poluição. Os resultados sugerem que os alunos foram capazes de explorar modelos básicos de crescimento populacional e de desenvolver um modelo sobre o sistema poluição apresentando uma série de habilidades e dificuldades.

**Palavras-chave:** Modelagem, STELLA, Educação Ambiental

**Abstract.** This article presents the results obtained through an investigation about the possibility of use of the Quantitative Modelling System STELLA based in the Iconic Metaphor in the modelling and simulation in exploratory and expressive modes of Environmental Education related topics, worked with technical students courses through an introduction to the reasoning at the System Level and to the Quantitative Modelling System STELLA followed by the exploration of basic models of populacional growth and expressive activities, in which the students developed a model about the system pollution. The results suggest that the students were capable to explore basic models of populacional growth and of developing a model about the system pollution presenting a series of abilities and difficulties.

**Key words:** Modelling, STELLA, Educação Ambiental

---

<sup>1</sup> Trabalho parcialmente financiado pelo CNPq.

## 1. Introdução

A presença de tecnologias da informação, incorporadas as inovações tecnológicas nos processos educacionais, seja na condição de veículos principais ou recursos complementares, só têm valor se contribuírem para a melhoria da qualidade no ensino e aprendizagem.

O uso de computadores, agregados a ferramentas de modelagem como **STELLA**, oportuniza a construção do conhecimento individual ou coletivo, permitindo assim que o aluno enriqueça a sua aprendizagem.

STELLA é acrônimo para "Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation" (RICHMOND et al., 1987), que pode ser traduzido como: Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para o Pensamento Sistêmico. Atualmente está disponível uma versão demonstrativa do STELLA para Windows que pode ser encontrada no seguinte endereço <http://www.hps-inc.com/education/new-stella.htm>. É documentado em bibliografia técnica disponível em "High Performance Systems, Inc." (HPS 1993). O software STELLA está bem descrito por Hannon e Ruth (1994), Few (1996) e Soltzberg (1996). A filosofia de projeto do software é explicada por Peterson (1994).

Desenvolvido no sentido de articular o conhecimento em Nível de Sistemas com a Educação Ambiental, utilizando para isso esse ferramental da tecnologia da informática, o presente trabalho se baseou nas considerações de Bliss & Ogborn (1989 e 1990) e Bliss et. al. (1992) que supõem a existência de dois modos distintos, mas complementares, de se utilizar uma ferramenta computacional. São eles o exploratório e o expressivo. No modo exploratório, o estudante explora um modelo já colocado no computador, como uma simulação. Nesse caso ele explora as representações, desenvolvidas pelos professores ou pesquisadores, que podem ser distintas de suas próprias representações. No modo expressivo, o estudante desenvolve seus modelos, apresentando suas próprias representações da "realidade" que está sendo modelada.

Este artigo relata o experimento realizado com seis duplas de estudantes do ensino técnico profissionalizante, com idades entre 16 e 26 anos, trabalhando um total de dez horas em três módulos, sendo dois de três horas e um de quatro horas, onde definimos uma metodologia e algumas questões de pesquisa.

## 2. Questões de Pesquisa

O uso de ferramentas de modelagem como STELLA, permite uma visão dinâmica do sistema modelado, ou seja, a medida que o modelo é simulado os resultados desses processamentos auxiliam na reestruturação e melhoria do modelo inicial, possibilitando vislumbrar a evolução no tempo. Assim, a perspectiva de utilização de ambientes de modelagem computacional no estudo de tópicos relacionados à Educação Ambiental abre a possibilidade de se explorar a simulação que, com saídas gráficas e em tabelas, permite que o estudante analise como variáveis afetam umas as outras e compreenda o comportamento do sistema em estudo como um todo. A modelagem, dentro desta perspectiva, aparece como mais um possível componente do processo de ensino e aprendizagem.

Dentro disso se buscou, entre outras coisas, oferecer a alunos do Colégio Técnico Industrial a possibilidade de trabalhar com o pensamento sistêmico através da utilização do *software* STELLA em atividades relacionadas com a questão ambiental, o que possibilitou obter: 1) dados de pesquisa a respeito das habilidades e dificuldades relacionadas à utilização do STELLA em atividades exploratórias e expressivas, em tópicos relevantes para a Educação Ambiental apresentados no material instrucional e 2) dados relativos à utilização pelo estudante, de variáveis e estruturas dinâmicas nas atividades propostas no material instrucional. Dessa maneira foi possível analisar as interações sociais (pesquisador - estudantes) e a interação dos estudantes com o *software* STELLA e o material instrucional, possibilitando assim ao final dos estudos inferir sobre o potencial do *software* STELLA para a Educação Ambiental.

Para tanto trabalhamos através das seguintes questões de pesquisa:

Q1 - Quais as dificuldades de uso do software STELLA pelos estudantes durante o desenvolvimento das atividades exploratórias e expressivas?

Q2- Quais as dificuldades de concepção dos estudantes relativas à Educação Ambiental envolvidas nas atividades propostas no material instrucional?

Q3- Como é a visão do estudante a respeito das variáveis e estruturas dinâmicas que estão envolvidas nos sistemas em estudo, propostas no material instrucional?

Q4- Como se desenvolve a interação entre os estudantes que trabalham em duplas e entre estes e o pesquisador?

Q5- Quais habilidades e dificuldades que os estudantes demonstraram durante o desenvolvimento e exploração dos modelos propostos nas atividades expressivas e exploratórias, respectivamente?

Q6- Qual a estrutura da interação dos alunos com o conjunto de atividades desenvolvidas com o STELLA e propostas no material instrucional?

Q7- Consegue o aluno do ensino técnico pensar sobre a poluição em Rio Grande utilizando a metáfora do STELLA, com níveis e taxas? Como é a estrutura desse pensamento?

Q8- Como é a habilidade dos estudantes para pensar sobre tópicos relacionados à questão ambiental com o mapeamento de taxas e níveis? Consegue o aluno enxergar os problemas ambientais através de taxas e níveis?

Q9- É possível utilizar STELLA para a Educação Ambiental?

### 3. Metodologia

O estudo foi desenvolvido a partir da estruturação de um curso de extensão intitulado *Modelagem Computacional Utilizando STELLA: considerações teóricas e aplicações voltadas para a Educação Ambiental*, oferecido para estudantes do ensino técnico profissionalizante dos cursos técnicos de Informática e Eletrotécnica do Colégio Técnico Industrial “Mário Alquati” da Fundação Universidade Federal do Rio Grande – RS.

#### 3.1. Estruturação do Curso

O curso teve uma carga horária de 10 horas, por par de alunos (com turma de 12 alunos), sendo estruturado a partir de uma metodologia que articulava problemas do dia-a-dia, conteúdos curriculares específicos e atividades de modelagem e simulação exploratórias e expressivas. O Módulo 1, por ser introdutório e meramente teórico, foi desenvolvido com todos os alunos ao mesmo tempo, ao contrário dos Módulos 2 e 3 que foram ministrados exclusivamente para cada dupla, totalizando assim 45 horas de registros para a pesquisa. A organização do curso foi feita em 3 módulos de acordo com o exposto abaixo:

**Módulo 1** (03 horas): Intitulado, **Introdução ao estudo do Raciocínio em Nível de Sistema e ao STELLA**, teve por objetivo Introduzir a idéia de sistemas e sua representação (FORRESTER, 1990). Neste módulo foi trabalhado o estudo dos Diagramas Causais e do STELLA (KURTZ dos SANTOS et al. 2002) e (KURTZ dos SANTOS, 1995).

**Módulo 2** (03 horas): Intitulado, **Modelando e Representando Sistemas com o STELLA, utilizando atividades exploratórias**. Neste módulo foi realizado o estudo de atividades de modelagem exploratória em nível quantitativo, tendo como base modelos desenvolvidos pelo pesquisador.

**Módulo 3** (04 horas): Intitulado, **Modelando e Representando Sistemas com o STELLA, utilizando atividades expressivas**. Neste módulo foi desenvolvido, pelos alunos, atividades expressivas de modelagem tendo como base um texto sobre a poluição.

Dessa forma o material instrucional foi estruturado e aplicado para o desenvolvimento do estudo sobre a utilização do STELLA, na análise de tópicos relacionados com a Educação Ambiental. Baseado na abordagem sistêmica, onde, se inicia a modelagem com a utilização dos Diagramas Causais seguido de uma posterior passagem para o Diagrama de Fluxo, onde em nível de estrutura o processo de construção de um modelo consiste no estabelecimento de ligações entre entidades selecionadas e a simulação representa o processo de interação desta estrutura a qual gera o comportamento dinâmico.

## 3.2. Material Instrucional

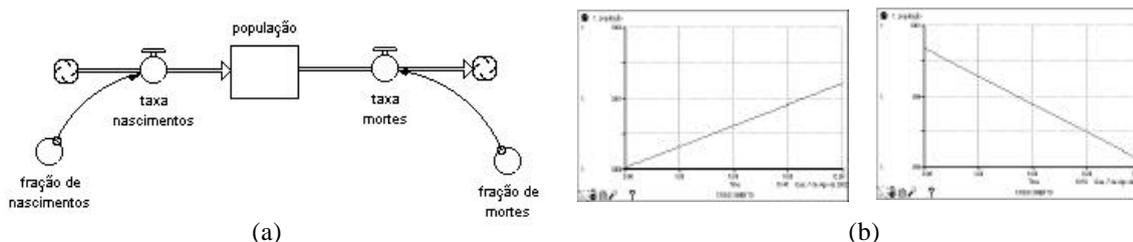
### 3.2.1. Módulo 1

O conteúdo deste material foi desenvolvido com a finalidade de servir como base para o desenvolvimento das habilidades dos alunos em conhecer a idéia de Sistemas e sua representação segundo Forrester, bem como o STELLA, para tanto se desenvolveu o estudo dos Diagramas Causais através de pares de causa e efeito finalizando com os diagramas causais fechados ou de retroalimentação. Os sistemas População e Poluição foram utilizados nas atividades de fixação. Seguindo apresentamos a tela principal do software STELLA e seus principais ícones com suas respectivas funções.

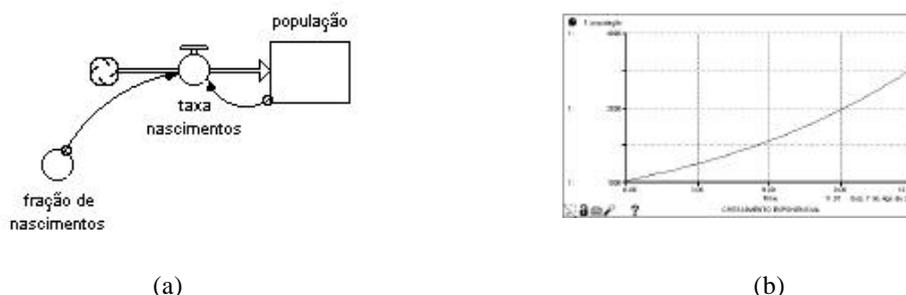
### 3.2.2. Módulo 2

O conteúdo do material neste módulo foi desenvolvido com a finalidade de servir como base e de estruturar as habilidades dos alunos em explorarem modelos elaborados pelo pesquisador, em nível quantitativo, no STELLA. Para tanto se desenvolveu o estudo do sistema População com o intuito de construir o conhecimento das relações que governam algumas dinâmicas fundamentais como: crescimento e decaimento linear, crescimento e decaimento exponencial, crescimento logístico e movimentos oscilatórios; geralmente exibidos por esse sistema, utilizando para isso a estrutura/comportamento das relações associadas à dinâmica, de maneira que sirva de base para a exploração de padrões de comportamento mais complexos (por exemplo: colapso). Contudo, uma vez simulado o comportamento do modelo, pode-se então explorar as conseqüências de considerações alternativas e de políticas de intervenção que venham a ser propostas.

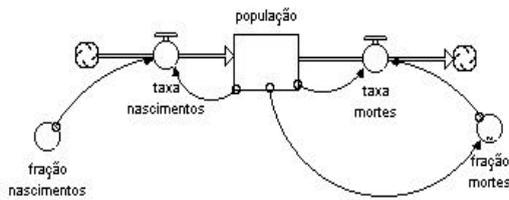
Assim, antes de começar as atividades exploratórias (Módulo 2) e as expressivas (Módulo 3) com os alunos foi necessário introduzir o conceito dessas classes básicas de estrutura/comportamento das relações que governam algumas dinâmicas fundamentais exibidas por populações, como pode ser visto nas figuras: Figura 1 - modelo 1 - crescimento e decaimento linear, Figura 2 - modelo 2 - crescimento exponencial, Figura 3 - modelo 3 - crescimento logístico e Figura 4 - modelo 4 - movimentos oscilatórios, no sentido de descobrirmos a estrutura/comportamento das relações associadas à dinâmica. O entendimento desses pares fornece uma base ao aluno para a exploração de padrões dinâmicos mais complexos, como os de Caos & Colapso e Oscilações (mostrado na figura 4).



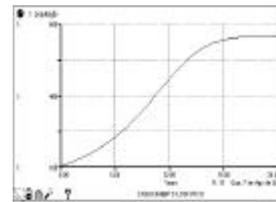
**Figura 1 – modelo1. (a) estrutura e (b) comportamento. Crescimento e decaimento linear**



**Figura 2 - modelo 2. (a) estrutura e (b) comportamento. Crescimento exponencial**

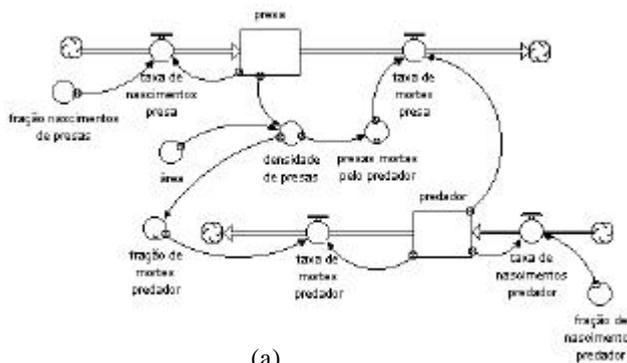


(a)

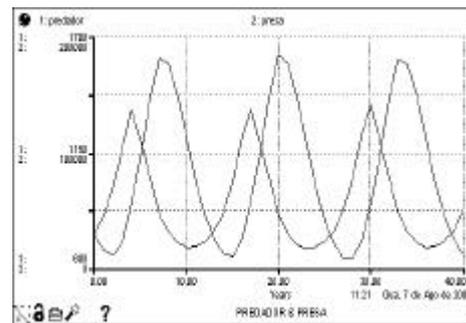


(b)

**Figura 3 – modelo 3 . (a) estrutura e (b) comportamento. Crescimento logístico**



(a)



(b)

**Figura 4 – modelo 4 . (a) estrutura e (b) comportamento. Movimento oscilatório**

Contudo podemos dizer que quando exploramos um modelo de um sistema dinâmico, literalmente podemos visualizar o que pensamos e através das simulações feitas nos será permitido construir o conhecimento. Assim se fechou o Módulo 2 com atividades exploratórias na qual os alunos executaram os 4 modelos mostrados anteriormente no STELLA, solicitaram gráficos, observaram comportamentos dinâmicos após alterarem basicamente as frações de nascimentos e mortes e responderam a perguntas do tipo: "O que acontece se...?", "Por que isso acontece...?" e "Quais as causas?". As respostas dadas a essas perguntas geraram dados para a busca de evidências de aprendizagem.

### 3.2.3. Módulo 3

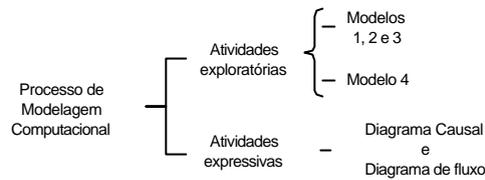
O conteúdo do material neste módulo foi desenvolvido com a finalidade de servir como base e de estruturar as habilidades dos alunos no que diz respeito as atividades expressivas, onde se buscou evidências de que os estudantes pudessem talvez aprender significativamente. Para que isso acontecesse um texto sobre "Os tipos de poluição" extraído do livro Fundamentos de Ecologia de Eugene P. Odum (1997, p. 288-289), foi escolhido para essa tarefa. Procurando explorar todo o potencial cognitivo e todas as habilidades desenvolvidas até então, as atividades que se seguiram tiveram como objetivo verificar se os alunos conseguiriam desenvolver um modelo do Sistema Poluição no município de Rio Grande - RS, utilizando para isso recursos do Diagrama Causal e do Diagrama de Fluxo. O Diagrama Causal foi desenvolvido com as variáveis que influenciariam o sistema proposto após discussão e análise feita por eles sobre o texto, a partir daí passaram a identificar essas variáveis, basicamente em níveis e taxas, transportando-as para um Diagrama de Fluxo, que foi estruturado no STELLA. Os resultados dessas atividades serviram de objeto de estudo para responder a algumas das questões de pesquisa.

## 4. Referencial para a Análise dos Dados

Por se tratarem de dados meramente qualitativos, se utilizou o recurso das redes sistêmicas (veja por exemplo a figura 5) que conforme Bliss et al. (1983) são utilizadas para avaliar dados qualitativos através da categorização de seus principais aspectos e os elementos básicos utilizados em uma rede sistêmica são o colchete e a chave, onde um colchete é usado para representar qualquer conjunto de escolhas exclusivas e uma chave é usada para representar um conjunto de escolhas que ocorrem simultaneamente, assim a partir destes elementos foi constituída a rede sistêmica que enfocou o Processo de Modelagem exploratória e

expressiva dos alunos através do STELLA. Os aspectos na rede refletem o conjunto de comportamentos observados em todas as duplas de alunos, no entanto, é importante ressaltar que isso não significa que necessariamente todas as duplas apresentaram todos estes comportamentos.

A rede sistêmica para a análise dos dados do processo de modelagem foi construída a partir de dois aspectos mais gerais, onde são abordados os processos de desenvolvimento das atividades de modelagem. Sob o aspecto da modelagem exploratória subdividimos a análise na ótica de exploração e construção do conhecimento sobre os modelos 1, 2, 3 e 4. Já pelo o aspecto da modelagem expressiva subdividimos a análise sob a ótica do processo de construção dos modelos, ou seja, através dos Diagrama Causal e Diagrama de Fluxo. Estes aspectos mais gerais são retratados pelo colchete e as chaves representado na figura 5. Como a rede é iniciada por um colchete, que caracteriza escolhas exclusivas, a caracterização final de uma dupla é descrita pelos aspectos das *Atividades exploratórias* ou pelos aspectos das *Atividades expressivas* os quais são apresentados em detalhes nas figuras 6, 7 e 8.



**Figura 5 . Rede sistêmica para a análise dos dados**

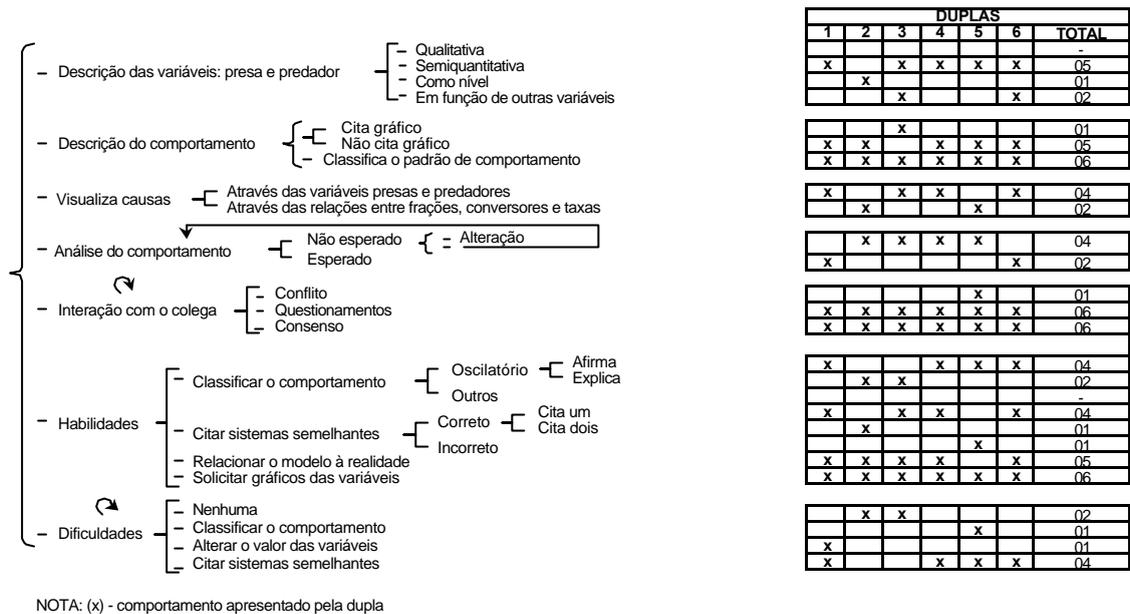
## 5. Análise dos Dados

As figuras 6, 7 e 8 a seguir, apresentam os quadros-resumo sobre a análise dos dados de cada dupla no processo de modelagem computacional relativo as atividades exploratórias dos modelos 1, 2, 3 e 4, bem como das atividades expressivas (diagrama causal e de fluxo). Nos quadros, uma leitura da coluna reflete a dupla enquanto que uma leitura da linha reflete o comportamento das duplas sobre o tópico em questão. Por limitação de espaço, não apresentaremos uma descrição detalhada de cada uma das dimensões das redes sistêmicas.

		DUPLAS						
		1	2	3	4	5	6	TOTAL
- Descrição da variável população	- Não descreveu			x				01
	- Qualitativa			x	x			02
	- Semiquantitativa			x	xxx	xxx	xxx	13
	- Como nível			xxx		x		04
	- Em função de outras variáveis			x		xx	x	04
- Descrição do comportamento	- Cita gráfico	xx	x	x	y			05
	- Não cita gráfico	x	xx	xx	xx	xxx	xxx	13
	- Explica padrão de comportamento	xx	x	xxx	xx	xxx	xx	13
	- Não explica padrão de comportamento	x			xxx	x	xx	07
			xx					02
- Visualiza causas	- Através das relações entre frações e taxas	xx	xxx	xxx		xxx	xxx	14
	- Através das variáveis nascimentos e mortes	x	xx	xx	xx	xx		09
	- Através de um evento/processo	xx	x	x	x	xx	x	08

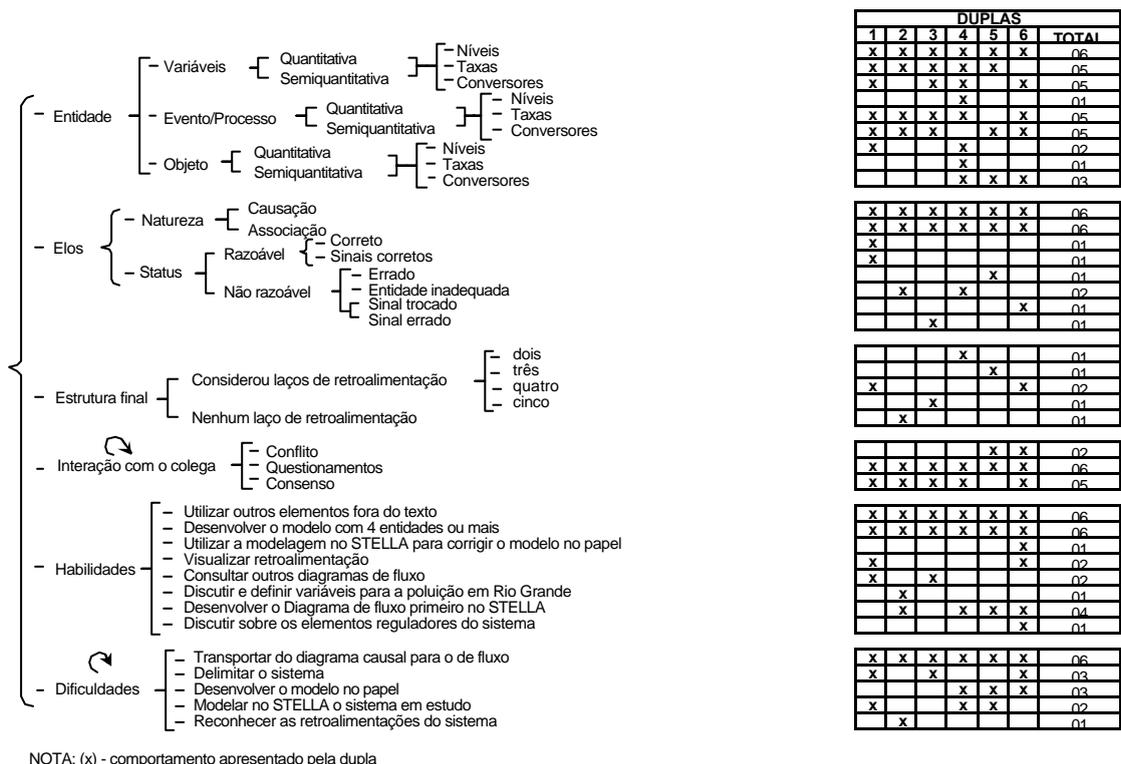
NOTA: (x) - comportamento em um modelo, (xx) - mesmo comportamento em dois modelos e (xxx) - mesmo comportamento em três modelos

**Figura 6 . Resumo geral da análise dos dados sobre os aspectos da atividade de modelagem exploratória das seis duplas relativo aos modelos 1, 2 e 3**



NOTA: (x) - comportamento apresentado pela dupla

Figura 7 . Resumo da análise dos dados sobre os aspectos da atividade de modelagem exploratória das seis duplas relativo ao modelo 4



NOTA: (x) - comportamento apresentado pela dupla

Figura 8 . Resumo da análise dos dados sobre os aspectos da atividade de modelagem expressiva das seis duplas, relativo aos diagramas causal e de fluxo

## 6. Conclusão

Apresentaremos a conclusão através das respostas dadas a cada uma das questões de pesquisa propostas e apresentadas na seção 2.

### 6.1 Respostas às Questões de Pesquisa

Q1 - Nas atividades exploratórias, algumas duplas apresentaram dificuldades em visualizar o comportamento gerado pela saída gráfica após a alteração dos valores das frações de nascimentos e mortes, devido à utilização de valores muito elevados, o que levou a explicações dos padrões de comportamento incorretos (nos modelos 1, 2 e 3) e a comportamentos não esperados no modelo 4. Enquanto na atividade expressiva, algumas duplas apresentaram dificuldades em representar as retroalimentações, deixando de fazê-las em alguns casos, como o que ocorreu com as duplas 03, 04 e 05.

Q2 - Nas atividades exploratórias, algumas duplas apresentaram dificuldades em entender e relacionar os comportamentos gerados pelos modelos 1, 2 e 3 à realidade, uma vez que questionamentos ao pesquisador foram feitos de quais sistemas reais teriam esses comportamentos. Esses modelos mostravam comportamentos básicos de crescimento de populações. Mais uma vez as explicações incorretas do padrão de comportamento ou até uma ausência de explicação, como foi o caso da dupla 02 em dois modelos, refletiram as dificuldades. No modelo 4, que apresentou uma estrutura dinâmica de comportamento oscilatório do tipo predador e presa, três duplas tiveram dificuldades em citar sistemas semelhantes e ao escolherem sistemas relacionados à Educação Ambiental como exemplo, um estava correto (citado pela dupla 03: "o sistema entre população e produção de alimentos."), um incompleto (citado pela dupla 06: "num sistema livre de poluição, o meio ambiente lida com sistema semelhante em relação a taxa de oxigênio e gás carbônico.") e outro incorreto (citado pela dupla 05: "pesca predatória.").

Enquanto na atividade expressiva, algumas duplas apresentaram dificuldades em delimitar o sistema, ou seja, definir o sistema pedido, em nosso caso a poluição, e seus reguladores, como também visualizar que a variável poluição seria um nível nesse sistema.

Q3 - No desenvolvimento das atividades de modelagem exploratória analisamos como as duplas descreveram as variáveis população nos modelos 1, 2 e 3 e as variáveis presa e predador no modelo 4, bem como, também, descreveram o comportamento e visualizaram as causas nas estruturas dinâmicas dos sistemas desses quatro modelos. Já no desenvolvimento das atividades de modelagem expressiva, analisamos a estrutura dinâmica desenvolvida pelas duplas quanto ao tipo de entidade, natureza e *status* dos elos e a quantidade de laços de retroalimentação.

Nos modelos 1, 2 e 3, quanto a descrição da variável população, constatamos que a maior ocorrência foi de uma descrição semiquantitativa, com relação à descrição do comportamento, o predomínio foi de não citarem o gráfico gerado pela saída gráfica do *software* e de explicarem corretamente o padrão de comportamento e quanto a visualização das causas a maior ocorrência foi no tópico através das relações entre frações e taxas, conforme pode ser visto na figura 6. No modelo 4, também prevaleceu uma descrição de maneira semiquantitativa das variáveis presa e predador. Uma descrição do comportamento foi caracterizada por não citar gráficos e classificar o padrão de comportamento, enquanto as causas foram visualizadas em sua maioria, através das variáveis presa e predador, conforme pode ser visto na figura 7.

Nas atividades expressivas, quanto a caracterização das estruturas dinâmicas desenvolvidas pelas duplas, podemos concluir que: em sua maioria foram utilizadas entidades do tipo variáveis de maneiras quantitativa e semiquantitativa; devido a um grande número de elos gerados pelas duplas em suas estruturas houve a classificação dos mesmos em ambas as situações, ou seja, alguns de causalção e outros de associação, e quanto aos seus *status* predominou o não razoável. Por fim, tendo como base a estrutura final caracterizada em função da quantidade de laços de retroalimentação, pôde-se concluir que apenas uma dupla não utilizou qualquer laço de retroalimentação, enquanto as outras cinco tiveram em média quatro (figura 8), o que nos leva a concluir que houve indício de pensamento sistêmico, pois para que o mesmo tenha sido desenvolvido Kurtz dos Santos (1997) sugere que além do uso das variáveis em elos causais razoáveis é necessário pelo menos, um elo de retroalimentação.

Q4 - A interação com o colega foi um dos aspectos analisados nas atividades exploratórias e expressiva. Conforme pode ser visto nas figuras 6, 7 e 8, podemos concluir que um perfil de interações predominante entre eles foi o de questionamentos seguido de consenso, uma vez que nas atividades exploratórias relativa ao modelo 4, apenas uma dupla entrou em conflito e nas atividades expressivas apenas uma não entrou em consenso ao final dos trabalhos, assim duas duplas apresentaram conflito nesta fase. Quanto a interação das duplas com o pesquisador, o predomínio foi de questionamentos.

Q5 - Em relação as atividades exploratórias, analisamos as habilidades e as dificuldades somente no modelo 4. Conforme pode ser visto na figura 7, as duplas apresentaram quatro habilidades e quatro dificuldades. Quanto as habilidades destacamos: 1) classificar o comportamento, onde a maioria utilizou uma afirmação para a classificação em oscilatório; 2) citar sistemas semelhantes, a maioria citou um corretamente; 3) relacionar o modelo à realidade, somente uma dupla não apresentou esta habilidade; 4) solicitar gráficos das variáveis, apresentada por todas as duplas. Com relação as dificuldades, podemos dizer que: 1) duas duplas não apresentaram dificuldades com relação a atividade; 2) uma dupla teve dificuldades em alterar o valor das variáveis; 3) outra dupla em classificar o comportamento e 4) quatro duplas em citar sistemas semelhantes.

Na atividade expressiva, identificamos oito habilidades e cinco dificuldades, conforme pode ser visto na figura 8. Quanto às habilidades apresentadas pelas duplas podemos concluir: 1) todas as duplas utilizaram outros elementos fora do texto na elaboração dos diagramas; 2) todas as duplas desenvolveram o modelo com quatro ou mais entidades; 3) uma dupla utilizou a modelagem no STELLA para corrigir o modelo no papel; 4) duas duplas visualizaram retroalimentações durante o desenvolvimento da atividade; 5) duas duplas consultaram outros diagramas de fluxo, utilizaram o do predador-presa para isso; 6) apenas uma dupla discutiu e definiu variáveis para a poluição em Rio Grande; 7) quatro duplas desenvolveram o diagrama de fluxo primeiro no STELLA e 8) uma dupla discutiu sobre os elementos reguladores do sistema. Com relação as dificuldades, podemos concluir que: 1) todas as duplas tiveram dificuldades em transportar do diagrama causal para o de fluxo, ou seja em identificar quais variáveis seriam níveis, taxas e conversores como também as ligações entre elas; 2) três duplas em delimitar o sistema, ou seja, tiveram dúvidas em quando encerrar a listagem das variáveis e de suas influências em outras entidades não consideradas; 3) três duplas em desenvolver o modelo no papel, duas dessas com dificuldades em estabelecer as relações causais e a outra em definir elementos reguladores do sistema; 4) três duplas, em modelar no STELLA o sistema pedido, ou seja, não utilizaram a variável poluição como nível e 5) uma dupla, em reconhecer as retroalimentações do sistema, não consideraram laço de retroalimentação algum em seu sistema.

Q6 - Podemos dizer, conforme as figuras 6, 7 e 8, que os alunos apresentaram uma estrutura de interação que se definiu em descreverem: as variáveis de maneira semiquantitativa e o comportamento do sistema em estudo sem citarem o gráfico, porém classificando e explicando corretamente o seu padrão de comportamento. Visualizaram as causas basicamente através de relações entre frações e taxas e fizeram uma análise do comportamento, até chegar ao esperado. Para tanto predominou entre eles uma relação de questionamentos e consenso. As duplas apresentaram as seguintes habilidades em comum: relacionar o modelo a realidade, solicitar gráficos das variáveis, utilizar outros elementos fora do texto e desenvolver o modelo com quatro entidades ou mais. Quanto as dificuldades as que mais ocorreram foram: citar sistemas semelhantes ao oscilatório e transportar do diagrama causal para o de fluxo.

Q7 - Somente a dupla 02, se preocupou em discutir a poluição em Rio Grande e desenvolveu um modelo que tinha a variável "poluição em Rio Grande" como nível e taxas que a regulavam como: esgoto público e industrial, gases poluentes das indústrias e acúmulo de lixo da população, e essas eram influenciadas por conversores como: saneamento básico, aumento populacional, administração pública e educação ambiental, evidenciando assim uma estrutura de pensamento não fragmentado. Apesar de tudo isso, essa dupla não utilizou elo de retroalimentação algum, o que nos remete a concluir que os alunos não desenvolveram um pensamento sistêmico. As duplas 03, 05 e 06, apresentaram modelos que utilizavam a variável poluição como nível, porém sem representar o sistema específico da poluição em Rio Grande, utilizaram também taxas e conversores que interligados geraram uma única estrutura dinâmica. As duplas 01 e 04, apresentaram modelos que não utilizavam a poluição como nível e muito menos especificado como poluição em Rio Grande, mas desenvolveram um modelo que tinha coerência e utilizaram para isso níveis, taxas e conversores que interligados formaram uma única estrutura dinâmica. Contudo podemos concluir que: 1) a estrutura do pensamento apresentado pelas duplas foi do tipo não fragmentado, uma vez que

todos os modelos foram constituídos de uma única estrutura dinâmica; 2) conseguiram definir entidades como Níveis, Taxas e Conversores; e 3) conseguiram chegar a um modelo (coerente ou não), que provavelmente seriam corrigidos e aperfeiçoados se tivéssemos tido mais tempo.

Q8 - Das seis duplas analisadas, quatro delas conseguiram modelar o sistema poluição utilizando uma variável de mesma denominação como nível e outras que regulavam esse nível como taxas. Com isso em conjunto com a grande quantidade de entidades utilizadas no desenvolvimento dos modelos, podemos concluir que os alunos conseguem enxergar os problemas ambientais em torno de taxas e níveis.

Q9 - Sim, uma vez que o *software* permite com sua interatividade aliada a possibilidade de obtenção de saídas gráficas para simulação, que os alunos visualizem alterações em um modelo e tirem suas conclusões à respeito de causas e efeitos, permitindo o entendimento, por exemplo do comportamento de crescimento de populações, onde eles puderam avaliar comportamentos básicos como crescimentos linear, exponencial e logístico, bem como comportamentos oscilatórios, por exemplo o sistema predador e presa os quais foram trabalhados de maneira exploratória. Já na atividade expressiva, a finalidade era com que os alunos modelassem suas concepções em relação a poluição em Rio Grande, para isso as duplas leram um texto intitulado "Os tipos de poluição" que deveria servir de apoio e a partir daí serem estabelecidas as variáveis para a modelagem em questão. Apesar de todas as duplas apresentarem dificuldades em transportar do diagrama causal para o de fluxo, todas elas conseguiram apresentar também modelos com um elevado número de entidades que foram mapeados no STELLA em função do que as duplas entendiam ser níveis, taxas e conversores com suas respectivas ligações, ou seja, nenhuma dupla listou variáveis fora do proposto ou deixou de desenvolver o seu modelo no STELLA. Contudo, dentro das atividades que foram desenvolvidas e analisadas neste estudo podemos com certeza dizer que é possível o uso de STELLA para a Educação Ambiental.

## 7. Referências

- Bliss, J. et al. (1983) "Quantitative Data Analysis for Education Research: a guide of systemic networks" 1. ed., London: Croom Helm. 215p.
- Few, A. (1996) "System behavior and system modelling" Sausalito, CA: University Science Books.
- Forrester, J. W. (1990) "Principles of Systems" Portland, OR.: Productivity Press.
- Hannon, B. and Ruth M. (1994) "Dynamic Modelling" New York: Springer-Verlag.
- HPS (1993) "Stella II: Technical documentacion" (High Performance Systems, Inc., 45 Lyme Road, Hanover, NH 03755).
- Kurtz dos Santos A. C. (1995) "Introdução à Modelagem Computacional na Educação" Rio Grande-RS: Editora da FURG.
- Kurtz dos Santos, A. C. (1997) "O trabalho de estudantes do 1º grau em modelagem semiquantitativa focalizando problemas ambientais" Ambiente & Educação, v. 2: p. 39-53.
- Kurtz dos Santos, A. C. et al. (2002) "Modelagem Computacional Utilizando STELLA: considerações teóricas e aplicações em Gerenciamento, Física e Ecologia de Sistemas" Rio Grande-RS: Editora da FURG.
- Odum, E. P. (1997) "Fundamentos de Ecologia" Lisboa: Editora Fundação Calouste Gulbenkian. 5 ed..
- Peterson, S. (1994) Software for model building and simulation: An illustration of design philosophy. In "Modelling for learning organizations I", edited by John Morecroft and John Sterman. Waltham, MA: Pegasus Communications.
- Richmond, B. et al. (1987) "An academic user's guide to STELLA" Lyme: High Performance System.
- Soltzberg, L. (1996) "The dynamic environment: Computer models to accompany 'consider a spherical cow'" Sausalito, CA: University Science Books.