

A utilização do pensamento sistêmico: uma investigação na área de Ciências da Natureza do Ensino Médio

Valter Antonio Ferreira

Universidade Federal do Pampa, valterferreira@unipampa.edu.br

Lisete Funari Dias

Universidade Federal do Pampa, lisetedias@unipampa.edu.br

Bianca Maria de Lima

Secretaria de Educação do Rio Grande do Sul, bianca-mdlima@educar.rs.gov.br

Introdução

O conhecimento não pode ser reduzido somente à informação e, para tal, são necessárias estratégias didáticas que a transformem, do estágio inicial, a uma construção conceitual profunda e abrangente. Conhecer deve implicar uma segunda etapa, na qual as noções são classificadas, analisadas e contextualizadas, galgando patamares cada vez mais amplos de consciência. Nesse sentido, o trabalho com as disciplinas da área de Ciências da Natureza deve ser associado com a arte de desenvolver saberes de maneira útil e pertinente, envolvendo a reflexão e a capacidade de produzir novos tipos de relacionamentos, em vez de reproduzir apenas memorização.

Este trabalho visa apresentar uma nova perspectiva de encaminhamento no estudo de um tópico pertencente à área de Ciências da Natureza: o efeito estufa. Sua importância reside na manutenção das temperaturas médias do planeta, evitando a ocorrência de grandes amplitudes térmicas, permitindo o desenvolvimento dos seres vivos. A investigação procurou destacar o uso do pensamento sistêmico em conjunto com a modelagem computacional semiquantitativa, como possibilidade de estimular os

estudantes a um maior entendimento sobre o ambiente que os cerca. A estratégia foi aplicar um curso extraclasse em uma escola de Ensino Médio e trabalhar com alunos em duplas, buscando a compreensão e a elaboração de sistemas físicos, através do emprego do ‘raciocínio quantitativo’ para obter indícios capazes de corroborar com uma futura aplicação em sala de aula.

Procurou-se então, responder a seguinte questão de pesquisa: Como o raciocínio semiquantitativo e a modelagem computacional podem ser inseridos na área de Ciências da Natureza no Ensino Médio e contribuir para uma aprendizagem colaborativa?

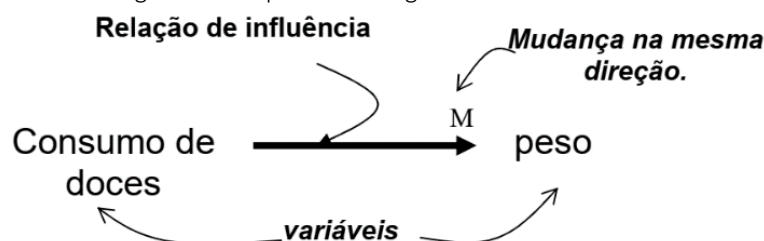
Fundamentação Teórica

No âmbito da área de Ciências da Natureza no Ensino Médio, os fenômenos físicos parecem ainda continuar pautados pela formulação matemática e suas soluções analíticas, geralmente sem levar em conta as carências dos estudantes, tanto de cálculo, quanto de construção e interpretação de conceitos científicos básicos. Neste contexto problemático, Ogborn (1992) propôs uma possível estratégia de solução: o desenvolvimento do ‘pensamento sistêmico’. Esse paradigma pode ser alcançado pelo incremento de um tipo de pensamento denominado como ‘raciocínio semiquantitativo’, o qual possui as vantagens de poder ser aplicado desde as séries iniciais até o nível superior, não exigindo de grande formalismo matemático e abrangendo a descrição de situações do cotidiano na forma de um sistema, ou seja, um agrupamento de partes que operam juntas com um propósito comum. Neste sentido, a ‘visão sistêmica’ parece adequada à aprendizagem interdisciplinar proposta pela área de Ciências da Natureza, pois segundo Morin (2003), um sistema consiste em uma associação combinatória de elementos diferentes e pode representar qualquer realidade conhecida, desde o átomo à galáxia, passando pela molécula, célula e organismo e, até mesmo, a própria sociedade. A representação simplificada de um sistema é denominada de ‘modelo’ e os do tipo semiquantitativos diferenciam-se dos modelos quantitativos pela descrição de objetos e/ou eventos de uma forma ordinal: ‘X aumenta Y’ ou ‘X diminui Y’. Isto os torna uma boa aplicação para descrever situações rotineiras, como: ‘Se o número de clientes num banco aumenta, então o tamanho da fila dos caixas também vai aumentar. Se aumentarmos o número de caixas, o tamanho da fila diminuirá’. Mesmo que esses relacionamentos, do tipo aumenta, diminui, maior, menor, não sejam matematicamente precisos, eles ajudam a explicitar informações sobre o ‘como’ e o ‘porquê’ da ocorrência de mudanças em determinados fenômenos/situações (Ferreira, 2005).

O processo de elaboração de um sistema chama-se ‘Modelagem’, podendo ser considerada como o “estabelecimento de relações entre importantes entidades de um sistema” (Kurtz dos Santos, 2002). As ferramentas de modelagem podem ser, desde o lápis e o papel até as tecnologias interativas, tal como o computador. Um passo fundamental para a construção de um sistema é sua representação em diagramas de influência, pois estes expressam o tipo de relação entre variáveis e como será a

mudança no nível das mesmas. Caso a mudança ocorra na mesma direção, usa-se a letra 'M' ou na direção oposta, emprega-se a letra 'O'. O exame do diagrama da Figura 01 indica que, quanto maior for o consumo de doces, maior será o peso adquirido.

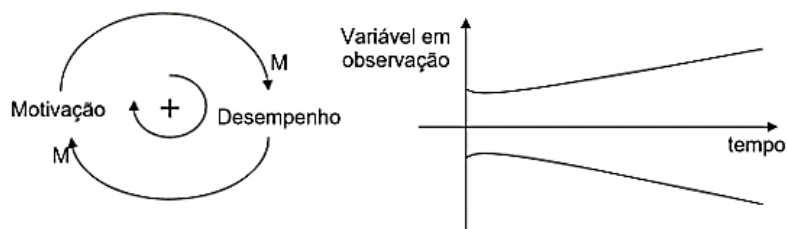
Figura 1. Exemplo de um diagrama de influências.



Fonte: Ferreira (2005).

Para representar alguns sistemas naturais, são necessários os diagramas de influência com elos fechados (retroalimentação), nos quais os resultados da ação passada retornam visando controlar a ação futura. Quando o elo de retroalimentação for positivo a ação gerada construirá um resultado capaz de criar uma ação ainda maior, chegando ao colapso (Kurtz dos Santos, 2002) como mostrado na Figura 02.

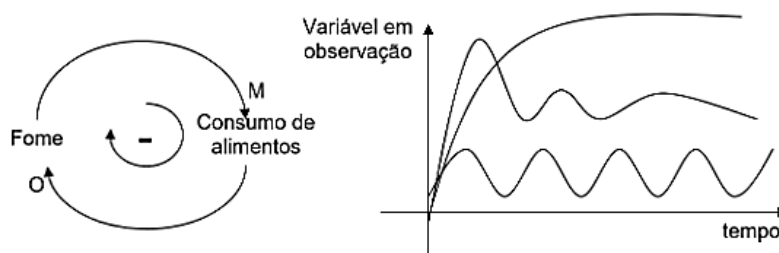
Figura 2. Exemplo de elo de retroalimentação positivo.



Fonte: Ferreira (2005).

O elo de retroalimentação negativo atua no sentido de procurar por um objetivo e responder à falha em atingir este, gerando uma estabilidade no sistema, como pode ser visto na Figura 03.

Figura 3. Exemplo de elo de retroalimentação negativo



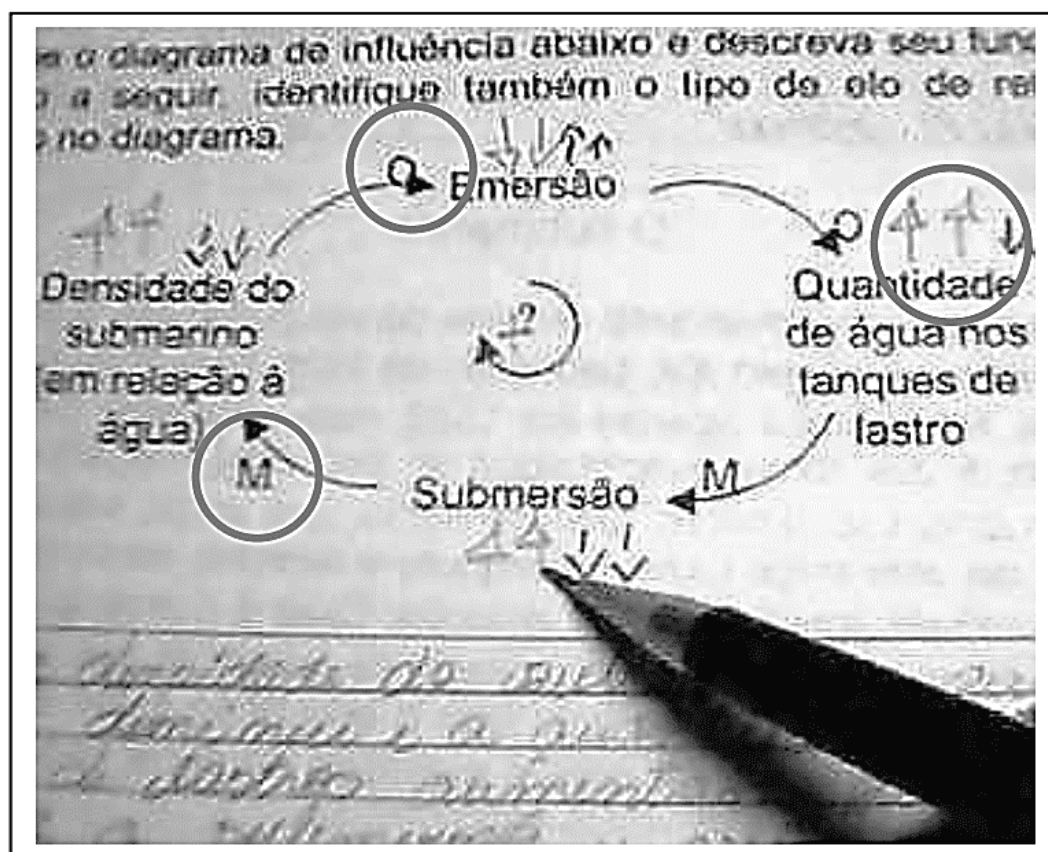
Fonte: Ferreira (2005).

Além dos modelos em lápis e papel é possível estudar os fenômenos naturais empregando soluções de software, bastando transferir o diagrama de influências para um ambiente computacional, executar o recurso de simulação e refletir sobre a coerência entre o comportamento do modelo e a dinâmica do fenômeno em estudo.

O processo de representar e simular um modelo no computador é chamado de modelagem computacional e, para que esta atividade não exija formalismo matemático ou conhecimentos de programação, necessita ocorrer em um ambiente capaz de dispensar tais conhecimentos prévios. Neste sentido, apresenta-se o WlinkIt¹, um programa cujo funcionamento baseia-se na metáfora de ícones utilizados para representar tanto as variáveis, quanto as ligações entre elas e, no qual, os cálculos advindos da simulação do modelo são gerados automaticamente (Ferreira, 2005a).

A seguir, as Figuras 04 e 05 apresentam o exemplo de um diagrama de influências elaborado no material instrucional e posteriormente construído e simulado no *software* WlinkIt.

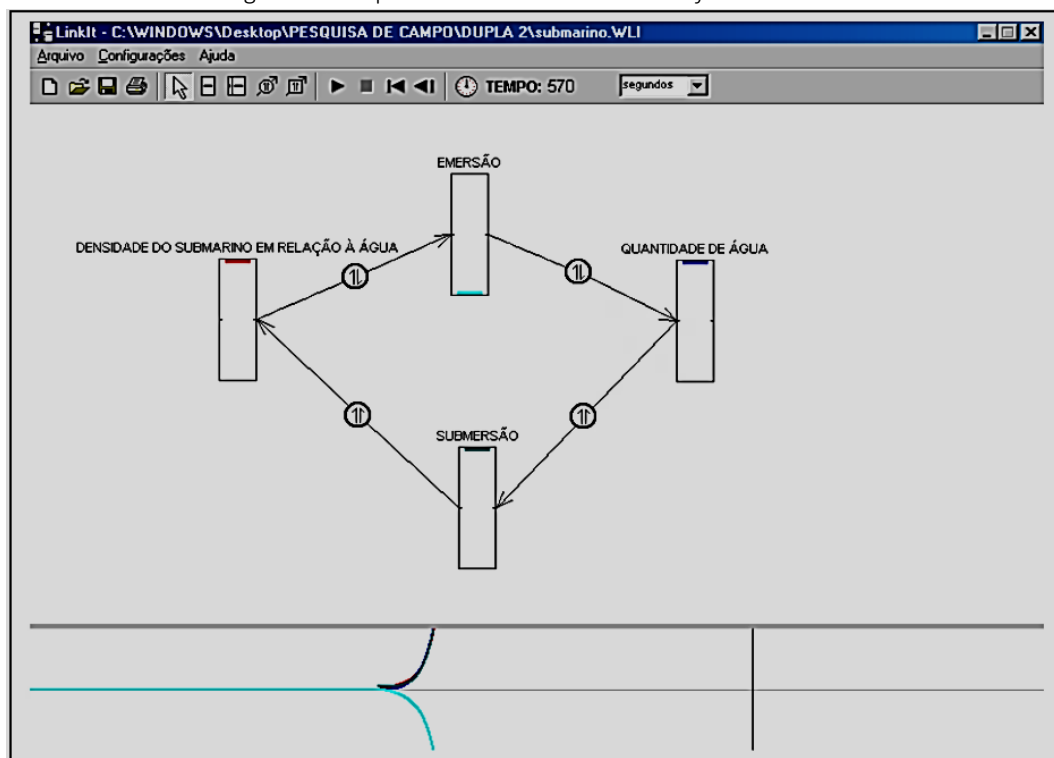
Figura 4. Exemplo de análise de diagrama de influências.



Fonte: Ferreira (2005).

1 Disponível em: <http://www.nce.ufrj.br/ginape/wlinkit/>.

Figura 5. Exemplo de modelo construído no *software* Wlinkit.



Fonte: Ferreira (2005).

Métodos

A investigação transcorreu na sala de informática de uma escola municipal da cidade de Pelotas-RS, onde, com base na premissa de que “o processo de modelagem pode ajudar o aluno a entender melhor os ‘fenômenos naturais’” foi realizado presencialmente, e em turno inverso, um curso de extensão denominado ‘Modelagem computacional semiquantitativa de sistemas’. Para o referido curso inscreveram-se 10 alunos do ensino médio, sendo organizados em cinco duplas, com base nos estudos de Kurtz dos Santos (2002), pois este autor privilegia o trabalho em pares, considerando-o benéfico para a aprendizagem, já que a interação social entre a dupla pode ser um fator facilitador tanto da compreensão quanto da execução das atividades exploratórias e expressivas.

Todos os estudantes eram provenientes de classes populares, com idades entre 16 e 19 anos e sem computador em casa. No curso extracurricular, para facilitar a coleta de dados, as duplas foram trabalhadas individualmente, em um total de 04 encontros de duas horas por dupla, finalizando 40 horas de curso para as 05 duplas (Ferreira, 2005).

As Figuras 06 e 07, a seguir, apresentam parte do material instrucional empregado no curso extracurricular.

Figura 6. Texto de apoio ao estudo do Efeito Estufa.

ATIVIDADE EXPRESSIVA

DUPLA:...../.....
DATA:...../...../.....

O objetivo desta atividade é executar a modelagem computacional semiquantitativa de um sistema físico. Dessa forma, a dupla deve, com base no texto abaixo e via diagramas de influência, construir um modelo, transpor o mesmo para a metáfora de ícones do software Wlinkit, simulá-lo e validá-lo.
Obs.: O modelo deve ser desenvolvido através da troca de idéias entre os componentes das duplas. Durante a produção do modelo, a dupla deverá explicar os procedimentos em **voz alta**.

1- Leia com atenção o texto abaixo:

A Física do efeito estufa

A cobertura de nuvens da Terra reflete cerca de um quarto da radiação proveniente do Sol, devolvendo-a ao espaço, de maneira que esta radiação não participa do aquecimento do nosso planeta. Parte da radiação recebida é refletida por moléculas de gás da atmosfera e parte por materiais da superfície da Terra. Superfícies líquidas, rochas, solo, vegetais e especialmente neve e gelo refletem a energia solar. As nuvens, a atmosfera e os materiais da superfície terrestre refletem, em conjunto, praticamente 34% da radiação solar. Os 47% restantes da insolação são absorvidos ao nível da superfície da Terra. Assim, a maior parte da insolação que não é refletida e perdida para o espaço é usada no aquecimento das áreas sólidas e líquidas da Terra. Já que a Terra está em equilíbrio radiante, toda a energia absorvida é devolvida ao espaço na mesma proporção. Se assim não fosse, a Terra não poderia manter uma temperatura aproximadamente constante.

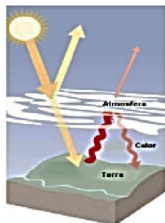


Figura 1: esquema de aquecimento da Terra.

No entanto, o ritmo acelerado de industrialização e poluição aumentou enormemente a quantidade dos gases responsáveis pelo efeito estufa e afetou o equilíbrio ecológico. Se a quantidade desses gases aumentar muito, a radiação infravermelha retida pela atmosfera crescerá, aumentando a temperatura do planeta em um aquecimento de grandes proporções. Isto poderá provocar o degelo das calotas polares, elevando o nível dos mares e inundando as regiões mais baixas da Terra. Um maior número secas podem ocorrer e mais desertos podem ser criados. É difícil prever a escala e os efeitos do aquecimento global provocado pelo efeito estufa, e há debates e estudos científicos ainda em andamento. Alguns cientistas afirmam que nos próximos 50 anos poderá haver um aumento de aproximadamente 2°C na temperatura média do planeta.

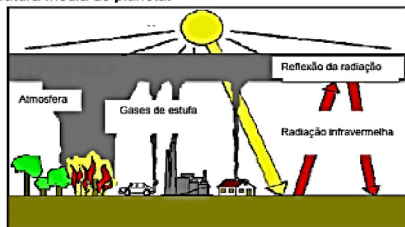


Figura 2: esquema do efeito estufa.

Fonte: Ferreira (2005).

Figura 7. Folha de atividades para o texto de apoio.

2- Execute as etapas necessárias para o processo de modelagem.

1º- Defina o sistema a ser estudado:

--

2º- Escolha o fenômeno de interesse:

--

3º- Escolha as variáveis importantes:

--

4º- Construa seu modelo no quadro abaixo, através de diagramas de influência:

--

5º- Descreva o provável comportamento do modelo;

6º- Represente o modelo no Ambiente de Modelagem Computacional Semiquantitativo Wlinkit;

7º- Valide seu modelo a partir da comparação entre os comportamentos computacional e o esperado pelo fenômeno em estudo.

Anote aqui as observações que julgar necessárias:

Fonte: Ferreira (2005).

O curso iniciou com definições e exemplos sobre sistemas, modelos e modelagem, objetivando estimular a reflexão acerca do ‘modelo’ enquanto interpretação da realidade (Kurtz dos Santos, 2002). Na sequência, foi abordado o tópico sobre os diagramas de influência, com e sem elo de retroalimentação, realizando vários exercícios de elaboração dos mesmos. Após, iniciou-se o manuseio do software WlinkIt, sendo abordada tanto a função dos ícones da barra de tarefas, quanto a construção e a simulação de um modelo computacional. Na fase de modelagem, os alunos analisaram, descreveram, passaram para a metáfora computacional e validaram modelos previamente construídos pelo pesquisador (atividade exploratória). Na

sequência, as duplas empregaram um texto de apoio e seus conhecimentos prévios para construir no papel o modelo sobre o efeito estufa, passando-o também para a metáfora computacional, visando a comparação e ajuste entre as duas visões.

Por sua vez, a coleta de dados foi baseada na proposta de Lüdke e André (1986a) e empregou a observação do comportamento das duplas ao longo das atividades, em conjunto com a análise documental de modelos e explicações registrados em papel e na tela do computador.

Os registros das observações foram realizados mediante:

- Gravação em vídeo do comportamento dos estudantes ao longo das atividades exploratórias e expressivas.
- Gravação em vídeo do processo de modelagem feito no material instrucional.
- Gravação em áudio dos diálogos dos alunos durante as atividades.
- Captura digital em vídeo das atividades de modelagem computacional na tela do computador (utilizando o *software* CamStudio).

A análise documental envolveu o registro das seguintes atividades constantes na folha de tarefas do material instrucional:

- Construção do diagrama de influências;
- Análise do diagrama de influências;
- Descrição do comportamento do diagrama de influências;
- Elaboração do modelo computacional;
- Simulação do modelo computacional;
- Validação entre o modelo computacional e o diagrama de influências.

A técnica das redes sistêmicas de Bliss (1983) foi empregada para tabular os registros da observação e da análise documental, buscando construir uma rede de categorias capaz de descrever a atividade de cada dupla. A comparação entre tais categorias forneceu subsídios para as conclusões da questão de pesquisa.

Como exemplo, apresenta-se, na Figura 8, uma das redes sistêmicas empregadas para o estudo das atividades realizadas pelos estudantes.

Figura 8. Redes sistêmicas criadas pelos alunos.

		Resumo Efeito Estufa				
		Duplas				
		01	02	03	04	05
Análise (atividade expressiva)	Atitude inicial para com a atividade	- Lê o texto apresentado;.....	X	X	X	X
		- Passos	- Executa	- Define o sistema;.....	X	X
				- Escolhe o fenômeno;.....	X	X
				- Lista as variáveis;.....	X	X
				- Não executa;.....		
	- Criação inicial do modelo	- No papel	- Metáfora diagrama de influência;.....	X	X	X
			- Metáfora do ambiente Winkit;.....			
			- Metáfora alternativa;.....			
		- No computador.....				
	Elementos de modelagem	- Variáveis	- Número	- Restrito.....		X
				- Amplo.....	X	
			- Comportamento	- Restrito.....		X
				- Amplo.....	X	X
			- Concepção	- Quantidade.....	X	X
				- Objeto.....		X
		- Ligações	Causais.....			X
			Não-causais.....		X	
		- Versão do modelo	- Simulação;.....		X	X
			- Análise do comportamento	- Não esperado		
				- Esperado;.....	X	X
	- Modelo final	- Comportamento	- Oscilatório;.....		X	
			- Não oscilatório;.....			X
		- Nº de variáveis	duas;.....			X
			três;.....			X
			- mais de três;.....		X	
					X	X

Fonte: Ferreira (2005).

Resultados

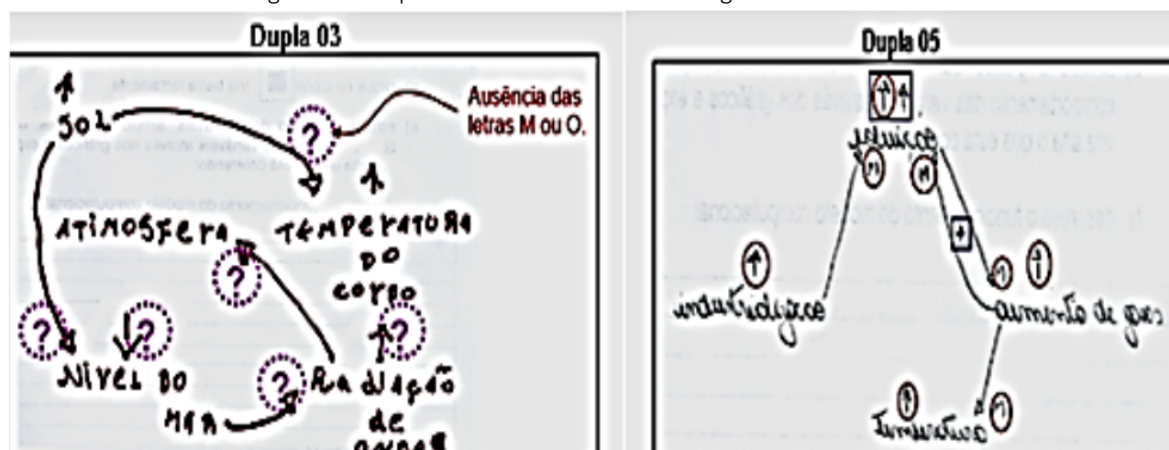
Analizou-se as atividades desenvolvidas por cada dupla de alunos em relação ao efeito estufa, buscando identificar evidências do uso dos conceitos básicos de modelagem semiquantitativa de forma a perceber a influência dos aspectos afetivos relacionados ao trabalho cooperativo.

É importante ressaltar que os alunos ainda não tinham realizado tarefas conforme a metodologia apresentada no curso. Portanto, o estudo concentrou-se no processo de construção dos

modelos, deixando de lado, inicialmente, a precisão em relação à realidade do fenômeno natural

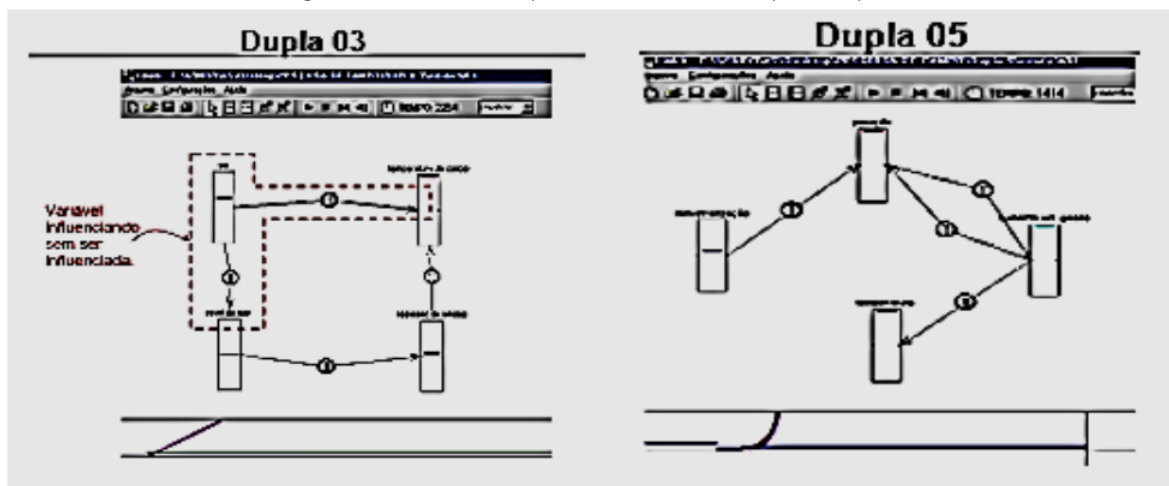
Os estudantes iniciaram lendo o texto e discutindo até chegarem a um consenso sobre as variáveis na elaboração dos modelos na forma de diagramas de influência. A Figura 09 apresenta os modelos criados pelas duplas 03 e 05, enquanto a Figura 10 mostra os modelos computacionais correspondentes.

Figura 9. Exemplos de modelos criados em diagramas de influência.



Fonte: Ferreira (2005).

Figura 10. Modelos computacionais elaborados pelas duplas.



Fonte: Ferreira (2005).

A análise do modelo escrito, criado pela dupla 01, destacou a escolha das seguintes variáveis: radiação solar, radiação infravermelha, reflexão da radiação e temperatura da Terra. Inicialmente, essas variáveis foram organizadas de maneira linear; no entanto, após algumas avaliações, os alunos decidiram incluir um elo de retroalimentação positiva para melhor refletir o funcionamento cíclico do efeito estufa. Essa mudança, juntamente com a substituição da variável 'reflexão da radiação' por

‘quantidade de gases’, evidenciou uma evolução em relação ao modelo inicial

Quanto à etapa computacional, a transposição do modelo feito no papel para o computador foi realizada corretamente e, pela simulação, a dupla percebeu incoerências entre os modelos e a ideia cíclica de funcionamento do efeito estufa. Dessa forma, um dos estudantes sugeriu a inversão no sentido de influência da variável ‘temperatura da Terra’ para ‘radiação solar’ obtendo então, o comportamento oscilatório desejado.

Por sua vez, a dupla 02 definiu ‘calor’ como fenômeno de interesse e escolheu as variáveis: gases de estufa e calor para representar o sistema, ligando as mesmas em uma estrutura linear. Pela descrição do funcionamento do modelo, os alunos parecem ter confundido a relação de influência no mesmo sentido, com o efeito de um elo retroalimentado positivamente, apresentando um diagrama de influências com uma relação unilateral (unicamente da variável ‘Gases de estufa’ para a variável ‘Calor’), quando deveria ser bi-lateral. Por sua vez, a simulação computacional esteve de acordo com o modelo escrito: quando os gases de estufa aumentavam, o calor também aumentava e vice-versa.

Na construção do seu modelo, a dupla 03 não empregou as letras ‘M’ ou ‘O’ para estabelecer o mesmo sentido ou sentido oposto de influência entre as variáveis, no entanto, foi possível deduzir tais sentidos através da análise das setas colocadas acima das variáveis, fato que demonstrou o conhecimento pelo menos em parte do método de construção de um diagrama de influência. A explicação sobre o comportamento do diagrama apresentou deficiência quanto à influência entre as variáveis, pois a dupla não conseguiu concatenar um nexos causal, apenas citou aumentos ou diminuições de níveis, caracterizando problemas na delimitação do sistema a ser estudado. No quesito da atividade computacional, o modelo elaborado foi diferente do modelo construído em diagrama de influência, havendo discrepâncias quanto ao número de variáveis e no sentido de influência de uma variável sobre outra (‘sol’ sobre a variável ‘nível do mar’).

O modelo construído pela dupla 04 apresentou certa incoerência na atribuição de influência entre algumas variáveis, por exemplo, ‘energia solar’ influenciando no aumento do nível de ‘quantidade de gases da atmosfera’. Tal ausência de nexos causal demonstrou, de certa forma, uma carência conceitual dos estudantes. No entanto, durante a atividade computacional, a dupla demonstrou facilidade em transferir o diagrama de influência para a metáfora do WlinkIt, construindo um modelo computacional sem incoerências em relação ao diagrama de influências.

Já a dupla 05 tentou mostrar o efeito da poluição no aumento da temperatura terrestre através das seguintes variáveis: industrialização, poluição, aumento de gases e temperatura. Ao observar o diagrama, verificou-se a realização de um ciclo completo de análise (devido às setas acima das variáveis), com dois ciclos para as variáveis envolvidas no elo de retroalimentação (poluição e aumento de gases). A dupla mostrou reconhecer e utilizar corretamente os sentidos de influência entre as variáveis, simbolizados pelas letras ‘M’. Tal diagrama mostrou-se, também, conceitualmente

coerente com o material textual oferecido. Durante a atividade computacional, a dupla facilmente elaborou um modelo computacional coerente com o diagrama estudado, demonstrando com isso, intimidade com a metáfora utilizada pelo software WlinkIt.

No âmbito de uma análise mais ampla sobre o trabalho de todas as duplas, as dificuldades apresentadas já eram esperadas como consequência do primeiro contato com a teoria de modelagem, em conjunto com a intensa demanda intelectual inerente às tarefas requisitadas. No entanto, foi possível identificar o uso correto da estratégia utilizada para construir e avaliar os modelos escritos, utilizando a técnica de colocar setas acima das variáveis para representar um aumento ou diminuição no nível das mesmas e servindo-se dos sentidos de tais setas para descrever o comportamento do modelo e, por vezes, determinar ou não a necessidade de elo de retroalimentação. A maioria das variáveis foram conceituadas como ‘quantidade’ pelas duplas, fator fundamental para a construção de modelos em nível semiquantitativo, além de indicar a capacidade dos estudantes de imaginar o mundo em termos de variáveis quantificáveis. O fato da maioria das ligações entre as variáveis terem sido consideradas ‘causais’, sugeriu o uso do ‘raciocínio causal’ na organização de ideias envolvendo sistemas que evoluem no tempo (sistemas dinâmicos).

Conclusões

A pesquisa desenvolvida a partir de um projeto de extensão em uma escola, visou apresentar uma nova perspectiva de encaminhamento no estudo de um tópico pertencente à área de Ciências da Natureza: o efeito estufa. Nessa perspectiva, procurou-se oferecer a possibilidade de aplicação da modelagem computacional semiquantitativa, como potencializador do estudo de tópico relacionado à Ciência da Natureza no Ensino Médio, incentivando os estudantes à prática da leitura, escrita e reflexão sobre seus julgamentos, em uma proposta de aprendizagem ativa e autônoma. Soma-se a isto, os indícios positivos sobre a possibilidade de aplicação desta modelagem em futuras aplicações escolares.

Quanto ao processo de interação entre alunos e professor, foram verificadas atitudes de curiosidade e criatividade, bem como a existência de reciprocidade entre os componentes das duplas, denotando a ocorrência de respeito mútuo e a predisposição para a participação em trocas colaborativas.

O material instrucional também se mostrou adequado ao estudo introdutório da modelagem, podendo ser tomado como referência para futuro emprego em sala de aula. Ademais, a aplicação da técnica constituída de: leitura do texto, definição do sistema a ser estudado, escolha do fenômeno de interesse, escolha das variáveis importantes, construção e descrição do modelo, pareceu favorecer a aprendizagem ativa dos conceitos envolvendo tanto a modelagem quanto o fenômeno natural em estudo.

Referências

- BLISS, J. **Qualitative Data Analysis for Educational Research: a guide of systemic networks**. London: Croom Helm, 1983.
- FERREIRA, V. A. Modelagem multidisciplinar com o software Wlinkit. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, 2005a.
- FERREIRA, V. A. **Modelagem computacional semiquantitativa de sistemas físicos, uma experiência no Ensino Médio**. 2005. 270f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, 2005.
- KURTZ DOS SANTOS, A.C. **Stella no modelamento de equações diferenciais**. Disponível em <http://www.sf.dfis.furg.br/profecom/artigos/ccef1989.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2002.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.
- MORIN, E. **A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003.
- OGBORN, J. **Modeling with the Computer at all ages**. Londres: Institute of Education of University of London, 1992.