

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

ROSILÉIA OLIVEIRA DE ALMEIDA

SER GRANDE E SER PEQUENO:
*As Tendências de Pensamento de Professores e Alunos
sobre as Relações entre Tamanho e Vida*

CAMPINAS - SP

1998

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

SER GRANDE E SER PEQUENO:
*As Tendências de Pensamento de Professores e Alunos
sobre as Relações entre Tamanho e Vida*

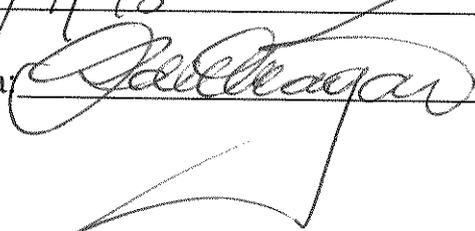
ROSILÉIA OLIVEIRA DE ALMEIDA

Este exemplar corresponde à redação final da
Dissertação defendida por Rosiléia Oliveira de
Almeida e aprovada pela Comissão Julgadora.

Data:

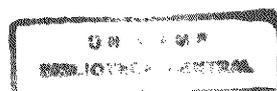
2/9/98

Assinatura:



CAMPINAS - SP

1998



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
	AL64s
V.	Ez
TOMBO BC/	35703
PROC.	395/98
C. I. D.	0 [x]
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	04/11/98
N.º CPD	

CM-0011B177-5

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA
DA FACULDADE DE EDUCAÇÃO/UNICAMP

AL64s

Almeida, Rosiléia Oliveira de.

Ser grande e ser pequeno : as tendências de pensamento de professores e alunos sobre as relações entre tamanho e vida / Rosiléia Oliveira de Almeida. – Campinas, SP : [s.n.], 1998.

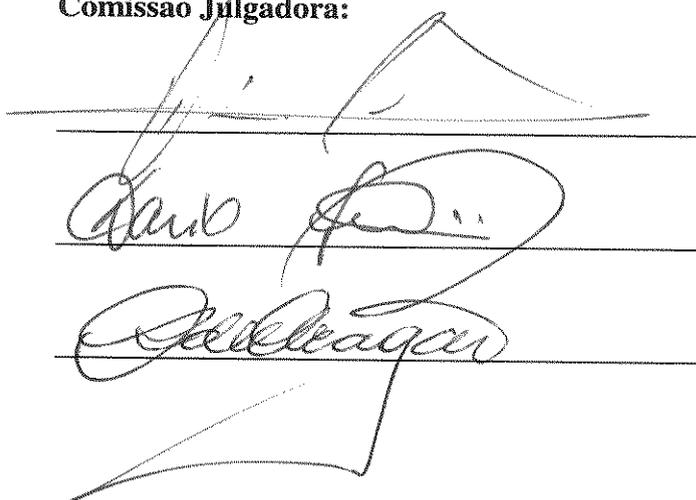
Orientador : Rosália Maria Ribeiro de Aragão.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação.

1. Ciências - Estudo e ensino. 2. Ensino – Aprendizagem. 3. Professores – Formação. 4. Ciências – Currículos. 5. Interdisciplinaridade. I. Aragão, Rosália Maria Ribeiro de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.

Dissertação apresentada, como exigência parcial para
obtenção do Título de **MESTRE EM EDUCAÇÃO**, na
Área de Concentração **METODOLOGIA DE ENSINO**, à
Comissão Julgadora da Faculdade de Educação da
Universidade Estadual de Campinas, sob a orientação da
Profª. Drª. **ROSÁLIA MARIA RIBEIRO DE ARAGÃO**.

Comissão Julgadora:



The image shows four handwritten signatures on a background of horizontal lines. The signatures are written in black ink and are somewhat stylized. The first signature is at the top, followed by three more below it. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page.

Ao sempre companheiro, Benjamim, pelo incentivo constante, colaboração (a)efetiva e confiança em mim e na vida. Ao Carlos Frederico, nosso filho mais que querido, cuja chegada nos presenteou com nova vida, novos planos... Ao Hugo Thomás, nosso filho que chega em breve, para quem as dimensões do útero se confundem e transcendem o próprio mundo. Vocês nos fazem dar o melhor de nós e mostram mesmo que tamanho não é documento.

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos sinceros à professora *Rosália Maria Ribeiro de Aragão*, por ter me orientado de maneira atenciosa e competente ao longo do desenvolvimento desta dissertação e pelo entusiasmo que manifesta e nos contagia quando conta ou ouve episódios que envolvem as idéias dos alunos.

Aos professores *Roseli Schnetzler e Hilário Fracalanza*, pelas ricas sugestões proporcionadas durante o exame de qualificação. Ao professor Hilário agradeço também pelo empréstimo do exemplar do Projeto Nuffield sobre Forma e Função, que contribuiu para enriquecer o resgate histórico sobre a abordagem escolar do tema.

Aos *amigos do NEC/UFJF*, aos quais eu me enredei ao longo dos últimos 12 anos, sendo por eles tecida e ajudando a tecer uma proposta de ensino baseada na idéia de interdisciplinaridade.

À professora *Maria Alice Grou*, pelo empréstimo dos vídeos educativos “Observando a Natureza” e “Pela Trilha de Arquimedes”, de cuja produção participou.

À *Comissão Executiva do Vestibular da UFJF*, por ter autorizado meu acesso às provas dos candidatos aos cursos da área de Saúde do Vestibular de 1993, para análise de suas respostas a uma questão envolvendo o tema desta dissertação.

Aos *professores do Departamento de MTE/UFJF*, pela preocupação e estímulo constantes em relação à conclusão deste trabalho.

À amiga *Sylvia*, que comigo compartilhou um pequeno apartamento em Campinas, além de idéias, ansiedades e expectativas, e também pelo muito que me ensinou sobre o que significa amizade.

Ao sempre amigo e competente professor de Biologia *Wander*, pelo carinho, estímulo e compreensão que sempre me proporcionou e pelas contribuições e indicações bibliográficas fornecidas durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos *Luiz Otávio, Aquiles e Venceslau*, pelas sugestões proporcionadas ao longo de nosso convívio afetuoso e fraterno em Campinas.

Às amigas *Ednéa e Andréia*, pela colaboração através do árduo trabalho de transcrição de fitas-cassete.

Ao amigo e ecólogo *Filipe*, pelas valiosas indicações bibliográficas sobre as implicações biológicas do tamanho corporal.

À Associação Educacional UNYAHNA – Salvador/BA, pelo apoio e confiança em mim depositada.

Ao amigo e companheiro *Benjamim*, pela leitura cuidadosa de toda a dissertação, sugestões de alteração proporcionadas e contribuições nas áreas de Física e Química.

Aos *professores e alunos* que participaram espontaneamente da pesquisa desenvolvida, pela confiança, disposição e coragem de expressar suas idéias.

Aos *meus queridos pais*, pela sua sabedoria, que só a experiência de vida é capaz de proporcionar, e pelas renúncias que fizeram ao investirem no estudo das filhas.

SUMÁRIO

LISTA DE ANEXOS.....	ix
RESUMO.....	x
INTRODUÇÃO.....	1
1. Contextualização do Problema.....	4
2. Delimitação da Pesquisa - O Caminho Trilhado.....	6
CAPÍTULO I - RELAÇÕES ENTRE TAMANHO E VIDA - POR QUE ABORDÁ-LAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA?.....	12
CAPÍTULO II - SERES VIVOS: SEUS TAMANHOS, FORMAS E COMPORTAMENTOS - CONCEPÇÕES CIENTÍFICAS.....	27
CAPÍTULO III - RELAÇÕES ENTRE TAMANHO E VIDA - AS TENDÊNCIAS DE PENSAMENTO DE PROFESSORES E ALUNOS.....	70
3.1. As Idéias dos Alunos sobre as Relações entre Tamanho e Vida.....	70
3.2. Confrontando as Tendências de Pensamento de Professores e Alunos sobre as Relações entre Tamanho e Vida.....	96
CAPÍTULO IV - SUBSÍDIOS NORTEADORES PARA A ABORDAGEM DAS RELAÇÕES ENTRE TAMANHO E VIDA NO ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA.....	131
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	175
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	177
ANEXOS.....	183

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1** - Questionário respondido por alunos dos três níveis de ensino sobre situações envolvendo as relações entre Tamanho e Vida.
- Anexo 2** - Exemplos de figuras utilizadas durante a aplicação dos questionários e a realização das entrevistas com alunos dos três níveis de ensino.
- Anexo 3** - Histórias infantis desencadeadoras da explicitação de idéias pelos alunos da 2ª série do ensino fundamental.
- Anexo 4** - Filmes e livros que envolvem aumento ou redução de dimensões, citados pelos alunos dos três níveis de ensino.
- Anexo 5** - Exemplo de quadro sintetizador das idéias dos alunos.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo evidenciar a relevância do tratamento escolar das relações entre Tamanho e Vida, ressaltando, para esta finalidade, três aspectos: a) a riqueza e a natureza unificadora do conhecimento científico sobre o tema, que pode contribuir para a ruptura com o ensino fragmentado e descritivo dos seres vivos; b) a constatação, através de pesquisa das tendências de pensamento de professores e alunos de três níveis escolares, de que há obstáculos conceituais e epistemológicos à sua aprendizagem, desconsiderados até mesmo na formação de professores, o que pode gerar resistências à sua introdução nos currículos, e c) a diversidade de possibilidades de problematização e de abordagem do tema elencadas, que podem possibilitar a superação progressiva de tais obstáculos e, portanto, a aprendizagem efetiva de conhecimentos científicos de diferentes campos conceituais, de forma contextualizada, interdisciplinar e investigativa.

Dentre os obstáculos à aprendizagem do tema destacam-se a tendência entre professores e alunos a transporem para outras dimensões aspectos de nossa percepção imediata, especialmente em situações que envolvem redução de tamanho, desconsiderando problemas de escala, e a dificuldade de imaginar situações não experienciadas.

O interesse por investigar o tema resultou do reconhecimento de que eu, como professora de Ciências, não tinha elementos conceituais e metodológicos para abordá-lo com segurança em minhas aulas, apesar de considerá-lo relevante, instigante e desafiador. Portanto, tive como principal pressuposto para o desenvolvimento desta pesquisa a concepção de que não só os alunos, mas também os professores, são sujeitos de aprendizagem, de forma que os processos de inovação curricular têm que envolvê-los, seja buscando compreender suas dificuldades e lhes fornecendo subsídios no sentido de construir alternativas para superá-las, seja inserindo-os diretamente na pesquisa dos problemas de ensino-aprendizagem de Ciências que encontram em sua prática docente.

INTRODUÇÃO

Este trabalho é fruto da inquietação reiterada que tenho tido, desde que iniciei minha formação escolar básica, com a abordagem eminentemente descritiva e compartimentalizada do conhecimento biológico.

A percepção difusa de que "alguma coisa estava errada" e de que "talvez as coisas pudessem ser diferentes" manteve-se, posteriormente, durante a maior parte de minha formação profissional na Universidade Federal de Juiz de Fora, só tomando contornos mais nítidos quando adquiri uma visão mais abrangente e unificada da Biologia, decorrente do contato, embora breve, com áreas conceituais que promoviam uma unificação do conhecimento¹.

O início de minha atuação docente foi marcada, como consequência da visão cumulativa do conhecimento adquirida durante minha formação profissional, por um sentimento de impotência para promover um ensino que oportunizasse a busca de relações entre os fenômenos e a interpretação dos fatos tendo como referencial generalizações teóricas. A constatação de que os livros didáticos, as propostas curriculares e a prática dos demais professores não poderiam dar-me suporte nesta tarefa, por também priorizarem uma abordagem descritiva no ensino e não vislumbrarem possibilidade ou até mesmo necessidade de mudança, conduziu-me ao interesse por compreender o papel que desempenham as teorias na Biologia e como elas se articulam com outros campos conceituais.

Minha participação em um Programa de Estágios para acadêmicos na área de Educação e, posteriormente, como professora de 1º e 2º graus no Núcleo de Educação em Ciência (NEC) da Faculdade de Educação/Centro Pedagógico da UFJF (1986-1991), onde atuava como membro de uma equipe multidisciplinar na elaboração de materiais didáticos e docência em cursos para professores, oportunizou o desenvolvimento de tais estudos em um ambiente acadêmico com exigências de coerência e comprometimento com um projeto coletivo. Foi no contexto dos estudos desencadeados pelas atividades do NEC que surgiu meu interesse pelas **Relações entre Tamanho e Vida**.

¹. A ênfase nos aspectos descritivos do conhecimento biológico manifesta-se na própria organização curricular do Curso de Ciências Biológicas da UFJF: aos aspectos mais unificadores do conhecimento (ecologia, evolução, etc.) é atribuído um número restrito de créditos e estes são concentrados nos últimos períodos.

A relevância da abordagem do tema Tamanho e Vida no ensino de Ciências e Biologia foi se tornando mais clara para mim à medida em que passei a compreendê-la melhor. Considero que seu estudo se justifica pois permite compreender que a Biologia é uma ciência que procede pela enunciação, desenvolvimento e aplicação de teorias e que não se restringe a *nomear, descrever e classificar* os fatos; envolve a articulação de diferentes campos conceituais (Biologia, Física, Química, Matemática, etc.); requer a aplicação de conceitos e operações mentais compatíveis com aqueles abordados comumente no ensino de Ciências e Biologia; e, finalmente, evidencia a descontinuidade existente entre o conhecimento imediato, derivado do senso comum, e o conhecimento científico, assim como a descontinuidade entre as teorias e métodos da ciência do ponto de vista histórico.

A tentativa inicial de proceder ao estudo de como o tema pode ser abordado no contexto escolar deu-se em 1990, correspondendo a uma das atividades por mim desenvolvidas no NEC. Envolveu a pesquisa sobre o nível de desenvolvimento mental dos alunos em relação às noções de área, volume, compensação e proporcionalidade, tendo como referência conhecimentos derivados da Psicologia Genética de Jean Piaget². Com base em tais conhecimentos, julgamos que a construção de significados acerca das Relações entre Tamanho e Vida demandaria o desenvolvimento prévio de tais noções.

Estes estudos, embora tenham possibilitado que eu compreendesse como a teoria construtivista piagetiana concebe a elaboração das operações mentais envolvidas na compreensão das Relações entre Tamanho e Vida³, pouco contribuíram para o planejamento de situações de ensino-aprendizagem sobre o tema, uma vez que tal teoria não fornece referências sobre a elaboração de estruturas lógicas em campos conceituais e contextos específicos, priorizando a forma e não o conteúdo do pensamento da criança; subordina a aprendizagem de novos conceitos às estruturas lógicas de pensamento; e, manifesta uma

². Foram utilizadas as seguintes obras como referência:

- . CARRAHER, T. N. *O método clínico: Usando os exames de Piaget*. São Paulo : Cortez, 1989.
- . DOLLE, J. M. *Para compreender Jean Piaget*. Rio de Janeiro : Guanabara, 1987.
- . GOULARD, I. B. *Piaget. Experiências básicas para utilização pelo professor*. 6. ed. Petrópolis : Vozes, 1990.
- . LOVELL, K. *O desenvolvimento dos conceitos matemáticos e científicos na criança*. Porto Alegre : Artes Médicas, 1988.
- . PIAGET, J. & INHELDER, B. *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança*. 2. ed. Rio de Janeiro : Zahar, 1975.

³. De acordo com a perspectiva psicogenética piagetiana, a operação lógica de compensação, através da qual busca-se restabelecer o equilíbrio de um sistema devido à modificação de uma variável por meio da modificação de uma outra variável do próprio sistema ou de uma variável diferente de outro sistema, é essencialmente qualitativa (não envolve relações métricas ou numéricas). Ela antecede a operação lógica de razão-proporção que envolve a construção de relações métricas que permitem descrever matematicamente mudanças de proporção nas

indefinição em relação ao papel do professor ao atribuir uma autonomia ao aluno na construção do conhecimento.

A pesquisa então empreendida sobre o nível de desenvolvimento dos alunos acerca das noções de área e volume e das operações mentais de compensação e proporcionalidade partia do pressuposto ideal, derivado das teses piagetianas, de que é necessário diagnosticar a presença das operações mentais (gerais e aplicáveis a qualquer conteúdo) **antes** de se apresentar problemas que requeiram seu uso.

As dificuldades encontradas na elaboração de atividades de ensino sobre as Relações entre Tamanho e Vida, que considero derivadas do próprio referencial teórico adotado, geraram uma profunda *insatisfação* em relação a ele e a necessidade de substituí-lo por outro mais *plausível* e, principalmente, mais *frutífero*.

Ao estudar, durante o Curso de Mestrado, as principais tendências de pesquisa em educação em ciência e, em especial, o Modelo de Mudança Conceitual, percebi que as limitações metodológicas até então encontradas poderiam ser superadas caso o utilizasse como referencial de pesquisa. Além disso, julguei-o, ao mesmo tempo, bastante plausível por ter coerência com as concepções epistemológicas descontínuas da construção dos conceitos científicos que há certo tempo vinham me interessando, porém sem que eu percebesse a possibilidade de utilizá-las como referencial para o planejamento de situações de ensino-aprendizagem.

O Modelo de Mudança Conceitual envolve a proposição de intervenções metodológicas que têm como referência as concepções alternativas dos alunos. Em consonância com Santos (1991), concebemos como relevantes para o ensino do tema Tamanho e Vida, as concepções espontâneas dos alunos, ou seja, aquelas que resultam da "*apreensão sensível, intuitiva e imediata do objeto pelo sujeito e, portanto, independente e anterior a quaisquer aquisições escolares*", envolvendo raciocínios que levam "*a uma resposta rápida, não-refletida, considerada como evidente e cujas justificações são relativamente pouco explicitadas*" (VIENNOT, citado por SANTOS, 1991, p. 21) e que, freqüentemente, são obstáculos à apropriação dos conceitos científicos na escola.

Inicialmente, as pesquisas referentes às concepções alternativas voltavam-se exclusivamente para a identificação das idéias e crenças com as quais os alunos chegam à instrução formal. Em seguida, passaram a envolver seu diagnóstico antes, durante e após o

variáveis. Estas duas operações são características do estágio de operações formais (a partir de aproximadamente 12 anos) (DOLLE, 1987; GOULARD, 1990).

ensino formal. A tendência mais recente é a elaboração de propostas didáticas que favoreçam a mudança conceitual (SANTOS, 1991).

Na Biologia, as pesquisas sobre as concepções alternativas foram desenvolvidas ao longo dos dezoito últimos anos sendo, portanto, relativamente recentes⁴. A maioria delas prioriza a análise das relações teleológicas e antropomórficas estabelecidas pelos alunos, sendo que a tendência é de não se verificar *a priori* a correção do conteúdo do pensamento dos alunos, mas compreender a lógica própria deste pensamento (SANTOS, 1991).

1. Contextualização do Problema

As pesquisas recentes sobre o processo de elaboração conceitual têm se detido na análise das concepções prévias dos alunos e referindo-se a elas como obstáculos à concretização de tal elaboração. Em face da não-identificação na literatura específica referente às concepções alternativas (PFUNDT & DUIT, 1991) e ao Modelo de Mudança Conceitual de pesquisas voltadas para a compreensão das idéias de alunos sobre as relações entre Tamanho e Vida; da abordagem deste tema de forma sistemática no ensino de Ciências e Biologia não ser usual; e, ainda, da lacuna existente no que se refere a pesquisas sobre as concepções dos professores sobre domínios conceituais específicos, optei por proceder ao estudo descritivo não só das idéias dos alunos, mas também da "ciência do professor" sobre as relações entre Tamanho e Vida como condição prévia à elaboração de propostas didáticas.

A lacuna existente na compreensão das idéias dos professores deve-se talvez à pressuposição tácita de que elas são coincidentes com as concepções científicas, tendo em vista o prolongado período de estudos acadêmicos vivenciado nos cursos de formação. A atitude verbalista assumida nestes cursos e reproduzida pelos professores na sua prática docente contribui para mascarar a persistência de suas concepções alternativas (SANTOS, 1991; CHAVES, 1993).

O conteúdo e os processos de pensamento dos alunos foram diagnosticados por meio de questionários e entrevistas abordando questões que evocam situações reais ou

⁴.As temáticas concentram-se nos seguintes tópicos curriculares: *vida, célula, genética, evolução, hereditariedade, ecossistemas, cadeias alimentares, animais, digestão, respiração, excreção, reprodução, corpo humano, plantas e fotossíntese.*

imaginárias sobre o tema Tamanho e Vida e, posteriormente, interpretados em termos de tendências de pensamento.

Foram consideradas as divergências existentes entre a natureza das concepções alternativas e das científicas ao analisar as idéias dos alunos em termos de tendências de pensamento. As **concepções alternativas**, por um lado, têm referência numa lógica de atributos; podem ser explicações intuitivas/pessoais, no sentido de terem sido elaboradas de modo espontâneo na interação cotidiana com o mundo; têm capacidade preditiva limitada aos fenômenos observáveis; envolvem relações causais lineares; correspondem a explicações egocêntricas, pragmáticas e antropomórficas; têm caráter implícito, surgindo em atividades ou predições; e, finalmente, manifestam-se por meio da linguagem do dia-a-dia. As **concepções científicas**, por outro lado, baseiam-se numa lógica de relações; são construções sociais; permitem predições de eventos que ultrapassam nossa capacidade de observação imediata; participam de complexas redes de relações causais; envolvem uma objetivação crescente; têm caráter explícito; e, finalmente, são elaboradas em linguagens específicas (SANTOS, 1991; POZO et al., 1991).

Há evidências de que as interpretações ou modelos que os alunos elaboram sobre os fenômenos e objetos naturais mantêm-se inalterados mesmo após a instrução escolar - o que evidencia sua enorme estabilidade e resistência à mudança - especialmente quando os novos conhecimentos a aprender são apresentados pelo professor de uma forma "*fossilizada*" e sem interação com os conhecimentos prévios dos alunos (DRIVER, 1989; SCHNETZLER, 1993).

Assim, o emprego das concepções científicas pelos alunos em situações formais de ensino, que parecia corresponder a uma manifestação precisa, rápida e objetiva da aprendizagem, tem sido questionado. A concepção científica pode ser inteligível, mas não é vista como plausível e/ou frutífera pelos alunos, sendo por isso usada apenas para fins escolares (POZO et al., 1991).

A pesquisa sobre as concepções alternativas dos professores envolveu a apresentação a eles de quadros que sintetizavam as tendências de pensamento dos alunos e subsequente solicitação de que emitissem opiniões sobre elas e levantassem hipóteses sobre os obstáculos que dificultam seu progresso. Esta estratégia buscou evitar o constrangimento que poderia ser gerado por situações que envolvessem questionamento direto sobre o conteúdo e forma do pensamento dos professores.

A "ciência do professor" atua com frequência como agente reforçador ou até mesmo desencadeador das concepções alternativas dos alunos pois "*além de não coincidir com a 'ciência do aluno', frequentemente não coincide com a ciência aceita pela comunidade científica - 'ciência do cientista' "*" (SANTOS, 1991, p. 43). Porém, poucos estudos empíricos têm sido desenvolvidos nesta área e se restringem, em geral, à investigação das concepções dos professores sobre a natureza do conhecimento científico e sobre suas atitudes em relação à ciência (SANTOS, 1991; ARAGÃO, 1993).

O convencimento de que as concepções alternativas dos professores interferem no processo de aprendizagem do conhecimento científico e de que devem ser superadas para que o professor exerça seu papel de mediador, ajustando suas intervenções ao processo de construção de conhecimentos pelos alunos, sem que seja mais um elemento que obstaculariza a aquisição por eles de níveis conceituais mais abstratos e formais, foi a minha principal motivação ao investigar como professores de Ciências e Biologia interpretam eventos que envolvem as relações entre Tamanho e Vida.

A idealização do professor como sendo portador do saber e a apresentação da problemática da relação entre conhecimento cotidiano e conhecimento científico somente tendo por referência o aluno são concepções que, segundo Torres (1994), impedem que o professor reconheça a possibilidade e a necessidade de assumir seu próprio aprendizado.

A constatação de que a abordagem dos fenômenos ligados às relações entre Tamanho e Vida nos cursos de formação de professores é rara e pontual sugere que é provável a persistência das concepções prévias dos professores sobre o tema. Sugere também a necessidade de que sua relevância seja percebida pelos docentes atuantes em cursos de formação de professores e não só pelos professores de Ciências e Biologia dos ensinos fundamental e médio.

2. Delimitação da Pesquisa - O Caminho Trilhado

A exposição inicia-se com a discussão, no Capítulo I "*Relações entre Tamanho e Vida - Por Que Abordá-las no Ensino de Ciências e Biologia?*", sobre como tem sido apresentado o tema Seres Vivos no ensino de Ciências e Biologia: preso à internalização de informações, na maioria das vezes veiculadas pelos livros didáticos, desprezando o estabelecimento de relações compreensivas pelos alunos. Abordamos, ainda, a necessidade de

se superar o ensino descritivo, fragmentado e alienante dos seres vivos pela busca de **padrões** na diversidade de formas e comportamentos.

São formuladas algumas hipóteses prévias sobre as concepções de estudantes sobre fenômenos que envolvem as Relações entre Tamanho e Vida, que contribuem para realçar a necessidade de abordagem escolar do tema. Estas hipóteses resultaram: a) do trabalho *"Sobre Ser Grande e Ser Pequeno" - As Idéias de Estudantes de Dois Graus de Ensino*, que teve como sujeitos alunos de 6ª série do ensino fundamental e alunos do último período do Curso de Ciências Biológicas da UFJF; b) da análise de respostas dos candidatos a uma questão do Vestibular da UFJF/1993, relacionada com o tema deste trabalho; e, finalmente, c) de conclusões de pesquisas precedentes sobre temas biológicos. Estes estudos preliminares contribuíram para a delimitação da pesquisa de campo desenvolvida que resultou nesta dissertação.

O Capítulo II, *"Seres Vivos: Seus Tamanhos, Formas e Comportamentos - Concepções Científicas"*, busca evidenciar, através da abordagem do tema sob a ótica científica, a baixa plausibilidade de situações apresentadas em obras de ficção científica. O tratamento especial atribuído aos aspectos históricos da construção do conhecimento científico sobre as Relações entre Tamanho e Vida deve-se à necessidade de evidenciar a descontinuidade da construção do conhecimento sobre o tema e o papel das teorias na Biologia. Este segmento do trabalho justifica-se pela inexistência de obras científicas nacionais que tratam especificamente sobre o tema e pela carência e dispersão das informações nas demais.

No capítulo subsequente, *"Relações entre Tamanho e Vida - As Tendências de Pensamento de Professores e Alunos"*, são apresentados os resultados da pesquisa propriamente dita, que correspondeu ao diagnóstico e categorização das concepções e formas de raciocínio empregados por alunos de três níveis de ensino, ao analisarem fenômenos envolvendo as Relações entre Tamanho e Vida e, ainda, ao confronto de seus professores com estas concepções.

Foram adotados como referenciais metodológicos para a pesquisa os princípios e pressupostos da pesquisa qualitativa, tendência recente na pesquisa educacional que busca elaborar um novo tipo de conhecimento sobre a realidade escolar, diferente daquele proveniente de estudos segundo a perspectiva positivista de investigação, cuja preocupação básica é a quantificação de resultados empíricos. A ênfase desta nova corrente é a busca de **compreensão** dos processos que constituem o cotidiano escolar e, especialmente, daqueles

que se vinculam à atuação docente, partindo da premissa de que sua descrição abstrata e formal impede que sejam compreendidas as suas dimensões contraditórias, a sua dinamicidade e sua historicidade (EZPELETA & ROCKWELL, 1989; MONTEIRO, 1991; AZANHA, 1992; ANDRÉ, 1993).

Segundo Triviños (1987), o modelo experimental imposto até recentemente às ciências humanas *"terminava a análise das realidades precisamente no ponto onde devia começar"* (p. 31), pois sua preocupação era apenas estabelecer relações entre os "dados".

Por outro lado, a pesquisa qualitativa busca, através de processos indutivos, apreender **relações que revelem significados**, partindo de dados descritivos obtidos na convivência do pesquisador com a situação estudada; enfatiza mais o processo do que o produto; se preocupa em retratar a perspectiva dos participantes. (BOGDAN & BIKLEN, citados por LUDKE & ANDRÉ, 1986).

A adoção de uma metodologia de cunho qualitativo deve-se ainda à sua adequação, segundo Woods (1987), para a pesquisa do impacto da introdução em um grupo da abordagem de um determinado tema. Neste sentido, o que se pretende não é rotular professores e alunos segundo o seu domínio de conhecimentos específicos sobre o tema Tamanho e Vida mas sim compreender até que ponto o professor é um fator limitante à perspectiva de inovação no ensino de Ciências e Biologia no que se refere à abordagem deste assunto.

A pesquisa das concepções dos alunos acerca das relações existentes entre o Tamanho e a Vida foi realizada em duas etapas. A primeira delas envolveu a aplicação de atividades em turmas dos três níveis de ensino envolvidos (uma turma da 2ª série do ensino fundamental, uma turma da 6ª série do ensino fundamental e uma turma da 2ª série do ensino médio) de escolas públicas (as duas primeiras) e particular (a última) de Juiz de Fora, no decorrer de três aulas consecutivas. As questões, envolvendo as Relações entre Tamanho e Vida, solicitavam a explicação de fenômenos, a predição de eventos e a discussão da plausibilidade de situações apresentadas na literatura infantil e em filmes de ficção científica. Algumas questões propostas para as três turmas foram diferenciadas em termos de conteúdo e formulação, buscando uma adequação às idades dos alunos, porém todas elas deram ênfase a aspectos qualitativos envolvidos nas relações entre Tamanho e Vida.

A segunda etapa objetivou o aprofundamento das idéias diagnosticadas e a explicitação de aspectos que nelas ficaram obscuros, numa tentativa de suprir a limitação do emprego do questionário na detecção do movimento das idéias dos alunos e das interrelações

que estabelecem entre as respostas fornecidas às diversas questões. Consistiu na realização de entrevistas com seis alunos de cada turma, sendo que cada uma delas teve uma duração de aproximadamente 45 minutos. Os alunos foram selecionados com base em uma combinação de critérios que envolviam sua *disposição, descontração, envolvimento nas atividades de classe, frequência à aula no dia especificado para a entrevista* e, principalmente, o *nível de complexidade das respostas* fornecidas às perguntas do questionário.

A intenção inicial era utilizar como critério o *conteúdo das concepções dos alunos e suas estratégias de pensamento*, porém o grande número de questões formuladas e a intensa diversidade de respostas impossibilitaram este procedimento.

As entrevistas foram gravadas em fitas-cassete e, posteriormente, transcritas. Aspectos não-verbais da comunicação (gestos, mudanças de postura, expressões, entonações, hesitações, alterações de ritmo) foram registrados, através de notas durante e ao término das entrevistas, devido à sua utilidade na compreensão e validação dos dados fornecidos oralmente.

A categorização e análise das idéias dos alunos, coletadas através dos questionários e entrevistas, foram realizadas em termos de *tendências de pensamento*, o que requereu inúmeras leituras das respostas para que fossem detectadas regularidades e aspectos recorrentes que pudessem facilitar a interpretação.

Além da descrição das formas de raciocínio empregadas pelos alunos ao explicitarem suas idéias, este capítulo também é dedicado à análise das idéias e tendências de pensamento dos professores dos três níveis de ensino e ao seu confronto com aquelas expressas por seus alunos. Durante as entrevistas, o contato com as respostas dos alunos foi utilizado como desencadeador da explicitação das concepções dos professores. Esta etapa da pesquisa teve por finalidade perceber o impacto das concepções dos alunos sobre os professores. Suas apreciações das concepções expressas pelos alunos permitiram detectar o nível de conhecimento que possuem sobre as Relações entre Tamanho e Vida e fornecer-lhes subsídios sobre as idéias de seus alunos. Oportunizou, ainda, que os professores refletissem sobre a limitação do estudo descritivo dos seres vivos, alertando-os para a necessidade de buscarem alternativas teórico-metodológicas que permitissem uma abordagem mais abrangente e unificadora do tema.

Os professores, ao serem confrontados com as idéias de seus alunos, puderam reconhecer aspectos ineficientes de seu ensino e emitiram algumas opiniões sobre eles. A reflexão sobre sua atuação didática pode ter contribuído para que esses professores busquem

novas maneiras de ensinar-aprender que levem em conta as concepções prévias dos alunos. Essa mudança de perspectiva poderá contribuir para que seus alunos compreendam os fenômenos científicos mais efetivamente pois, segundo Ausubel, "*o mais importante fator isolado que influencia a aprendizagem é o que o aprendiz já sabe.*" (NOVAK, 1981, p. 9)

Essa pesquisa foi relevante para a obtenção de evidências sobre como o ensino tradicional tem exercido influência sobre as concepções dos alunos. Permitiu, ainda, a elaboração de inferências acerca do nível de capacitação obtido pelos professores para abordar o tema Seres Vivos durante os cursos de formação de professores. A visão compartimentalizada dos conhecimentos e a ênfase descritiva dos cursos formativos são aspectos que impedem os professores de transitar com segurança em temas em que há interfaces entre várias ciências e interrelações entre fenômenos.

Temos consciência de que as manifestações dos professores e alunos envolvidos na pesquisa foram inevitavelmente influenciadas pelo contexto em que as entrevistas foram realizadas. A compreensão destas manifestações requer que busquemos olhar as situações a partir do quadro referencial que orienta as análises e interpretações dos sujeitos envolvidos.

É importante esclarecer que esta descrição do caminho trilhado só pôde ser efetuada em retrospectiva, uma vez que, mantendo coerência com os princípios e pressupostos da pesquisa qualitativa, o caminho foi sendo construído no próprio processo de caminhar.

No último capítulo, são propostos "*Subsídios Norteadores para a Abordagem das Relações entre Tamanho e Vida no Ensino de Ciências e Biologia*", em termos de possibilidades de problematização e abordagem do tema, tendo como princípios: a) a concepção construtivista descontínuista da elaboração conceitual; b) a relevância das teorias para o avanço do conhecimento científico; c) a concepção da aprendizagem como resultante de um processo intersubjetivo de construção de significados; d) a visão de que o meio impõe limites mutáveis à vida, entre os quais esta se manifesta com notável diversidade e coerência interna; e) a necessidade de uma abordagem integrada do conhecimento (anatomia e fisiologia comparadas, evolução, ecologia, genética, embriologia, matemática, física, etc.); e, ainda, f) a ênfase na busca de explicações unificadores para as regularidades e dissonâncias existentes entre os seres vivos.

As "*Considerações Finais*" buscam vislumbrar algumas implicações que esta pesquisa pode ter na inovação curricular, na formação docente e no processo de ensino-aprendizagem de Ciências e Biologia, enfatizando a necessidade de nós professores mudarmos

nossa postura em relação ao conhecimento para que possamos incorporar no currículo temas que, sem romper com a existência das disciplinas, requerem que elas sejam ultrapassadas por uma abordagem integrada do conhecimento.

CAPÍTULO I

RELAÇÕES ENTRE TAMANHO E VIDA - POR QUE ABORDÁ-LAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA ?

"Quebre o padrão que liga os itens do aprendizado e você necessariamente destrói toda a qualidade." (BATESON, 1986, p. 16).

A exuberante diversidade de formas e tamanhos dos seres vivos é um fato que nos surpreende profundamente e justifica o enorme interesse que percebemos nos alunos quando este tema é abordado em situações regulares de ensino ou em conversas do dia-a-dia. No entanto, os currículos, "[...] *quando tratam da variedade das espécies, muito raramente dão a importância devida a este aspecto, concentrando-se em descrições morfofisiológicas dos vários grupos, sem estabelecer relações entre eles.*" (KRASILCHIK, 1988, p. 8). Sendo assim, "[...] *as Ciências têm sido ensinadas como uma coleção de fatos, descrição de fenômenos, enunciados de teorias a decorar.*" (KRASILCHIK, 1987, p. 52).

Desde o século XVII, iniciou-se, com Galileu, uma linha de pesquisa que se volta para a análise de questões referentes às relações existentes entre o tamanho e a diversidade de formas e comportamentos dos seres vivos. Por que esses conhecimentos não têm sido incorporados sistematicamente aos programas curriculares de Ciências e Biologia? Como nos alerta Haldane (1963), "*apesar de Galileu ter demonstrado o contrário a mais de três séculos, as pessoas ainda acreditam que, se uma pulga fosse tão grande quanto o homem, ela poderia saltar mil pés no ar.*" (p. 153).

Segundo Flannery (1989), o estudo do tamanho é um aspecto fascinante na Biologia que tem sido sistematicamente desconsiderado, sendo que a falta de atenção a ele talvez decorra das diferenças de tamanho serem tão óbvias.

O tamanho significa muito mais que um atributo trivial dos seres vivos: é um fator crucial que tem implicações em todos os níveis, desde as células até as populações. Os estudantes são freqüentemente fascinados por extremos - por dinossauros e por miniaturas. Nós podemos usar esse interesse natural para dirigir sua atenção para questões biológicas básicas. (FLANNERY, 1989, p. 125).

Considero que entre os fatores determinantes desta desatualização do ensino destacam-se a formação limitada que, em geral, os professores têm sobre tal conteúdo e a própria natureza dos livros didáticos, que restringem-se a uma abordagem descritiva em que o ser vivo é apresentado como um catálogo de órgãos definidos por funções individuais, de forma fria, estática, supostamente científica e, portanto, não sujeita a questionamentos.

O livro didático tem ocupado um papel central no ensino de Ciências e Biologia. Fracalanza et al. (1986), ao se referirem ao ensino de Ciências no ensino fundamental, afirmam que o livro didático é considerado, junto com o giz e o quadro-negro, um importante recurso para o processo de ensino-aprendizagem, sendo muitas vezes a única fonte bibliográfica de que dispõem professores e alunos. Estes autores constatam ainda que, com frequência, a prática pedagógica (definição de objetivos, conteúdos, atividades, avaliação, etc.) é determinada ou influenciada pelo livro didático utilizado, sem que o professor tenha uma postura crítica para escolher esse livro, não só em termos de correção de conteúdo, mas também no que se refere à sua proposta metodológica e suas bases filosóficas. Entre os fatores que podem determinar essa dificuldade de crítica, destaca-se, a meu ver, a deficiência da formação acadêmica.

Na organização curricular dos cursos de formação de professores predomina a abordagem dos conteúdos científicos. Apesar desta ênfase, a visão estática, dogmática, neutra e compartimentalizada que os licenciandos adquirem da ciência dificulta seu envolvimento em atividades de ensino inovadoras e impede que adquiram autonomia e iniciativa pessoal na organização das atividades de ensino.

No contexto das reformas educacionais implementadas no Brasil a partir da década de 60, atribuía-se uma centralidade aos métodos de ensino, que se manifestou na elaboração de roteiros metodológicos supostamente à prova do professor, visando obter resultados práticos imediatos (KRASILCHIK, 1987) e, mais recentemente, na produção de livros didáticos com o mesmo caráter, que têm contribuído para a padronização do ensino ao se converterem de *"auxiliar didático em ditador de planejamento"* (FRACALANZA et al., 1986, p. 18).

Pretto (1985), ao analisar como é apresentado o conhecimento científico em livros didáticos de 1ª à 4ª séries, fornece uma série de exemplos da visão antropocêntrica e utilitarista que veiculam. Além disso, neles *"a experiência é apresentada [...] como uma palavra de fé, sem nenhuma explicação dos modelos teóricos que estão por trás dela"*

(p. 86), a atividade científica é concebida como imparcial, totalmente desprovida de emoções e conflitos e isolada do contexto social. Este autor também alerta para a crescente compartimentalização do conhecimento, sugerindo que o professor deve procurar estabelecer relações entre sua disciplina e as demais.

A crítica à experimentação como critério de verdade também é feita por Alves (1996) quando ele analisa a natureza da atividade científica. Segundo este autor, os fundamentos da ciência moderna foram marcados pela crença positivista no poder da indução para termos acesso à verdade dos fatos. Esta crença foi marcada pela busca de uma linguagem que conferisse objetividade à ciência, de uma linguagem que *"dissesse apenas aquilo que os fatos autorizam"* (p. 137). Porém, segundo a concepção filosófica que predomina atualmente nos meios acadêmicos, a investigação científica vai além dos fatos pois estes *"[...] não se organizam em conceitos e teorias se simplesmente os contemplamos."* (MYRDAL, citado por ALVES, 1996, p. 127). Para compreendê-los, temos que recorrer à interpretação, um processo mental intersubjetivo e, portanto, inerentemente humano. Apesar desta mudança de perspectiva nos níveis filosófico e metodológico, a visão de ciência transmitida pelos livros didáticos é de uma atividade asséptica e restrita àqueles indivíduos especialmente dotados de certas qualidades que os diferenciam dos demais.

Reconhecendo o livro didático como ferramenta básica do ensino americano, Gould (1992) descreve uma pesquisa por ele realizada que envolveu a análise da abordagem da evolução dos seres vivos em livros didáticos de Biologia. Concluiu que estes têm sido ineficientes na transmissão de idéias inovadoras:

Quase todos os autores tratam dos mesmos temas, geralmente na mesma seqüência, e muitas vezes com ilustrações modificadas apenas o suficiente para evitar processos por plágio.[...] estão copiando material numa escala maciça e passando adiante para os estudantes uma versão impensada e quase xerocada cuja razão de ser perdeu-se há muito nas brumas do tempo. (p. 154).

Gould apresenta evidências de que os autores dos livros didáticos americanos fazem cópias de outros textos sem consultarem os originais, o que faz com que, progressivamente, os textos percam contato com a realidade. Essa *clonagem* dos livros didáticos é por ele atribuída não apenas à intensificação de sua comercialização, um processo em que as preocupações mercadológicas preponderam em relação às pedagógicas e culturais,

mas também ao fato de que muitos autores consideram mais fácil copiar que pensar por conta própria.

Gould manifesta preocupação, a meu ver procedente, quanto a esta degradação dos livros didáticos, quando afirma ficar imaginando *"o que a tradição dos livros didáticos, com suas intermináveis e irrefletidas cópias, tem feito para retardar a divulgação das idéias originais"* (p. 157) e diz acreditar que *"o bom ensino necessita de idéias novas e uma empolgação genuína, e que a cópia maquinal só pode indicar tédio e desleixo no exercício da profissão. Uma obra clonada a esmo não estimulará os estudantes, por mais bonitas que sejam as figuras"* (p.165).

No que se refere ao ensino de Ciências e Biologia em nosso país, os próprios professores reconhecem, com freqüência, que a maioria dos livros didáticos disponíveis mantêm uma mesma organização básica e parecem envolver processos de cópia. O que nos surpreende é que, mesmo estando conscientes desta deficiência dos livros didáticos, os professores mantêm seu ensino, em geral, limitado a eles.

Na década de 70, a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências - FUNBEC - adaptou para o contexto brasileiro o *Nuffield Science Teaching Project*, elaborado na década anterior pela Fundação Nuffield com o objetivo de contribuir para a renovação do currículo e dos métodos de ensino de Ciências, através da elaboração de materiais que auxiliassem os professores a apresentar a ciência de maneira dinâmica, interessante e acessível aos alunos. Sua adaptação foi uma tentativa de popularizar, dentre outros, o tema Forma e Função. Porém, a abordagem do tema tem sido, na maioria das vezes, desprezada ou, então, incorporada de maneira superficial aos materiais didáticos mais recentes.

Estas deficiências existentes no ensino de Ciências e Biologia, que se revelam na abordagem do tema Seres Vivos, têm sido objeto de minhas reflexões desde que iniciei minha atuação como professora de Ciências e Biologia. Estas reflexões intensificaram-se a partir da convivência com outros professores que compartilhavam percepções e dificuldades semelhantes às minhas quanto à abordagem do tema, e conduziram-me à convicção de que, ao ensiná-lo, deveríamos colocar os alunos em contato com evidências de regularidades e dissonâncias existentes na manifestação da vida relacionadas com o tamanho dos seres, e sugerir que eles elaborassem e testassem hipóteses para explicá-las. Este procedimento permitiria a compreensão do constante fluxo de transformações que ocorrem na natureza, a percepção dos limites de nossa imagem de mundo e a aquisição de uma visão mais abrangente

e unificada do conhecimento científico pelos alunos. Desta forma, eles desenvolveriam a sensibilidade estética em relação ao "padrão que liga".

E por que não perguntar, compartilhando da inquietação de Bateson (1986), "por que as escolas não ensinam quase nada sobre o padrão que liga? Será porque os professores sabem que levam consigo o beijo da morte que tornará sem graça tudo o que tocar, e assim estão sabiamente não desejosos de tocar ou ensinar qualquer coisa de real importância? Ou será que carregam o beijo da morte **porque** não ousam ensinar alguma coisa de real importância? O que há de errado com eles?" (p. 16).

Minhas reflexões mais recentes têm se voltado, em especial, para o modelo de ensino e de aprendizagem que predomina nas escolas, baseado na transmissão-recepção de informações, em que o aluno é tomado como tábula rasa. Sua ineficiência evidencia a necessidade de caminharmos em direção a uma nova perspectiva de ensino, em que a aprendizagem seja encarada como um processo interativo de construção/reconstrução de significados relativos aos conteúdos de aprendizagem por parte dos alunos, tendo como referência seus conhecimentos prévios. Trabalhar segundo este enfoque pressupõe:

a) o reconhecimento de que o processo de elaboração conceitual não é linear e instantâneo, mas que, pelo contrário, é permeado por múltiplas relações e demanda tempo. Deveríamos, portanto, renunciar à compulsão de *cumprir exhaustivamente os programas*, substituindo a abordagem de muitos conteúdos com superficialidade pela de poucos mas com **profundidade**, o que requer a seleção dos conceitos e noções científicas mais pertinentes, relevantes e prioritárias. (HARLEN, 1992; POZO et al., 1991; TORRES, 1994).

b) enriquecer a formação dos professores com uma dimensão epistemológica, que os leve a refletir sobre os aspectos conflitivos das relações ciência/tecnologia/sociedade; a reconhecer que a observação não é objetiva nem neutra já que é precedida e orientada por teorias cada vez mais profundas e sofisticadas à medida em que a ciência progride; a questionar a existência de um método científico geral e de validade universal capaz de conduzir a conhecimentos verdadeiros e cumulativos; a compreender que a construção do conhecimento científico é histórica, mas que não ocorre por justaposição de informações cada vez mais verdadeiras e sim de uma forma descontínua, através da superação de obstáculos e por meio de retificações sucessivas; e, ainda, a concluir que os conhecimentos científicos não são *descobertas* mas sim *construções*, com uma

dimensão histórica e intersubjetiva (NUSSBAUM, 1989; SANTOS, 1991; BONBASSARO, 1992; CARVALHO & PÉREZ, 1993; CHALMERS, 1993).

c) a organização de situações de ensino que oportunizem a interação entre as idéias, crenças e sistemas de valores sustentados pelos alunos em sua vivência cotidiana e que influenciam a sua percepção e interpretação dos fenômenos naturais, com as idéias científicas. Tal interação poderia oportunizar a relativização de pontos de vista. O contato dos alunos com as formas de ver e explicar, empregadas pela ciência, seria relevante para que eles percebessem que os conhecimentos cotidianos e científicos são de natureza diferente e válidos de acordo com o contexto. Permitiria ainda o abandono da visão do conhecimento científico como critério de verdade e o reconhecimento de que há uma diversidade de saberes, de leituras do mundo, que interagem na sala de aula e se enriquecem em um processo contínuo de ajuste e avanço cognitivo (ASTOLFI & DEVELAY, 1990; TORRES, 1994).

d) que o aprendizado de noções científicas não substitua a atividade imaginativa, a poesia, a fabulação, a magia, o prazer de inventar histórias... Mesmo havendo diferenças qualitativas entre arte e ciência na forma de abordagem do mundo, é possível aproximá-las pois ambas envolvem subjetividade, verdade, emoção, criação... e geram prazer estético.

e) conceber a avaliação como um *instrumento de aprendizagem e de melhoria do ensino*, e não como instrumento valorativo terminal, supostamente objetivo, para fins de seleção (CARVALHO & PÉREZ, 1993).

f) resgatar a relevância da intervenção pedagógica na aprendizagem escolar, concebendo as situações interativas como desencadeantes e constitutivas do processo de construção do conhecimento e o papel do professor como o de **mediador** entre os alunos e as concepções científicas (VYGOTSKY, 1989; OLIVEIRA, 1993). Neste sentido, a intervenção educativa do professor deve estar à frente do nível de competência efetiva dos alunos e orientar-se pelo *princípio de ajuste da ajuda pedagógica*, de forma deliberada e consciente, ao processo de construção do conhecimento pelos alunos, o que requer planejamentos curriculares abertos e flexíveis (COLL, 1991, 1992).

PESQUISAS PRECEDENTES SOBRE A APRENDIZAGEM DE TEMAS BIOLÓGICOS

A partir da leitura de uma série de artigos de pesquisa sobre concepções alternativas de alunos e professores sobre temas biológicos, constatamos que a ênfase das investigações tem recaído sobre a abordagem de aspectos descritivos dos seres vivos, sendo escassas aquelas que se dedicam ao estudo de temas que revelam a importância da interpretação teórica na elaboração conceitual. A abordagem das relações entre tamanho e vida poderia propiciar aos estudantes a possibilidade de compreenderem a natureza hipotético-dedutiva da Biologia.

A relevância de se apresentar o conhecimento biológico como derivado da proposição de modelos hipotéticos e prováveis de aspectos da realidade inacessíveis à experiência direta é ressaltada por Arcà & Guidini (1989). Segundo estes autores, a ciência tem construído modelos cada vez mais adequados para explicar e representar os aspectos mais complexos da realidade. Durante o seu desenvolvimento, também a criança constrói modelos progressivamente mais adequados para representar aspectos de sua experiência do mundo. Ela busca estabelecer conexões recíprocas entre as observações, noções e explicações adquiridas por meio de sua experiência cognitiva no meio natural e cultural, elaborando modelos explicativos cada vez mais inclusivos e preditivos.

A tarefa social de ensinar ciências às crianças consiste em estimular o desenvolvimento de atividades que envolvem a construção de modelos complexos e articulados a partir dos modelos simples. Tem, portanto, o objetivo de fazer com que os alunos passem gradualmente da **ingenuidade** dos modelos infantis à **complexidade** característica dos modelos científicos (POZO, citado por ARCÀ & GUIDINI, 1989).

A polissemia envolvida no uso do termo **teoria**, que, no contexto escolar, é muitas vezes apresentado com significados diversos como "conhecimento especulativo", "conhecimento derivado de processos indutivos", "dados factuais presentes nos livros didáticos", e não como "*uma construção intelectual que tenta descrever uma realidade observada e proporcionar modelos explicativos aproximados e úteis*", contribui para gerar a concepção de que a Biologia "*é uma ciência que acumula os fatos mais rapidamente que as teorias capazes de acomodá-los*" (BARBERÁ, 1992, p. 34). A abordagem predominantemente

descritiva do conhecimento biológico nos cursos de formação de professores reafirma tal concepção.

Storey (1990), ao analisar erros conceituais sobre a estrutura celular em livros didáticos de Biologia adotados em escolas secundárias americanas, constatou que estes não abordam os conceitos fundamentais relacionados aos limites do tamanho celular. Verificou que também não tratam da pressão seletiva que atuou na constituição dos organismos eucarióticos grandes por células eucarióticas numerosas e pequenas. Nem mesmo tratam dos problemas de escala envolvidos na evolução de organismos pluricelulares.

Caballer & Giménez (1992), ao estudarem as idéias espontâneas de alunos de diferentes níveis educativos sobre o **conceito de pluricelularidade**, constataram um baixo nível de aprendizagem escolar, apesar de ser um assunto tratado durante os ensinamentos primário e secundário e na formação de professores. A aprendizagem deste conceito é importante para a compreensão das relações entre Tamanho e Vida pois ele envolve as noções de que: a) os seres vivos são compostos por células que, além de serem unidades estruturais, são implicadas diretamente no metabolismo e b) o crescimento corporal se dá por proliferação celular.

Os autores argumentam que a persistência das concepções prévias de alunos de diferentes níveis educativos, mesmo após a instrução, decorre de um obstáculo epistemológico fundamental na compreensão da célula como unidade da vida: os alunos, especialmente os de níveis de instrução mais baixos, não compreendem como funcionam os organismos complexos em função de suas unidades elementares, uma vez que estas são vistas como peças de uma máquina, como ladrilhos de um edifício, e não como unidades funcionais coordenadas. Afirmam ainda que a aparente convicção de muitos alunos de que os seres vivos são constituídos por células é resultante da repetição reiterada desta idéia durante a instrução, sendo ela facilmente abalada quando são apresentados aos alunos casos concretos e problemáticos.

Benloch (1984) realizou um estudo que envolve a mesma temática e que evidenciou que alunos de 11-12 anos atribuem a propriedade da "vida" fundamentalmente aos animais grandes. Esta concepção apresenta-se como um obstáculo para que os alunos

estendam a noção de ser vivo aos organismos cuja aparência não coincide com as concepções que resultam da experiência cotidiana. Por outro lado, o mesmo estudo constatou que é freqüente a atribuição de propriedades e características próprias dos seres grandes (por exemplo, olhos, mãos, etc.) aos organismos pequenos e microscópicos, quando a noção de "vida" é aplicada a estes últimos.

Este estudo evidenciou ainda que a ausência de uma representação da célula como unidade funcional, por parte dos alunos, impede que eles forneçam uma explicação causal, cientificamente aceita, para a divisão celular e que concebam o crescimento corporal como dela decorrente. No caso dos alunos que concebem as células como unidades vivas, funcionais, é comum que elas sejam consideradas como independentes, não-solidárias de um sistema e, portanto, dotadas de autonomia e autosuficiência. Porém, mesmo entre estes alunos, também é freqüente explicarem o crescimento corporal pelo aumento do tamanho das células e não por sua reprodução.

SUSAL, D. W. & SUSAL, C. S. (1991) desenvolveram um estudo sobre concepções alternativas de crianças pequenas sobre o crescimento de árvores. Com base neste estudo, propuseram atividades de ensino com vistas a demonstrar similaridades e diferenças no crescimento das árvores em função de observações das seções transversais de troncos; determinar a idade das árvores em função do número de anéis de crescimento e estudar eventos que afetam tal crescimento, de forma a evidenciar a interdependência planta-meio ambiente. Embora seja solicitado aos alunos que observem plantas de diferentes tamanhos e descrevam as diferenças observadas, o objetivo é apenas de observar a alteração do diâmetro do tronco em função da altura da árvore, mas não verificar qualitativamente que o diâmetro é proporcionalmente maior nas árvores mais altas.

SONDAGENS PRELIMINARES SOBRE AS IDÉIAS DOS ALUNOS

Algumas sondagens prévias ao desenvolvimento da pesquisa contribuíram para evidenciar a importância da abordagem escolar das relações entre Tamanho e Vida. O trabalho **"Sobre Ser Grande e Ser Pequeno" - As Idéias de Estudantes de Dois Graus de Ensino** nos forneceu uma série de indicadores sobre a natureza e conteúdo das idéias de estudantes sobre o tema. Foi desenvolvido ao longo do primeiro semestre de 1992, como parte das atividades da disciplina *Tópicos Especiais em Ensino de Ciências* do Programa de Pós-Graduação em Educação da UNICAMP, envolvendo a pesquisa sobre as concepções de estudantes sobre o tema Tamanho e Vida, por meio de entrevistas com 2 alunos de 6ª série do ensino fundamental de uma escola particular de Juiz de Fora e 2 licenciandos do último período de Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora.

A opção por estudar as concepções de alunos destes dois níveis de ensino ligou-se ao interesse de se verificar como a instrução formal influencia suas idéias e de se buscar relacionar o ensino dos Seres Vivos no ensino fundamental com o nível de capacitação obtido para abordá-lo, pelo menos do ponto de vista conceitual, durante os cursos de formação de professores.

Durante as entrevistas os alunos foram solicitados a explicar fenômenos e prever eventos que envolvem a relação Área-Volume, sendo que suas concepções foram analisadas com base em diferentes visões existentes sobre a relação ser vivo-meio ambiente, que foram adotadas como categorias de análise.

Entre os alunos dos dois níveis de ensino foram freqüentes concepções que desconsideram a idéia de que o meio ambiente e a necessidade de manutenção da coerência interna dos organismos impõem limites ao seu tamanho.

A análise das respostas fornecidas pelos alunos do ensino fundamental revelou que a instrução formal não tem favorecido o avanço do conhecimento e sua relativização, uma vez que: a) persistem entre eles concepções dogmáticas e não-científicas como, por exemplo, a de que os seres vivos surgiram por criação especial, sendo que cada um teria um *tamanho certo*; b) manifestaram a idéia de que a *necessidade* dos seres vivos de realizarem certas atividades levaria à aquisição de atributos e comportamentos; c) concebem que há um determinismo ambiental do que é evolutivamente viável; d) tenderam a considerar, com maior freqüência, que não há limites ao tamanho corporal decorrentes da necessidade de manutenção

da coerência interna e/ou de fatores ambientais ou, ainda, a afirmar que a diversidade funcional entre os organismos não tem relação com o tamanho corporal; e) são muito comuns entre eles concepções antropocêntricas que se referem à utilidade de animais para propósitos humanos ou que envolvem o ato psicológico de dotar outros seres com atributos humanos, sejam eles mentais como, por exemplo, a racionalidade e a intencionalidade, ou, então, físicos (antropomorfismo).

As concepções antropomórficas apresentam uma alta dose de significados ligados à imagem de mundo e às experiências pessoais. Estas transferências de atributos são bastante frequentes entre as crianças e correspondem, segundo a perspectiva descontinuísta de construção conceitual, utilizada como referencial nesta pesquisa, a obstáculos à aprendizagem científica embora, segundo outros autores, possam proporcionar *"uma maneira firme de criar entendimentos mais significativos"* (BLOOM, 1990, p. 560).

Entre os alunos do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, foram mais frequentes respostas que evidenciam a idéia de que o meio ambiente e a necessidade de manutenção da coerência interna do organismo impõem limites à manifestação da vida. Porém, mesmo neste nível de ensino, os alunos tiveram dificuldade de justificá-las.

Um aspecto interessante em relação aos alunos do ensino fundamental é que eles procuraram fazer associações com suas experiências e conhecimentos prévios. Já os alunos do Curso de Licenciatura, em geral, limitaram-se a dizer que não sabiam as respostas, atribuindo este desconhecimento às limitações de sua formação acadêmica.

Os alunos do ensino fundamental reconheceram, por exemplo, que a sustentação do corpo pelas patas ficaria prejudicada caso um animal pequeno adquirisse grandes dimensões, sendo que um deles forneceu a seguinte justificativa:

Entrevistador: *"Agora, vamos supor se um cachorro...ou o homem, crescesse muito... ficasse imenso. Você acha que as pernas dele iam agüentar o peso dele igualmente? Se tudo aumentasse por igual?"*

Aluno: *"Eu acho que não porque tem o caso daqueles que são... Já viu aqueles homens? que até... teve o caso de um cara que caiu no aeroporto, porque ele era grande demais...morreu!"*

E: *"Mas as pernas não iam crescer por igual?"*

A: *"Iam, então...Mas ficaria difícil de andar! Ficaria sem jeito. É isso aí."* (Lívia)

Em relação à mesma questão, o outro aluno apresentou uma justificativa intuitiva, próxima à científica, não empregando a linguagem matemática para expressar-se. Ele considerou que *as patas não teriam força por ficarem finas em relação ao corpo*.

E: *"Se uma pessoa ficar muito grande, se ela aumentar tudo do mesmo jeito, tudo igualzinho, você acha que as pernas dela iam agüentar o peso da pessoa?"*

A: "Não!"

E: "Por quê?"

A: "Porque a perna não ia ter a força. Ela ia ser alta, mas ela ia ser fina. Não ia conseguir equilibrar."

E: "Mas ela vai aumentar também, não? O corpo vai aumentar todo!"

[...]

A: "Não. Mesmo grande, o peso ia ser... mais alto assim e não consegue ter mais força...daí ele não ia agüentar o peso. Por isso que se... Ah! Um homem lá dos Estados Unidos tinha que usar bengala para... ele não conseguia ficar em pé, só com as pernas dele!" (Danilo)

Um raciocínio de natureza intuitiva também foi empregado quando um dos alunos do ensino fundamental explicou por que oito células pequenas (representadas, durante a entrevista, por oito cubos pequenos) realizam trocas com o meio extracelular com maior eficiência que uma célula grande (representada por um cubo grande) com volume correspondente ao da soma dos volumes das pequenas. Ele demonstrou que as oito células pequenas teriam proporcionalmente maior superfície em relação ao volume do que a célula grande unindo os oito cubos pequenos de forma a constituir um outro cubo grande e indicando que as superfícies dos cubos pequenos, voltadas para o meio, ou seja, não-expostas, foram aumentadas em relação ao cubo grande.

Estas entrevistas prévias indicaram a relevância de se apresentar aos alunos e professores, num primeiro momento, questões que envolvem uma reflexão qualitativa sobre fenômenos e situações imaginárias ligadas às relações entre Tamanho e Vida. A decisão de privilegiar uma abordagem qualitativa das questões partiu da constatação das dificuldades dos alunos para justificarem suas respostas e da percepção, evidenciada na pesquisa descrita a seguir, de que, quando solicitados a fornecer respostas quantitativas, estas revelam, freqüentemente, um operativismo mecânico e interpretações não-científicas de termos científicos.

Buscando compreender o *conteúdo das idéias e a linguagem e formas de raciocínio* que alunos egressos do ensino médio empregam ao analisarem situações que envolvem implicações do tamanho dos seres vivos, analisamos as respostas dadas por 20% dos candidatos (370) aos cursos da Área de Saúde (Farmácia e Bioquímica, Medicina, Enfermagem, Odontologia e Ciências Biológicas), a uma questão da prova discursiva de Física do Concurso Vestibular da UFJF/1993, que apresentou o seguinte enunciado:

O comprimento total do corpo de uma formiga é de 0,5 cm e suas patas têm resistência suficiente para sustentar o seu peso. A resistência das patas da formiga à compressão é diretamente proporcional à área de sua seção transversal. Suponha uma formiga gigante, com a mesma constituição biológica, mas com todas as medidas lineares 100 vezes maiores. Que tipo de problema ocorreria com essa formiga?

A maioria dos alunos (79,8%) concordou, aparentemente, com o enunciado da questão, uma vez que citaram possíveis problemas que uma formiga, com dimensões cem vezes maiores, enfrentaria. Porém, um grupo bastante significativo de alunos (14,9%) discordou desta idéia, afirmando que a formiga não vivenciaria nenhum problema. Alguns alunos (1%) deram respostas ambíguas, indicando que concebem que o aumento de dimensões não provocaria problemas, mas que buscaram atender à sugestão do enunciado de que "haveria algum problema". Os demais alunos (4,3%) deixaram a questão em branco.

O grupo de alunos que considerou que a formiga enfrentaria algum tipo de problema forneceu respostas diferenciadas: 263 (89,2%) respostas evidenciam que os alunos concebem que as patas não suportariam o peso do corpo, o que dificultaria a locomoção; 22 (7,4%) respostas foram contra-evidentes por envolverem a idéia de que as patas suportariam compressões ainda maiores, porque seria gerada uma "leveza" que facilitaria sair do solo ou que impossibilitaria a locomoção pela falta de atrito; 8 (2,7%) respostas fizeram referência a alterações em dimensões (área) ou propriedades (peso, resistência) e as 2 restantes (0,7%) referem-se a problemas mais amplos, não ligados à capacidade de sustentação das patas.

Um número expressivo de alunos (33,5%) procurou fornecer respostas quantitativas e/ou fazer referências a fórmulas matemáticas ou físicas, apesar do enunciado da questão não solicitar seu emprego. Porém, destes alunos, apenas 7,2% (correspondente a 2,4% do total de candidatos) fizeram referência à proporcionalidade existente entre área e volume.

Por exemplo:

"Suas patas não seriam capazes de resistir à compressão de seu corpo. Aumentando-se em 100 vezes todas as medidas lineares do seu corpo, a seção transversal (que aumenta "ao quadrado") de suas patas tornar-se-á 10.000 vezes maior e assim será capaz de resistir a uma compressão também 10.000 vezes maior. No entanto, o volume corporal (que cresce "ao cubo") e conseqüentemente o peso da formiga aumentará em 1.000.000 de vezes, muito além do que resistiriam suas patas."

Entre os alunos que forneceram respostas qualitativas à questão (62,2%), apenas 1,3% (correspondente a 0,8% do total de candidatos) se referiu explicitamente à proporção existente entre área e volume.

"As patas da formiga não conseguiriam sustentar o seu peso, porque, apesar de suas patas resistirem proporcionalmente à área de sua seção transversal, haverá um aumento muito grande de seu volume, o que causará um aumento grande na sua massa, conseqüentemente no seu peso."

Um número significativo de candidatos (cerca de 24,3% do total) forneceu respostas qualitativas e corretas à questão, embora tenham sido, provavelmente, de natureza intuitiva.

"As patas da formiga não mais agüentariam sustentar o seu peso, pois a resistência das patas da formiga à compressão é diretamente proporcional à área de sua seção transversal mas não é proporcional ao aumento do seu peso."

A não-solicitação, de forma explícita, no enunciado da questão de que os alunos fornecessem respostas quantitativas e empregassem fórmulas na resolução da questão e o uso subsequente deste critério na correção, evidenciado pelas notas obtidas pelos alunos na prova, parece ter prejudicado muitos candidatos. Ao considerarmos que tal enunciado não pedia nem mesmo que os alunos justificassem suas respostas, podemos concluir que as notas de diversos alunos deveriam ter sido superiores às conferidas pela banca corretora.

É importante esclarecer que o que questionamos não é o critério adotado para a correção das respostas, uma vez que neste nível de ensino é importante que os alunos empreguem raciocínio matemático formal e compreendam termos utilizados na linguagem científica. Nossa preocupação é com o fato do enunciado da questão não delimitar o nível de desempenho mínimo requerido para que os alunos acertassem a questão.

Um grande número de respostas fornecidas (17,8%) evidenciam, explicitamente, que os alunos interpretaram o enunciado da questão considerando que a resistência das patas à compressão estaria relacionada com a área de seção transversal **do corpo da formiga** e não delas próprias, o que pode decorrer da ambiguidade presente no

enunciado da questão. É provável que outros alunos tenham tido uma interpretação similar, sendo difícil detectar sua existência por suas respostas reproduzirem tal ambiguidade.

O uso da expressão "**dimensão linear**" foi interpretada por pelo menos 17,3% do total de candidatos como correspondendo exclusivamente ao **comprimento**, o que evidencia que o uso de termos científicos no enunciado da questão, embora possa ter sido intencional para que fosse também avaliado o conhecimento de conceitos matemáticos, dificultou a explicitação das concepções dos alunos sobre as relações entre Área e Volume. A resposta transcrita abaixo retrata estes dois tipos de interpretação:

"Pelo aumento LINEAR de 100 vezes na medida da formiga, esta sofreria um aumento do seu peso em aproximadamente 100 vezes. Como a resistência das patas da formiga é diretamente proporcional a área de sua secção transversal, e como o aumento linear não altera a área da secção transversal da formiga, esta formiga não teria condições de sustentar o seu peso."
(grifo nosso)

O baixo índice de respostas que revelam a compreensão pelos alunos da relação Área-Volume, da noção de proporcionalidade e de conceitos como *secção transversal* e *dimensão linear* evidencia que o acesso às concepções dos alunos sobre as relações entre Tamanho e Vida requer a formulação das questões numa linguagem habitual a eles, no sentido de evitar o desvio de sua atenção para símbolos distanciados da realidade imediata, aos quais não atribuem nenhum significado. Indica, ainda, a necessidade de se incorporar considerações de escala no ensino de Ciências e Biologia.

CAPÍTULO II

SERES VIVOS: SEUS TAMANHOS, FORMAS E COMPORTAMENTOS - CONCEPCÕES CIENTÍFICAS

2.1. DOIS DOMÍNIOS DA IMAGINAÇÃO: FICÇÃO E CIÊNCIA

*E de que tamanho será o pulo que elas dão? - quis saber Emília.
- Muito fácil fazer a conta - respondeu o Visconde pegando o lápis. - Pelo que você me diz, essa pulga tem o tamanho de uma anta [...] é duzentos milhões de vezes mais pesada que a pulga comum [...] poderá dar pulos de duzentos milhões de palmos, ou seja, quarenta e quatro mil quilômetros, ou mais de uma volta inteira ao redor da Terra!
- Que absurdo Visconde! O pulo não pode estar em relação com o peso. Por muito favor estará em relação com o tamanho.
- Neste caso - disse o Visconde - [...] a "nossa" pulga [...] pulará mil vezes mais do que a pulga comum. Pulará, portanto, mil palmos, ou seja, duzentos e vinte metros.
- Bem, isso já está mais razoável - disse Emília, concordando com a segunda matemática do Visconde. (LOBATO, 1992a, p. 71)*

O que sentiríamos se fôssemos maiores ou menores do que somos? Nossa fantasia, especialmente na infância, dá livre curso a este pensamento e a história da literatura é repleta de criações famosas, frutos dele (Alice no País das Maravilhas, Stuart Little, As Viagens de Gulliver, O Pequeno Polegar, A Reforma da Natureza, A Chave do Tamanho, A Metamorfose, etc.). Nestes livros, as personagens são ou se convertem em gigantes ou anões, que têm imensos poderes ou extraordinárias limitações, e protagonizam grandes aventuras.

Muitos filmes de ficção científica também envolvem situações imaginárias em que há alterações de tamanho. Em alguns deles, seres humanos adquirem tamanhos reduzidos (Viagem Fantástica; O Incrível Homem que Encolheu; Querida, Encolhi as Crianças, etc.). Em outros, aumentam de tamanho (Querida, Estiquei o Bebê, etc). Também são frequentes mudanças de dimensões processadas no curso de experimentos (A Mosca, etc.).

Asimov (1988) busca resgatar as principais produções de ficção científica do século XIX. Partindo da afirmação de que "*a verdadeira ficção científica lida com as ciências humanas, com o crescente avanço do conhecimento, com a contínua habilidade dos*

seres humanos em aumentar a compreensão que têm do universo e mesmo de alterar algumas partes dele para seu próprio conforto e sua própria segurança, por meio de suas idéias." (p. 8), o autor considera que o surgimento deste ramo da literatura, no século XIX, correspondeu a uma reação humana aos progressos alcançados pela ciência e pela tecnologia, desencadeados pela Revolução Industrial.

Na concepção de Asimov, a ficção científica não poderia ter surgido antes do século XIX porque foi somente a partir dessa época que as influências do avanço tecnológico passaram a ser percebidas no curso de uma vida humana e a ser atribuídas à racionalidade e criatividade humanas. Os autores passaram a escrever sobre este mundo sujeito a mudanças rápidas e buscavam prever ou simplesmente descrever de forma plausível as mudanças que julgavam iminentes e como elas afetariam a vida humana. Tendo como referência a definição de ficção científica dada por este autor, fica claro que muitas obras que são classificadas comumente neste ramo da literatura são na realidade obras que se limitam a expressar a fantasia. Elas não são admissíveis do ponto de vista científico.

A obra *Uma História de Gravidade Negativa* de autoria de Frank R. Stockton (1834-1902), incluída na coletânea organizada por Asimov, tem como tema central a invenção de um dispositivo capaz de neutralizar a força de gravidade e, conseqüentemente, de reduzir total ou parcialmente o peso de qualquer objeto ou ser. A abordagem desta temática evidencia a preocupação com os limites que a força da gravidade impõe aos seres vivos, especialmente aos de maior tamanho.

Tanto na literatura infantil, quanto nos filmes identificados comumente como sendo de ficção científica, o que freqüentemente se verifica é que, apesar das mudanças de dimensões, os seres mantêm-se inalterados quanto à sua morfologia e seus comportamentos. Os criadores destas obras "[...] não conseguem livrar-se dos preconceitos de sua percepção." (GOULD, 1987, p. 170).

Na ciência e especialmente na vida cotidiana é comum os aspectos mais evidentes de um fenômeno passarem despercebidos. No que se refere às dimensões, como cada espécie tende a alcançar apenas um tamanho, os motivos fundamentais deste tamanho e suas relações com aspectos fisiológicos, comportamentais e adaptativos são negligenciados (FOLEY, 1993).

Estudos sobre as representações imaginárias das mudanças de tamanho têm indicado que o nosso mundo perceptivo, a nossa realidade, não podem ser transferidos automaticamente para outros organismos, pois não são absolutos. São imagens condicionadas

por nossa evolução⁵ pois esta define limites precisos de nossa experiência do mundo. Assim, tudo "[...] o que nos parece realidade é uma construção da realidade condicionada por nós próprios." (POPPEL, 1975, p. 163). É nesse sentido que Aragão (1993) afirma que "concepções são uma pré-condição da experiência., [...] ver é algo que fazemos tanto com idéias quanto com sentidos" (p. 10).

Diversos autores aos quais atribuí-se a elaboração de perspectivas epistemológicas racionalistas sobre o processo de construção do conhecimento (Popper, Kuhn, Lakatos, Toulmin, Bachelard, etc.) buscam destacar as limitações e restrições de nossa percepção, alertando para a arbitrariedade em que incorremos ao tentarmos atribuir, por vias indutivas, uma significação fundamental às informações que recebemos do meio ambiente (CHALMERS, 1993).

Bachelard, por inserir-se numa perspectiva epistemológica racionalista descontínuista do processo de construção do conhecimento científico, considera que este "resulta da `retificação' de um conhecimento primeiro". Para este autor, "nós conhecemos contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal feitos, ultrapassando aquilo que, no nosso espírito, constitui um obstáculo à espiritualização." (BACHELARD, citado por SANTOS, 1991, p. 126).

Apesar de termos uma visão restrita da natureza, cheia de pré-concepções e "impressões primeiras", que se baseiam numa apreensão sensorial limitada e constituem obstáculos à construção do conhecimento, é importante que tomemos consciência desses limites e busquemos ampliar nossa experiência no mundo, nosso horizonte de pensamento e de percepção. Neste sentido, "[...] podemos utilizar os instrumentos da ciência para sentir e compreender aquilo que não podemos perceber diretamente" (GOULD, 1987, p. 351), pois, como afirma Jacob, "a investigação científica começa sempre pela invenção dum mundo possível, ou dum fragmento de mundo possível." (JACOB, citado por SANTOS, 1991, p. 47).

Os limites do conhecimento científico contemporâneo em relação às escalas extremas de tamanho permitem reconhecer, até o momento, 42 ordens de magnitude. As formas de vida mais conhecidas e os objetos que utilizamos situam-se próximos à escala de 1 metro, sendo que o domínio do que nos é familiar estende-se por 6 ordens de magnitude. Os instrumentos e inferências da ciência têm permitido ampliar nosso universo mental, tornando

⁵ Ao longo deste trabalho, o termo evolução é usado para designar "[...] a mudança nas propriedades das populações dos organismos que transcendem o período de vida de um único indivíduo" (FUTUYMA, 1992, p. 7), não se referindo, portanto, ao desenvolvimento ontogenético.

compreensíveis os domínios sensoriais que se afastam da percepção biológica imediata. Neste sentido, a ciência contemporânea promove o refinamento e convivência de modelos físicos alternativos aplicáveis a diferentes situações, como é o caso da teoria newtoniana, que permanece válida para grandes dimensões, mesmo com a emergência de novas teorias, nos permitindo compreender porque, por exemplo, as estrelas e planetas são esféricos, ou seja, têm a forma geométrica mais compacta possível (MORRISON & MORRISON, 1984).

2.2. RELAÇÕES ENTRE TAMANHO E VIDA - AS IDÉIAS CIENTÍFICAS

Se as estrelas brilham, se os planetas são redondos, se as pontes são geologicamente pequenas, se as células se dividem rapidamente, se os átomos vibram ao acaso e se os elétrons desobedecem a Newton é por razão de escala. (MORRISON & MORRISON, 1984, p. 73).

a) Introdução

O estudo das relações existentes entre o tamanho e a diversidade de formas e comportamentos dos seres vivos tem sido realizado com base na medição e interpretação científicas. Com o florescer do modo científico de apropriação da realidade, no século XVII, o estudo dos seres vivos imbuía-se da nova imagem de mundo adotada: um mundo dinâmico, cuja compreensão seria alcançada pelo uso da razão e da experiência. Com Galileu Galilei (1564-1642), foi proposta a idéia de que a estrutura das coisas poderia ser descrita matematicamente. Assim, apesar da aparente diversidade existente no mundo, por trás dela haveria uma rede de relações matemáticas, capaz de organizar nossa visão das coisas e de permitir previsão e controle.

As situações complexas encontradas no dia-a-dia foram despojadas de sua riqueza e reduzidas a imagens simples, que poderiam ser equacionadas. Assim, buscava-se leis gerais que evidenciassem regularidades entre os seres vivos, apesar de sua extraordinária diversidade. Esta busca partia do pressuposto de que o ser vivo é moldado pelo meio ambiente, ou seja, pela ação de agentes externos, e de que a descoberta de "leis naturais" permitiria explicar e prever a estrutura e organização dos seres existentes em certo ambiente.

A ciência clássica teve grande importância por ter modificado a maneira de se ver as coisas, ao converter os seres vivos em "*objetos de investigação e já não de revelação*" (JACOB, 1985, p. 11). Porém, devido à sua crença na possibilidade de se alcançar unidade e

coerência na representação do mundo, por meio da decifração de regras imutáveis, e à falta de conceitos e de meios apropriados, somente os aspectos do funcionamento dos seres vivos que refletiam o funcionamento dos objetos físicos podiam ser apreendidos. Portanto, não havia uma fronteira nítida entre o vivente e o não-vivente. Nesta época, os seres vivos eram vistos como máquinas e *"não se trata de uma metáfora, de uma comparação ou de uma analogia. É uma identidade"* (JACOB, 1985, p. 42).

No século XVII, somente os aspectos visíveis dos seres vivos que se relacionam ao movimento eram susceptíveis de análise. Entre eles destacam-se o **tamanho** e o **circuito do sangue**. Segundo Jacob (1985), a identidade animal-máquina foi imposta pela própria natureza do conhecimento, pelo próprio **"domínio do possível"**, definido pelas teorias e crenças, pelos equipamentos disponíveis, pela natureza dos objetos acessíveis à análise e pela maneira de se observar e falar deles. A acusação de que Harvey e Galileu promoveram a concepção mecanicista no estudo dos seres vivos ao compararem o coração a uma bomba e as estruturas de suporte dos seres vivos às mecânicas, respectivamente, é, portanto, sem fundamento pois estes cientistas só estudaram estes fenômenos porque eles eram acessíveis à experiência, com os recursos (conceituais, materiais, etc.) de que se dispunha na época.

A importância das leis e princípios "descobertos" a partir do século XVII é evidente, ao se considerar a estrutura dos seres vivos. No entanto, é importante destacar que, segundo a concepção atualmente consensual na ciência, o meio ambiente não determina, por meio de leis mecânicas fixas e imutáveis, todos os estados possíveis de um ser vivo. Ele apenas estabelece limites entre os quais a vida se manifesta como novas formas, cujo aparecimento resulta de processos inerentes aos seres vivos nos quais operam a imprevisibilidade e a criatividade.

b) Vendo o Invisível: mundos dentro de outros mundos

A descoberta da Natureza, dos modos dos planetas, das plantas e dos animais, exigiu primeiro a conquista do senso comum. A ciência avançaria, mas não pela autenticação da experiência quotidiana e, sim, adquirindo a percepção do paradoxo, aventurando-se no desconhecido. (BOORSTIN, 1987, p. 271).

Um dos primeiros passos dados pela ciência que contribuíu para ampliar o conhecimento humano acerca das possibilidades de manifestação da vida foi a descoberta de sua existência real em miniatura: em 1674, Antoni Van Leeuwenhoek observou, de forma pioneira, microrganismos ao microscópio, iniciando a exploração de um novo mundo, um mundo no qual *"nossas preconcepções, provenientes de nossas experiências, não são válidas"* (THOMPSON, 1987, p. 44).

Esta descoberta, assim como as demais que se situam na origem da ciência moderna ocidental, evidenciou a nudez dos nossos sentidos, indicando que o conhecimento do senso comum, que alicerça nossa vida cotidiana, é insuficiente na nossa busca de compreensão do mundo. A transição da observação a olho nu para aquela que faz uso de instrumentos (telescópios, microscópios, etc.) correspondeu a um dos maiores avanços da história da humanidade. Porém, a invenção e uso de tais instrumentos, a partir do séc. XVII, não se deu sem obstáculos, pois *"um dos preconceitos humanos mais profundos e difundidos era a fé nos sentidos humanos sem ajuda e sem mediação."* (BOORSTIN, 1987, p. 289). Segundo a concepção do senso comum então corrente, os instrumentos funcionavam por meio de truques que deturpavam a verdade, o que era supostamente confirmado pelas aberrações e imagens toscas produzidas.

Acredita-se que a descoberta do microscópio foi acidental e que se deu quando certas pessoas tentaram utilizar o telescópio para ampliar objetos próximos. Galileu, responsável pelo aperfeiçoamento do telescópio, relatou, em 1614: *"...tenho visto moscas que parecem do tamanho de cordeiros e fiquei a saber que elas são cobertas de pêlo e têm unhas muito pontiagudas por meio das quais se mantêm direitas e caminham sobre vidro, embora suspensas de pés para o ar, introduzindo a ponta das unhas nos poros do vidro."* (BOORSTIN, 1987, p. 303).

Segundo Giordan e De Vecchi (1988), a chegada do microscópio trouxe mais problemas do que soluções, defendendo a idéia de que os avanços técnicos não são suficientes

para que se provoque a ruptura com idéias pré-concebidas. Ilustram esta afirmação com o seguinte texto de La Bruyère, redigido em 1688:

Se ve en una gota de agua... un número casi incontable de pequeños animales, de los que el microscopio nos hace ver la forma, y que se mueven con una rapidez increíble, como monstruos en un vasto mar, cada uno de los animales más pequeño que un Cirion y, sin embargo, es un cuerpo que vive, se alimenta, que crece, que deve tener músculos, vasos equivalentes a las venas, a los nervios, a las arterias y un cerebro. (p. 161).

Os relatos de Leeuwenhoek sobre a infinidade de minúsculas criaturas presentes numa gota de água estagnada foram, na época, ridicularizados com a acusação de que ele via "*mais com a imaginação do que com suas lentes de aumentar*". (BOORSTIN, 1987, p. 306).

c) O Princípio de Similitude e as Proporções dos Seres Vivos

O interesse pelo tamanho e pelas proporções do mundo vivo tem uma origem bem antiga. Segundo McMahon e Bonner (1986), a história do tema é relatada por quem mais contribuiu neste século para despertar a atenção sobre os efeitos do tamanho nas adaptações estruturais: o cientista D'Arcy Wentworth Thompson, em sua obra *On Growth and Form*, publicada originalmente em 1917 e que se tornou clássica.

Thompson analisou os processos biológicos através da descrição matemática e da analogia física, compartilhando a idéia de Galileu de que "*o livro da natureza é escrito em caracteres de geometria*" (THOMPSON, citado por MEDAWAR & MEDAWAR, 1989, p. 152). Embora não tenha analisado o crescimento e a forma dos seres vivos tendo como referência o pensamento biológico em sua época predominante, o Evolucionismo, e tivesse como critério de verdade das teorias científicas sua descrição precisa pela linguagem matemática, muitas de suas idéias são atuais e podem ser reconciliadas com conceitos atualmente aceitos em Genética e Evolução.

Embora seu trabalho se oriente pelo ideal platônico, ao buscar padrões básicos ideais e imutáveis de organização dos seres vivos e reduzir sua diversidade a variações em torno desse plano básico, Thompson alertou os cientistas para a importância de se realizar descrições unificadoras e não somente restritas às variações (GOULD, 1989).

Segundo Thompson (1987), foi Arquimedes (286-212 a.C.) quem reconheceu pela primeira vez, a partir da matemática elementar, que, em sólidos geométricos regulares, similares e de distintos tamanhos, a área superficial aumenta proporcionalmente ao quadrado da dimensão linear característica e o volume proporcionalmente ao cubo. Concluiu, portanto, que a relação (razão) entre o volume e a área superficial dos sólidos maiores é maior do que a mesma relação nos sólidos menores.

Porém, este autor afirma que foi Galileu quem enunciou pela primeira vez, com clareza e de forma inovadora, este princípio percebido por Arquimedes, fazendo uso de demonstrações matemáticas e apresentando evidências de sua aplicação a estruturas vivas e inertes. Galileu, um filósofo polemizador, que criticava os fundamentos da física aristotélica, baseada nas evidências dos sentidos, reconheceu a impossibilidade de se construir pontes, barcos, palácios ou templos de tamanhos enormes e dos seres vivos crescerem acima de um certo tamanho, conservando as mesmas proporções ou empregando os mesmos materiais que são suficientes no caso das estruturas menores. Thompson denominou esta relação entre corpos grandes e pequenos de **princípio de similitude**.

O princípio de similitude demonstra que o mundo funciona de diferentes modos de acordo com a escala, que ele não é regido pela proporcionalidade da geometria euclidiana, uma vez que estruturas geometricamente semelhantes mas de diferentes tamanhos, apresentam comportamentos distintos (MORRISON & MORRISON, 1984). Ele está ligado a um dos limites impostos à manifestação da vida⁶ e evidencia a correlação existente entre o tamanho e a forma dos seres vivos, ao se considerar a semelhança física: como o volume e a área superficial crescem em proporções diferentes (potência $3/2$), qualquer objeto que simplesmente cresce, mantendo inalterada sua forma, sofre um decréscimo contínuo em superfície relativa. Isto significa que animais com a mesma forma experienciam necessariamente uma diminuição na **relação superfície-volume** à medida em que se tornam grandes, o que compromete sua eficiência (VILLEE et al., 1985; OKUNO et al., 1986; BEGON et al., 1986; GOULD, 1987; FLANNERY, 1989).

O princípio de similitude tem grande importância para os seres vivos. Muitas funções corporais que dependem da superfície precisam prover o volume inteiro do corpo como, por exemplo, o intercâmbio de gases, a absorção de alimentos e a habilidade do córtex cerebral para controlar os movimentos corporais. A perda de calor pelo corpo e a entrada e

⁶ O princípio de similitude evidencia a dialética existente entre restrições internas e fatores externos na evolução dos seres vivos.

saída de substâncias das células também são definidas em função da área superficial (GOULD, 1987; SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1985, 1988).

Podemos concluir, portanto, que as diferenças de conformação entre os organismos reflete não um **desenho especial**, mas **adaptações às atividades que são próprias a cada um deles e às mudanças de escala**, tendo em vista que o poder relativo de muitas forças fundamentais varia, de maneira regular, com o tamanho. Quanto maior o animal ou planta, maior relevância adquire a gravidade e mais decisivo é o papel desempenhado pelos mecanismos de suporte, que o ajudam a compensar os efeitos da gravidade e da inércia. Já os seres pequenos, devido à **grande relação área superficial-volume**, vivem em um mundo dominado pelas forças que atuam sobre as superfícies, pelas forças de aderência, que não nos são familiares. Eles podem andar sob o teto, sobre a água, e até mesmo carregar materiais com massa superior várias vezes à sua própria ou, ainda, cair de grandes alturas sem sofrer danos (MORRISON & MORRISON, 1984; VILLEE et al., 1985; GOULD, 1987). Assim, podemos afirmar que os seres vivos habitam um mundo em que há forças em competição, cuja resultante depende primariamente de seus tamanhos.

Consciente das limitações impostas pelo tamanho, Bateson (1986) afirma que *"talvez nenhuma variável traga os problemas do estar vivo tão expressiva e claramente aos olhos do analista como o faz o tamanho"* (p. 62) e os retrata contando a seguinte fábula:

A História do Cavalo Poliplóide

*Dizem que os dirigentes do prêmio Nobel ainda ficam encabulados quando alguém faz referência aos cavalos poliplóides. De qualquer forma, o Dr. P. U. Posif, o grande geneticista erewhoniano, recebeu seu prêmio no final de 1980 por brincar com o DNA do cavalo comum (*Equus caballus*). Foi comentado que ele fez uma grande contribuição à então nova ciência da transportologia. De qualquer maneira, ele recebeu seu prêmio por **criar** - nenhuma outra palavra seria suficientemente boa para uma parte da ciência aplicada tão próxima de usurpar o papel de divindade - criar, digo, um cavalo com precisamente o dobro do tamanho do Clydesdale. Ele era duas vezes mais comprido, duas vezes mais alto, e duas vezes mais largo. Era um poliplóide com quatro vezes o número costumeiro de cromossomos.*

*P. U. Posif sempre afirmou que houve uma época, quando esse maravilhoso animal ainda era um potro, que ele conseguia ficar de pé em suas quatro patas. Deve ter sido uma maravilhosa visão! Entretanto, quando o cavalo foi mostrado ao público e registrado com todos os instrumentos de comunicação da civilização moderna, o cavalo não ficava em pé. Em uma palavra, ele era **pesado demais**. Pesava, naturalmente, oito vezes mais do que um Clydesdale comum.*

Quando mostrava o animal a pessoas comuns e nos espetáculos públicos, o Dr. Posif sempre insistia em desligar as mangueiras que eram continuamente necessárias para manter o cavalo numa temperatura normal para um mamífero. Ficávamos sempre apreensivos, entretanto, que as partes mais internas comessem a cozinhar. Afinal de contas, a pele e a gordura dérmica do pobre animal eram duas vezes mais espessas do que o normal, e sua área de superfície somente quatro vezes a de um cavalo comum, de forma que não esfriava adequadamente.

Todas as manhãs o cavalo tinha que ser levantado em suas patas com o auxílio de um pequeno guindaste e pendurado em uma espécie de caixa sobre rodas, dentro da qual ele era suspenso sobre molas ajustadas para tirar metade do peso de suas pernas.

O Dr. Posif costumava afirmar que o animal era extremamente inteligente. Ele tinha, naturalmente, oito vezes o cérebro (em peso) de qualquer outro cavalo, mas nunca pude observar que estivesse preocupado com quaisquer problemas mais complexos do que os que interessam os outros cavalos. Tinha muito pouco tempo livre, estava sempre ofegante, em parte para se manter fresco e em parte para oxigenar seu corpo oito vezes maior. Afinal de contas, sua traquéia tinha apenas quatro vezes a área normal de seção transversal.

Vinha então o problema da alimentação. De alguma forma, ele tinha que comer, todos os dias, oito vezes a quantidade de comida que satisfaria um cavalo comum, e tinha que empurrar tudo aquilo em um esôfago que tinha somente quatro vezes o calibre de um esôfago normal. Os vasos sanguíneos também tinham seu tamanho relativo reduzido, e isso tornava a circulação mais difícil e solicitava mais esforço do coração.

Um triste animal. (BATESON, 1986, p. 64)

Podemos concluir que, do ponto de vista biológico, não existem "valores monótonos" pois nunca o aumento de alguma coisa será sempre melhor que a sua diminuição. Isto porque " [...] quando duas ou mais variáveis, cujas curvas são discrepantes, interagem, a alteração (de uma delas) revela um valor crítico da outra" (BATESON, 1986, p. 64), o que pode levar à ruptura da coerência interna do organismo. A importância dessas *coerções de construção* no curso do desenvolvimento individual e no curso da evolução é também discutida por Noël (1996).

A concepção dos seres vivos como sistemas autopoieticos (que produzem continuamente a si mesmos, constituindo unidades autônomas e coerentes internamente), defendida por Maturana e Varela (1990), tem também como pressuposto básico a interdependência entre os diversos componentes do ser vivo. Qualquer mudança adaptativa em um dos aspectos do organismo, envolve o restante do organismo de uma maneira global. Segundo esta concepção, a evolução não é direcionada e nem mesmo visa uma otimização de qualidades. Ela resulta da manutenção da autopoiese e da complementaridade entre organismo e meio.

d) Galileu: O Pioneiro na Busca de Compreensão das Relações entre Tamanho e Vida

Quais foram as contribuições de Galileu na construção dos conhecimentos sobre as relações entre Tamanho e Vida? As idéias de Galileu sobre o princípio de similitude são apresentadas em sua obra *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a Due Nueve Scienze*, publicada no Brasil com o título de *Dois Novas Ciências*. Esta obra é definida por

Pablo Rubén Mariconda, tradutor e autor da introdução da edição em língua portuguesa, como a última e mais importante obra de Galileu. Publicada em 1638, poucos anos antes da morte do autor, ela resume e sistematiza suas principais contribuições científicas, sendo, portanto, de grande relevância no estudo da história da ciência.

As duas novas ciências apresentadas por Galileu nos Discursos envolvem o estudo geométrico da resistência dos materiais e o tratado sobre o movimento, sendo discutidas na obra ao longo de quatro jornadas. Face ao tema tratado nesta dissertação, interessa-nos resgatar as idéias relativas à primeira ciência, apresentadas nas duas primeiras jornadas.

Segundo Mariconda, há documentos que mostram que as principais idéias apresentadas nos Discursos já haviam sido elaboradas por Galileu entre 1602 e 1610, período que envolve sua fase mais criativa. Assim, em uma das cartas remetidas por Galileu, em 1609, são comunicados os resultados de suas pesquisas sobre as forças e resistências de madeiras de diferentes comprimentos e espessuras. Galileu havia descoberto o quanto a madeira é mais frágil no meio que nos extremos, o quanto a mais de peso ela sustenta se o peso é distribuído por toda a sua extensão ao invés de em um só lugar, e que forma deveria ter para que fosse em todos os seus pontos igualmente resistente.

Em sua obra, Galileu utiliza o princípio de similitude para explicar por que móveis diferentes em tamanho, embora de mesma matéria e de mesma forma, recebem resistências do meio diferentes durante a queda livre. A partir de comparações entre as proporções de dados de diferentes tamanhos, Galileu demonstra que "*[...] a superfície dos sólidos menores é comparativamente maior que a superfície dos sólidos maiores*" (p. 75) concluindo, portanto que "*[...] a resistência produzida pelo contato da superfície do móvel com o meio cresce com maior proporção nos sólidos pequenos que nos maiores.*" (p. 75). Neste exemplo, verifica-se que objetos de diferentes tamanhos, mas com semelhança geométrica, não mantêm semelhança física⁷.

Outros problemas relativos à semelhança geométrica e à semelhança física são tratados por Galileu quando analisa a resistência dos corpos sólidos à ruptura. Ele questiona, por exemplo, por que as embarcações maiores são construídas com bases de sustentação com uma largura proporcionalmente maior do que a que seria necessária para a sustentação

⁷ Segundo Carneiro (1989), dizemos que dois objetos são semelhantes fisicamente quando, a partir das características de um deles, podemos deduzir as características de um outro por um simples cálculo, semelhante ao de uma mudança de sistema de unidades de medida. Permite, portanto, deduzir o comportamento dos protótipos a partir do comportamento dos modelos.

de embarcações menores. Galileu conclui ser impossível a existência de duas figuras sólidas que, tendo a mesma forma e sendo constituídas com a mesma matéria, sejam similares na resistência. As figuras maiores seriam proporcionalmente mais fracas. Outras situações facilmente observáveis no dia-a-dia foram discutidas por Galileu e contribuíram para corroborar sua teoria sobre a resistência dos corpos sólidos à ruptura, que indica a impossibilidade da manutenção da semelhança física em corpos geometricamente semelhantes, mas de tamanhos diferentes. Assim,

Quem não vê que um cavalo que cai de uma altura de três ou quatro braças⁸ quebrará os ossos, ao passo que um cão que cai da mesma altura, e um gato de uma altura de oito ou dez braças não se fazem nenhum mal [...]? Quem não vê que as crianças saem ilesas das quedas, ao passo que os velhos quebrariam as pernas ou a cabeça? A natureza não poderia produzir um cavalo equivalente em grandeza a vinte cavalos, nem um gigante dez vezes mais alto que um homem, a não ser milagrosamente, e alterando muito as proporções dos membros e particularmente dos ossos, que deveriam ser simetricamente muito maiores" (p. 13). Acredito que um pequeno cão seria capaz de carregar dois ou três cães iguais a ele, mas não penso que um cavalo fosse capaz de carregar nem mesmo outro cavalo igual. (p. 105).

Através de uma série de proposições e demonstrações matemáticas, Galileu fundamenta sua teoria, que parte da observação de dados empíricos e é sempre confrontada com estes. Galileu adotou, portanto, um método de pesquisa que foi "[...] sempre uma justa combinação da observação e da experiência com a matemática, instrumento da lógica dedutiva" e em que "a fonte da verdade é sempre, em última análise, a experiência" (CARNEIRO, 1989, p. 39)

O curso das pesquisas relativas às relações entre Tamanho e Vida, após este trabalho pioneiro de Galileu, teve prosseguimento com a realização de vários trabalhos sobre o tema, mas somente foi retomado com maior intensidade com a publicação de *On Growth and Form*, por D'Arcy Thompson, em 1917, que propôs o método das transformações cartesianas para o estudo das mudanças de proporções. Apesar deste método manifestar alguns aspectos inconvenientes que restringem sua utilidade, ele permitiu que se chegasse à conclusão de que mudanças complexas nas formas dos seres vivos podem ser resultantes de alterações simples nas taxas de crescimento de regiões corporais, o que indica que elas podem

⁸ . 1. Antiga unidade de comprimento, equivalente a 2,2 m; ou 2. Unidade de comprimento do sistema inglês, equivalente a cerca de 1,8 m. (FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo dicionário da língua portuguesa*. 1. ed., Rio de Janeiro : Nova Fronteira, 19-- , p. 223.)

ter uma base genética simples (THOMPSON, 1987; FUTUYMA, 1992; FOLEY, 1993). Esta, segundo Medawar & Medawar (1989), é a principal contribuição de Thompson à morfologia.

De fato, pesquisas recentes indicam que uma mutação em um único gene pode provocar uma evolução fenotípica rápida e expressiva, em decorrência, simplesmente, da herança de um determinado padrão de crescimento diferencial entre partes do corpo (WILSON, 1994).

Situando o desenvolvimento das pesquisas sobre tamanho e proporções no contexto sócio-econômico, McMahan e Bonner (1986) afirmam que a invenção de dispositivos mecânicos e a industrialização foram processos que contribuíram de forma decisiva para a revalorização dos problemas de similitude propostos por Galileu. Eles levaram à concepção de que não se pode construir exclusivamente por ensaio e erro. Deveriam ser elaboradas regras que demonstrassem com exatidão como mudam as propriedades dos materiais em função de seu tamanho e, portanto, que permitissem prever com segurança as proporções apropriadas das construções ou indicar a adequação do emprego de novos materiais. A mudança de proporções e o uso de novos materiais já eram conhecidos como processos adotados com frequência na natureza e na arte. Assim, impõe-se, cada vez mais, como caminho para o estudo das relações entre Tamanho e Vida, a integração de conhecimentos da engenharia com aqueles provenientes das teorias biológicas (biomecânica).

Muitos princípios mecânicos de engenharia manifestam-se na estrutura dos seres vivos. A estrutura tubular e oca da coluna vertebral e dos ossos dos membros confere grande resistência aos vertebrados, com uma quantidade pequena de material. Até mesmo a estrutura microscópica do osso é constituída por tubos concêntricos ocos. Também os insetos e outros artrópodes apresentam esta adaptação estrutural em suas patas (MINKOFF, 1984).

Na embriologia, foram frutíferas as pesquisas voltadas para o estudo das mudanças de tamanho das partes do corpo em um mesmo organismo durante a morfogênese. Uma das mais relevantes foi desenvolvida de forma independente por Julian S. Huxley e G. Teissier, em 1932, e levou à constatação de que a taxa específica de crescimento de um órgão mantém-se numa razão constante à taxa de crescimento específico de outro órgão ou do organismo como um todo, para uma ampla variedade de organismos.

Estes cientistas criaram, a partir daí, o método de "**crescimento relativo**" ou **alometria**, que, através de abstrações matemáticas, permite medir com regularidade as taxas de crescimento e as mudanças concomitantes em tamanho e forma ao longo do desenvolvimento de um organismo. Portanto, este método define um padrão que permite

comparar, com exatidão, animais com tamanhos distintos. A possibilidade de estabelecer esse tipo de relação não é óbvia. Isso porque, tendo em vista a complexidade do desenvolvimento ontogenético, a idéia imediata que se tem é de que os processos de crescimento ocorreriam de uma maneira irregular (TOWNSEND et al., 1981; McMAHON & BONNER, 1986).

O termo *alometria* indica que o crescimento não envolve aumento simétrico e significa "de uma medida diferente". O crescimento alométrico corresponde ao aumento de determinada dimensão ou parte do corpo de um organismo numa taxa diferente em relação a outras ou, então, à variação de uma propriedade fisiológica de acordo com o tamanho corporal, durante a ontogenia. Por exemplo, os braços de um bebê são mais curtos em relação ao resto do corpo, que os braços de um homem pois, durante a ontogenia, eles crescem mais depressa. Por outro lado, a cabeça cresce menos rapidamente que o corpo.

A alometria também permite comparar medidas de indivíduos de uma mesma espécie que têm tamanhos diferentes. Também tem relação com muitas mudanças morfológicas e fisiológicas ocorridas no curso da evolução, evidenciadas quando organismos com tamanhos diferentes que pertencem a grupos taxonômicos distintos são comparados (TOWNSEND et al., 1981; McMAHON & BONNER, 1986; BEGON et al., 1986; MEDAWAR & MEDAWAR, 1989; FUTUYMA, 1992; FOLEY, 1993).

Mantendo coerência com a concepção de que os organismos funcionam como um todo integrado, Begon et al. (1986) afirmam que as relações alométricas afetam todos os componentes da vida de um organismo, sendo importantes fontes de limites filogenéticos. Isto porque a manutenção da eficiência das funções orgânicas em organismos de diferentes tamanhos no curso da evolução requer alterações alométricas.

Na natureza é pouco freqüente a ocorrência de isometria ou semelhança geométrica. Esta envolve casos em que há mudança de tamanho, sem que esta seja acompanhada por alterações nas proporções. Um exemplo bastante evidente é a relação existente entre a extensão total dos braços de pessoas adultas em relação às suas alturas. A isometria só funciona para comparações feitas dentro de uma série limitada de tamanhos, no seio de uma mesma espécie ou em determinadas circunstâncias especiais. Ela é, por exemplo, o princípio organizador dos organismos com morfologia espiral. É praticamente certo que, ao se comparar animais ou plantas terrestres de tamanhos muito diferentes, as proporções mudarão com o tamanho e serão, portanto, alométricas (TOWNSEND et al., 1981; HUNTLEY, 1985; McMAHON & BONNER, 1986).

e) O Significado de Ser Grande e de Ser Pequeno

De acordo com McMahon e Bonner (1986), quando adjetivamos um animal usando os atributos de "grande" ou "pequeno", o fazemos, comumente, tendo como referência nosso próprio tamanho. Esse uso também tem relação com os limites de resolução de nossos olhos. Assim, o mundo dos microrganismos só nos é acessível através do uso de instrumentos.

Os organismos vivos distribuem-se em uma ampla diversidade de tamanhos. Em seu livro, McMahon e Bonner (1986) apresentam desenhos extraídos da obra *The Science of Life*, de autoria de H. G. Wells, J. S. Huxley e G.P. Wells, publicada em 1932, em que se pode visualizar os tamanhos extremos dentre os quais os seres vivos se encontram.

A partir da análise de tais desenhos, os autores alertam para a impossibilidade de se representar em uma mesma figura toda a série de tamanhos em que os seres vivos podem ser encontrados. Um recurso matemático que, segundo estes autores, permite englobar toda a amplitude de tamanhos dos seres vivos é a escala logarítmica. Numa representação dessa natureza, pode-se perceber com clareza a existência de uma série de 21 ordens de tamanho, ou seja, o peso da maior baleia azul é 10^{21} vezes maior do que o peso do menor microrganismo. Esta constatação leva tais autores a afirmarem que *"se trata de uma série surpreendentemente grande de tamanhos, que produz uma imagem mental de mundos dentro de outros mundos. Mas constitui algo mais que uma imagem: é a realidade"*. (p. 5).

e.1) Tamanho e Locomoção dos Seres Vivos

A análise da locomoção de organismos de diferentes dimensões não pode ser feita tendo-se como referência os mesmos parâmetros. Entre os animais grandes, os problemas de locomoção estão relacionados com a gravidade e a inércia, cujos efeitos nos são facilmente perceptíveis. Por outro lado, tais problemas não existem em pequenas dimensões. Nesta escala, como diz Thompson (1987), *"chegamos na fronteira de um mundo em que não temos nenhuma experiência e em que todas as nossas concepções devem ser rejeitadas"* (p. 44). Corresponde a um mundo que impõe problemas que praticamente não nos afetam e que se relacionam com a viscosidade e com as forças de coesão molecular.

- Velocidade e Aspectos Econômicos da Locomoção:

Entre os animais que compõem uma população de uma espécie, os maiores manifestam evidentes vantagens adaptativas. Entre elas, o fato de se moverem com maior rapidez, seja na corrida, no voo ou na natação. Porém, os organismos pequenos também desfrutam de vantagens adaptativas evidentes. Uma delas, ligada à locomoção, é que podem esconder-se em lugares pequenos, ante a perseguição de seus predadores.

A relação entre velocidade de locomoção e tamanho é um tema sobre o qual persistem muitas dúvidas. Apesar da velocidade de locomoção aumentar à medida em que aumenta o tamanho, os organismos mais velozes se encontram na ordem de tamanho de 1 metro, tanto no que se refere à corrida e ao voo, quanto à natação. Portanto, os animais maiores, apesar de, do ponto de vista físico, não apresentarem nada que os impeça de serem os mais rápidos, não alcançam, no entanto, as velocidades máximas.

Os aspectos econômicos relacionados com cada tipo de locomoção (corrida, natação e voo) podem ser medidos pela taxa de consumo de oxigênio. Em todos os três tipos, verifica-se que a taxa metabólica tem seu aumento diretamente proporcional à velocidade.

Quanto ao custo de transporte (energia gasta por um animal para percorrer uma unidade de distância, independentemente da velocidade), ele é uma função alométrica decrescente do tamanho corporal, ou seja, é menor para os animais grandes, sendo esta uma das vantagens evolutivas de se possuir um grande tamanho corporal.

Na natação, tal tendência é pouco significativa uma vez que os organismos não têm que sustentar o peso corporal, são em geral hidrodinâmicos e se movem a baixas velocidades. Ela somente torna-se relevante quando são comparados organismos de dimensões diferentes em várias ordens de magnitude. Neste sentido, o custo da natação para espermatozoides é muito alto comparado ao dos peixes devido à sua grande superfície relativa e, conseqüentemente, à grande resistência ao fluxo do fluido que estabelecem.

Em relação ao voo, há uma velocidade ótima na qual o consumo de oxigênio é mínimo. Voar mais lenta ou rapidamente que tal velocidade aumenta o consumo de oxigênio.

Estudos indicam que, para massas corporais inferiores a 2 kg, a natação é a forma mais econômica de locomoção, seguida pelo voo, pelo passo e pela corrida, nesta ordem. O fato das aves deixarem de voar quando possuidoras de pesos próximos a 10 kg, talvez não seja aleatório. Acima de 10 kg, o custo energético do voo torna-se maior que o da locomoção em ambiente terrestre. Porém, intuitivamente, pensamos que o voo exige sempre mais esforço, por requerer que os organismos se sustentem no ar.

Enquanto permanecem em pé, os mamíferos pequenos consomem proporcionalmente mais oxigênio que os grandes. Além disso, à medida que aumenta a velocidade de corrida, há um aumento linear em ambos do consumo de oxigênio. Porém, este aumento é proporcionalmente maior nos animais pequenos.

Em relação aos custos de transporte, andar em ambientes inclinados é mais oneroso para animais maiores. A observação de pegadas de animais revela que, quanto maior é o tamanho do animal, menor é a probabilidade de que consiga subir um caminho empinado. Experimentos realizados com animais de diferentes tamanhos confirmam essas observações e contribuem para explicá-la. Assim, ao se colocar animais pequenos, como, por exemplo, o rato, deslocando-se em inclinações com ângulo de 15° , a taxa de consumo de oxigênio é ligeiramente superior ou inferior quando ele se desloca para cima ou para baixo, respectivamente, em relação ao valor encontrado caso ele se deslocasse em superfície horizontal. Por outro lado, nos animais maiores, como, por exemplo, no chimpanzé, tal taxa é muito elevada na subida e muito reduzida na descida.

Estas diferenças nas taxas de consumo de oxigênio podem ser compreendidas, retomando algumas idéias derivadas da lei de Kleiber. Com base nesta lei, sabe-se que cada grama de tecido de um rato de 30 gramas consome oxigênio a um ritmo 13 vezes maior que a taxa por grama de um cavalo de 1000 kg. Considerando que o trabalho mecânico necessário para se elevar a massa de 1 kg a uma altura de um metro no mesmo intervalo de tempo é idêntico para o rato e o cavalo e, supondo que os músculos convertem energia metabólica em trabalho com idêntico rendimento nestes dois mamíferos, conclui-se que ambos consomem a mesma quantidade de oxigênio. Daí se deduz que o aumento relativo da taxa de consumo de oxigênio é treze vezes maior no cavalo.

Podemos, portanto, concluir que os mecanismos de locomoção dos organismos pequenos são desvantajosos no que se refere ao consumo de energia. Porém, os microscópicos, entre eles as bactérias, beneficiam-se do fenômeno físico da difusão para se orientarem na busca de alimento (McMAHON & BONNER, 1986; SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1985, 1988; PETERS, 1989; POUGH et al., 1993).

- Gravidade e Locomoção:

A principal força que desempenha um papel de relevo na locomoção terrestre dos animais grandes é a gravidade. Um animal grande sofre desvantagens relativas ao permanecer em pé, imóvel. Pode, por exemplo, desmaiar por falta de afluxo de oxigênio ao

cérebro. Por outro lado, quando ele se locomove, as contrações musculares amortecem os efeitos da gravidade. Elas aumentam a pressão sobre as veias, ajudando a bombear o sangue em seu retorno ao coração e, conseqüentemente, assegurando a chegada de sangue ao cérebro.

A mudança de postura pelos animais tem efeitos variáveis sobre a pressão sangüínea de acordo com o tamanho corporal. Nos animais pequenos, a alteração de postura provoca pouca alteração na pressão arterial nas diferentes regiões do corpo pois a distância entre o coração e os diferentes órgãos é pequena e há pouca ação da força de gravidade. Nos animais grandes, mudanças bruscas de postura têm efeitos marcantes. Numa pessoa deitada, a pressão sangüínea nas diversas regiões do corpo é aproximadamente a mesma que a do coração porém, quando ela se senta ou levanta rapidamente, há uma queda da pressão arterial na cabeça, o que implica em uma redução do fluxo sangüíneo no cérebro. Até que haja o ajuste da pressão, pela expansão das artérias, a pessoa pode se sentir tonta. Os animais muito grandes e altos (ex: girafa) compensam este efeito da gravidade com pressões arteriais superiores à da espécie humana.

Os animais grandes, quando estão de pé, tendem a ficar com seus membros relativamente mais retos que os dos animais menores. Tal tendência a uma posição ereta mantém-se durante o movimento. Outra diferença importante observada na dinâmica é que a coluna vertebral dos animais menores flexiona-se muito mais que a dos animais maiores, quando galopam. Também o ângulo formado pela pata traseira durante a corrida é menor nos animais maiores. Essas diferenças na disposição das articulações no esqueleto e na fisiologia muscular proporcionam aos animais grandes estabilidade para suportar as cargas determinadas pela inércia e pela gravidade.

Quanto à morfologia dos peixes e mamíferos marinhos de diferentes tamanhos, há uma forte tendência à isometria. Isso provavelmente acontece porque esses animais são pouco afetados pela gravidade, que atua na seleção de formas apropriadas para a manutenção da semelhança elástica nos animais terrestres (McMAHON & BONNER, 1986; OKUNO et al., 1986).

- Viscosidade e Locomoção:

Os problemas físicos envolvidos na locomoção de animais pequenos e microrganismos também têm sido objetos de estudo. Trabalhos desenvolvidos por H. C. Berg e C. J. Brokaw, na década de 70, sobre a natação de bactérias e espermatozóides têm nos propiciado uma nova visão do micromundo habitado por estes seres. Nele, devido ao pequeno

tamanho corporal e à baixa velocidade, predominam as forças de viscosidade, as forças de coesão molecular e a difusão, enquanto que, no outro extremo da escala de tamanhos, em que se encontram as grandes aves marinhas e os grandes peixes e mamíferos marinhos, prevalecem as forças inerciais.

As forças de viscosidade impõem certas restrições à locomoção dos seres vivos em pequena escala. Entre outras coisas, indicam que uma baleia em miniatura não poderia se deslocar se fosse reduzida ao tamanho de um espermatozóide, a menos que modificasse adequadamente seus movimentos natatórios, em consideração ao fato de que as forças de inércia apenas intervêm em grandes dimensões.

O significado da locomoção nos seres de pequenas dimensões pode ser exemplificado considerando-se o que aconteceria com uma mosca que mergulhasse na água para capturar um alimento. Logo após atravessar a superfície, ela ficaria presa pela viscosidade a poucos centímetros de profundidade. Ela não tem a grande inércia que permite aos organismos grandes, como por exemplo ao pelicano, submergir para capturar uma presa. Portanto, *"a viscosidade perceptível de um fluido depende das dimensões do organismo"* (GOULD, 1989, p. 201), o que representa um obstáculo à semelhança dinâmica entre seres nadadores/voadores de tamanhos corporais muito diferentes. Para um organismo muito pequeno, que tem uma grande superfície em relação ao volume e baixa velocidade de deslocamento, a água é percebida como tendo uma viscosidade semelhante à do melado!

Da mesma forma, um espermatozóide não se deslocaria se nadasse como uma baleia porque não poderia empregar as forças inerciais em sua autopropulsão. Para se impelir para diante, o espermatozóide precisa superar as forças de viscosidade, que dominam em pequenas dimensões. Por razões similares, um mosquito não poderia planar como uma águia. Já numa baleia, que tem grande volume e depende das forças inerciais para se deslocar, estruturas locomotoras delgadas como cílios seriam ineficientes.

Os espermatozóides e bactérias móveis podem percorrer somente uma pequena distância após deterem sua "maquinaria de propulsão". Essa distância é chamada *distância de freio*. Evidentemente, para essas células, os mecanismos utilizados pelos peixes para se deslocarem na água de nada adiantariam. Alguns peixes percorrem distâncias de mais de cinco vezes seu comprimento corporal entre dois impulsos. Portanto, para realizar algum avanço, um organismo pequeno nunca deve parar seu "motor" (SCHMIDT-NIELSEN, 1985; McMAHON & BONNER, 1986; GOULD, 1989).

- Reversibilidade:

A reversibilidade constitui outra característica extraordinária da natação em pequenas dimensões. Em teoria, ignorando os efeitos da difusão térmica, se um protozoário ciliado realizar um certo número de movimentos com seus cílios e depois invertê-los com exatidão, não só retornará ao seu ponto de partida, como também fará com que todas as moléculas de água que o rodeiam voltem à posição inicial! Os movimentos de inversão dos peixes já não surtiriam o mesmo efeito.

Um organismo de grandes dimensões, com dois remos rígidos presos às regiões laterais do corpo, consegue se deslocar no fluido se remar rapidamente para trás e lentamente para frente, gerando maior propulsão no impulso dos remos para trás. Em pequenas dimensões, no impulso de retorno dos remos para frente, o organismo seria devolvido à posição de partida. Portanto, devido à natureza reversível do fluxo em pequena escala, os nadadores microscópicos não podem mover-se como os botes a remos.

O modo de superar esse obstáculo foi sugerido por Purcell, em 1977. Consiste em se dispor de remos flexíveis, que batem de forma assimétrica. Os eixos dos remos se manteriam retos no impulso para trás, o que geraria um eficaz golpe de avanço, e se curvariam no impulso de retorno, deslizando na água quase paralelos ao eixo longitudinal do corpo. Essa configuração origina pouca resistência ao fluxo do fluido no impulso de retorno, mesmo em dimensões em que prevalecem as forças de viscosidade.

O *princípio do remo flexível* é utilizado na propulsão ciliar, que é empregada, freqüentemente, entre organismos que medem entre 20µm e 2mm. Organismos maiores utilizam-se de impulso muscular, enquanto que os menores empregam flagelos, também eficientes em pequenas dimensões e que, ao contrário dos cílios, que batem com o movimento de remo flexível, atuam propagando ondas ao longo de todo o corpo, em sentido oposto ao da natação (McMAHON & BONNER, 1986; SCHMIDT-NIELSEN, 1985, 1988).

- Orientação Magnética:

Em 1979, Frankel et. al. observaram que certas espécies de bactérias anaeróbicas, que vivem na lama do fundo de ambientes aquáticos no hemisfério norte, contêm cristais de magnetita (Fe_3O_4) que lhes possibilitam a orientação em relação a campos magnéticos fracos. Uma explicação provável dessa propriedade é que, sendo demasiado pequenas para dispor, como os animais, de sensores gravitacionais (otólitos) e, ante a

necessidade de se afastarem do oxigênio e buscarem nutrientes, estas bactérias solucionaram seu problema com um sensor magnético. Ao orientarem-se em relação ao norte, elas migram para baixo, ao longo das linhas do campo magnético inclinado, ou seja, para elas, nadar em direção ao norte significa nadar em direção à lama. No hemisfério sul, também há bactérias magnéticas. Porém, o que é impressionante é que elas têm polaridade invertida, migrando para baixo ao orientarem-se em direção ao sul magnético⁹.

Portanto, num mundo em que a força da gravidade e a inércia têm pouca importância, essas bactérias usam ímãs internos para se moverem para cima e para baixo! Usamos ímãs para orientação horizontal, mas, como não nos afeta, até desprezamos que o campo magnético da Terra tem também um componente vertical (SCHMIDT-NIELSEN, 1985; McMAHON & BONNER, 1986; BARROS et al., 1993).

- O Vôo:

O vôo é uma atividade restrita praticamente aos animais que ocupam a região intermediária da hierarquia de tamanhos. Atualmente, os maiores voadores são as aves planadoras que atingem até cerca de 17 kg. Essas aves têm que planar sempre que possível pois o bater contínuo das asas lhes exigiria um esforço consideravelmente grande. Os extintos pterossauros excediam essas aves em seu tamanho, atingindo em torno de 20 kg.

No nível inferior da hierarquia de tamanhos estão artrópodes minúsculos que são transportados pelo vento e que, por não controlarem seu rumo, não são estritamente voadores. Na mesma ordem de tamanho que esses artrópodes, há dípteros e himenópteros que voam mas que, devido a seu reduzido tamanho, têm que manter-se distantes de correntes de ar para não serem arrastados.

Os animais pequenos precisam bater as asas continuamente para se sustentarem no ar, os intermediários já o fazem de forma intermitente enquanto que os grandes restringem-se a planar. A compreensão das causas de existência dessas diferentes modalidades de vôo envolve considerar a diferença entre a potência necessária para voar e a disponível para este mesmo fim, de acordo com o tamanho do animal.

⁹ Sobre a utilização de sensores magnéticos em bactérias e outros organismos, pode ser também consultado o artigo "Atração natural: as bactérias, os pássaros e as abelhas", de S. J. Gould, citado nas referências bibliográficas.

Por que os cavalos não estão capacitados a planar como os esquilos voadores? Como a velocidade com que um organismo plana aumenta com o tamanho, um cavalo planaria com uma velocidade 4 vezes superior à do esquilo, o que significa dizer que a energia cinética seria multiplicada por 16. Portanto, a probabilidade de que o cavalo tivesse seus ossos rompidos na queda seria 16 vezes maior.

A resistência dos fluidos ao deslocamento aumenta aproximadamente com o quadrado da velocidade. Assim, em peixes e aves que se movem a alta velocidade, a posse de um corpo aerodinâmico é vantajosa, no sentido de reduzir tal resistência. Porém, quanto menor o tamanho do animal menos efetiva é a aerodinâmica nesta redução. Isto porque os organismos pequenos têm uma grande superfície relativa e um corpo aerodinâmico, ao invés de intensificar a propulsão, aumentaria a resistência ao deslocamento, ao aumentar ainda mais tal superfície. Daí porque não é adaptativo para os seres unicelulares e insetos, por exemplo, terem formas aerodinâmicas.

Tonhasca (1991) considera que o tamanho reduzido dos insetos é a chave de seu sucesso. Ele lhes possibilitou chegar a 30 milhões de espécies, o que corresponde a 72% das espécies de animais já catalogadas, e ocupar parte significativa dos mais variados nichos ecológicos.

O vôo dos insetos processa-se exclusivamente em pequena escala. Seus músculos encontram-se entre os tecidos animais mais ativos que se conhece. Uma hipótese para a existência de um limite superior à série de tamanhos dos insetos relaciona-se com a taxa de chegada de oxigênio às células. Esses animais não utilizam o sangue para o transporte desse gás, transportando-o exclusivamente por tubos ocos, denominados traquéias.

Na escala de tamanho dos insetos voadores, é impossível o funcionamento eficaz das asas de desenho convencional, encontradas nos aeroplanos, pois elas sofreriam um aumento da resistência do ar e uma diminuição da elevação. Neste caso, são mais eficientes as asas planas ou curvas (SCHMIDT-NIELSEN, 1985; McMAHON & BONNER, 1986; OKUNO et al., 1986; POUGH et al., 1993).

- *Altura do Salto:*

Quando se compara a altura de salto com o comprimento corporal, os vencedores são sempre os animais pequenos. As pulgas podem pular aproximadamente duzentas vezes o seu próprio comprimento. Mas, para isso, não usam os músculos, como no caso dos vertebrados. Armazenam energia em uma camada de proteína chamada resilina, que

se encontra entre os elementos esqueléticos rígidos. A pulga comporta-se como uma mola em tensão, cuja energia se libera bruscamente quando o animal eleva-se. Nos ortópteros, a energia de salto se armazena por flexão de algumas regiões das patas traseiras.

A altura de salto de um animal não, portanto, é diretamente proporcional ao seu tamanho. Dois fatores intervêm na determinação da altura de salto. Um deles é a resistência do ar, que é maior no que se refere a animais pequenos; o outro é a aceleração. À medida que decresce o tamanho, aumenta rapidamente a aceleração vertical máxima, assim como as tensões máximas geradas pelos músculos e elementos esqueléticos. Por exemplo, a aceleração vertical de um leopardo em salto é o triplo da aceleração da gravidade, enquanto que a de uma pulga, que salta somente até a uma altura que corresponde à uma décima parte da altura alcançada pelo leopardo, é mais de 200 vezes superior à da gravidade; Nos besouros de mola, a aceleração vertical pode superar a da gravidade em 400 vezes.

Se desconsiderarmos a resistência do ar, uma "pulga gigante", com dimensões lineares 10 vezes maiores do que a de uma pulga comum e geometricamente semelhante em forma, alcançaria uma altura correspondente a apenas 20 vezes seu próprio comprimento. Isto porque a força muscular aumentaria proporcionalmente menos que a energia requerida para um salto correspondente a 200 vezes o comprimento. Uma pulga 100 vezes maior em sua dimensão linear que a pulga comum, saltaria apenas 2 vezes a sua própria altura.

Em animais com acelerações verticais muito elevadas, o esqueleto funciona como uma fortaleza e os órgãos internos prendem-se com suficiente firmeza de forma a permanecerem fixos em seus lugares durante o salto. Os animais grandes, dotados de esqueleto interno e fracas inserções dos órgãos internos, não suportariam acelerações 400 vezes maiores que a da gravidade (BATSCHELET, 1984; McMAHON & BONNER, 1986).

- Forças de Coesão Molecular:

A vida dos organismos pequenos também é influenciada pela *tensão superficial*, que pode ser definida como sendo a diferença entre a energia por unidade de área de uma camada de moléculas situada na superfície e a energia por unidade de área correspondente a uma camada de moléculas no interior da massa líquida.

Numa gota, a interação entre a tensão superficial e a gravidade é regida pelo quociente superfície/volume. As gotas muito pequenas, depositadas sobre uma superfície sólida impermeável, podem ser quase esféricas, enquanto que as grandes adquirem formas muito mais achatadas. Essas considerações relativas à forma dos gotas nos levam a concluir

que o equilíbrio entre tensão superficial e gravidade depende da razão entre volume e perímetro. A estabilidade de um animal sobre a água também depende dessa razão. As patas longas e finas de certos insetos aquáticos servem para ampliar seu perímetro. Além disso, possuem pêlos aveludados que impedem seu umedecimento. Portanto, os insetos minúsculos, que têm um desenho adequado, podem caminhar sobre a água, enquanto que os grandes, mesmo que tivessem igual desenho, afundariam (McMAHON & BONNER, 1986; OKUNO et al., 1986).

- *Subir na Parede:*

As forças de coesão cumprem uma importante função na locomoção dos organismos pequenos. A comparação entre as forças de coesão e as de gravidade permite-nos perceber que a massa, que é muito influenciada pela gravidade, aumenta segundo o cubo das dimensões lineares (l^3), enquanto que a coesão cresce com a dimensão linear (l). Isso faz com que, nos organismos pequenos, as forças de coesão molecular superem a força gravitacional e que nos grandes ocorra o inverso. Os organismos que medem aproximadamente 1 mm de comprimento encontram-se em um ponto em que os valores das forças de coesão e a força gravitacional se equilibram.

Isso explica por que animais pequenos como, por exemplo, os insetos podem andar pelas paredes ou sob o teto, enquanto que animais grandes não podem. Os besouros têm almofadinhas nas patas, constituídas de pequenas protuberâncias com pêlos, que atuam assegurando a adesão à superfície da parede, mesmo quando esta é pouco irregular.

As salamandras, que são hábeis em trepar pelas paredes, têm lamínulas nos dedos, que fazem uso do mesmo princípio. Porém, elas se encontram muito mais próximas do ponto de queda, ao se deslocarem por uma parede lisa, que um besouro, simplesmente pelo fato de terem maior tamanho (McMAHON & BONNER, 1986).

- *O Uso da Roda:*

A roda, uma das estruturas mais espetaculares criadas pelo homem para a locomoção, jamais foi utilizada pelos animais uma vez que ela não permite a existência de conexões estruturais com o corpo, que possibilitariam a passagem do sangue, de estímulos nervosos, etc.

Porém, estudos recentes indicam que o flagelo das bactérias operam como uma roda! Nestes animais é possível a inexistência de ligação física, requerida na constituição de

rodas orgânicas porque as substâncias podem mover-se, entre as partes não unidas, por difusão através de membranas. No caso dos organismos grandes, devido à pequena **relação área superficial-volume**, há necessidade de canais para o transporte de nutrientes e oxigênio (SCHMIDT-NIELSEN, 1988; GOULD, 1989).

f.2) Tamanho e Sustentação dos Seres Vivos

Outro campo de pesquisa que busca relacionar o tamanho e a forma dos seres vivos corresponde ao estudo das estruturas de suporte.

A força muscular e a resistência de um osso ou do tronco de uma árvore são funções das áreas de suas respectivas seções transversais. Essas estruturas necessitam sustentar pesos que aumentam proporcionalmente ao cubo da dimensão linear. Assim, um organismo que aumenta seu tamanho, sem mudar sua forma ou estrutura, terá uma série de problemas. A solução evolutiva apresentada pelos organismos maiores é o engrossamento proporcionalmente maior dessas estruturas para prover a mesma resistência ou força relativa que têm nos seres pequenos. Portanto, as proporções relativas dos organismos manifestam distorções de escala de acordo com o tamanho corporal.

Por outro lado, também há limites ao tamanho. As baleias azuis, organismos que ocupam o extremo superior da hierarquia de tamanhos entre os animais, podem alcançar até 200 toneladas devido ao suporte da água. O limite superior para o tamanho dos mamíferos terrestres vincula-se às dificuldades de sustentação. Enquanto nos animais aquáticos o peso do esqueleto é proporcionalmente pequeno em relação ao peso do animal e esta proporção mantém-se constante independentemente do tamanho do animal, nos animais terrestres, os membros tendem a ser mais grossos e curtos e o esqueleto mais volumoso e pesado. Nos musuranhos pigmeus, o peso dos ossos corresponde somente a 4% do peso corporal, no cachorro a 13 a 14%, no homem a 17 a 18% e no elefante a 20%. Sendo assim, como exigência de escala, os animais grandes são robustos, enquanto que os pequenos são graciosos e ágeis.

Extremos do tamanho corporal podem ter conseqüências trágicas: Robert Wadlow, a pessoa que até hoje atingiu a maior altura (2,75 metros), morreu aos 22 anos em decorrência de uma infecção adquirida pelo uso de um suporte no tornozelo para que conseguisse ficar em pé. Supõe-se, ainda, que os dinossauros não poderiam ter tido tamanhos

superiores aos que possuíam porque seriam, inevitavelmente, afetados por problemas mecânicos.

Ao se considerar o aumento de tamanho em uma série de animais, verifica-se que o diâmetro das vértebras manifesta uma mudança regular de proporções em relação a seu comprimento, numa escala de crescimento maior que a de aumento de tamanho dos animais. Além disso, em animais pequenos, a coluna vertebral é curva e as patas se flexionam muito durante o movimento, enquanto que, em animais maiores, a coluna vertebral adquire uma disposição quase retilínea e os membros se situam diretamente abaixo do corpo, tendo menos movimentos nas articulações.

Uma explicação plausível para as distorções de escala relacionadas com o tamanho pode ser obtida quando se analisa o esforço a que os animais submetem seus ossos e músculos quando se locomovem. Quanto maior o animal, maior é o esforço. Os seguintes exemplos ilustram este fato: os cavalos de picadeiro sofrem freqüentes fraturas nas extremidades ósseas quando correm a galope e as chapas de raios X de ossos compridos de bailarinas em idade avançada revelam fraturas consolidadas. Os animais grandes expõem seus músculos a fortes tensões, podendo ocorrer rupturas de tendões e ligamentos e, inclusive, fraturas de ossos, quando se movem com rapidez. Portanto, os animais só se apresentam estáveis quando ocorre uma distorção regular em sua forma, à medida que vai aumentando o seu tamanho.

Este aumento das estruturas de sustentação dos animais em função do tamanho é verificado não só nos endoesqueletos dos vertebrados, mas também em carapaças de caracóis, exoesqueletos de artrópodes e nas cascas de ovos.

Mesmo sendo uma estrutura fixa e ereta, uma árvore de qualquer tamanho deve ter resistência mecânica para curvar-se a favor do vento, sem se romper sob seu peso. Nas árvores grandes, a curvatura é mais perigosa e pode ser acompanhada de ruptura. A manutenção da resistência do tronco é assegurada, neste caso, por distorções em suas proporções e/ou pela presença de tecidos de sustentação apropriados.

Em 1880, G. Greenhill explicou com clareza porque uma árvore alta era proporcionalmente mais grossa em relação a outras de menor tamanho, ao definir com precisão a relação alométrica entre comprimento e diâmetro dos troncos e galhos das árvores: o quociente entre o quadrado do diâmetro e o cubo do comprimento deve ser aproximadamente constante em uma série de árvores de diferentes tamanhos. Assim, nestas árvores, o diâmetro deve ser proporcional a $l^{3/2}$ ou, de forma equivalente, o comprimento deve

ser proporcional a $d^{2/3}$. Os troncos e galhos das árvores que fogem a essas proporções expõem-se, portanto, a sérios riscos de ruptura quando se curvam.

Os organismos de dimensões muito pequenas diferem das árvores quanto à relação entre diâmetro e comprimento. Por exemplo, os corpos frutíferos dos fungos medem milímetros e mostram grande variedade de tamanhos. Porém, ao se relacionar seu comprimento e diâmetro, verifica-se que, ao contrário das árvores, são isométricos.

Algumas espécies de árvores possuem a capacidade de responder a forças externas, como à gravidade e ao vento, engrossando-se. Suas proporções não são determinadas diretamente pela herança. Seus genes atuam na produção de substâncias necessárias ao engrossamento das regiões afetadas pelas pressões externas. Os mecanismos modificadores da forma durante o crescimento, neste caso, dependem de hormônios, em particular da *auxina* (ácido indol-acético), que provoca o crescimento do câmbio, camada de células vivas situada abaixo do súber.

Há a hipótese de que a curvatura de determinada região da planta, provocada pela gravidade ou pelo vento, é percebida por elementos do câmbio. Esses elementos indicariam que o crescimento secundário para engrossar o tronco deve ser acelerado. Apesar de não existirem provas a favor dessa hipótese, os silvicultores sabem que as árvores de inverno crescem mais rapidamente em perímetro se são submetidas a certo número de flexões mecânicas por dia. Também é bastante conhecido o fato de que as árvores que crescem ao ar livre não devem permanecer apoiadas por hastes durante muito tempo. Elas crescem exageradamente e ficam muito delgadas, tornando-se incapazes de se sustentarem quando as hastes são retiradas (MINKOFF, 1984; MORRISON & MORRISON, 1984; VILLEE et al., 1985; McMAHON & BONNER, 1986; OKUNO et al., 1986; BEGON et al., 1986; THOMPSON, 1987; RUFFIÉ, 1988a; SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1985, 1988; GOULD, 1987, 1992).

f.3) O Tamanho e a Troca de Materiais através de Superfícies

A velocidade de difusão de substâncias através de superfícies está relacionada com o tamanho. Nos organismos grandes, é necessário que as superfícies sejam bastante extensas para permitir o intercâmbio de nutrientes e gases em quantidade suficiente para suprir o grande volume interno. Por outro lado, os organismos pequenos podem ter superfícies de absorção relativamente menores. Os intestinos podem ser simples tubos retos e curtos e

pode estar ausente o sistema circulatório, já que a distribuição de gases e de alimento aos tecidos pode processar-se exclusivamente por difusão.

Na evolução dos organismos grandes e complexos, uma solução para o decréscimo de superfícies de troca é o desenvolvimento de órgãos internos, que possibilita que os animais conservem sua forma externa altamente bem sucedida e simples, que engloba um grande volume interno (BATSCHLET, 1984; VILLEE et al., 1985; McMAHON & BONNER, 1986; GOULD, 1987; THOMPSON, 1987; FLANNERY, 1989).

Segundo Haldane, citado por Gould (1987), *"a anatomia comparada é em grande parte a história da luta para aumentar a superfície em relação ao volume"* (p. 171). A evolução do sistema respiratório ilustra esta afirmativa: a minhoca, por ser um animal pequeno e ter uma taxa metabólica¹⁰ baixa, pode respirar exclusivamente pela pele. Isto porque sua superfície, em decorrência do pequeno tamanho corporal e da forma alongada, é suficiente para as trocas gasosas necessárias à vida, efetuadas por difusão¹¹. Quanto à espécie humana, a respiração exclusivamente pela pele não seria possível, em parte devido à nossa pequena superfície relativa, sendo mais eficiente, neste caso, a respiração pulmonar, que intensifica as trocas.

A superfície total de trocas entre o ar e o sangue nos pulmões do homem é enorme (cerca de 200 m²), graças à subdivisão da árvore brônquica até um nível microscópico. Além disso, a circulação sanguínea é um processo que permite intensificar as trocas com o meio, aumentando o número de moléculas de oxigênio que entram em contato com as células, por unidade de tempo. A pele, por outro lado, tem apenas 2 m², sendo que a difusão através dela é lenta (menos de 1% das trocas gasosas se efetua pela pele) (GASC, 1981; GOULD, 1987; SCHMIDT-NIELSEN, 1985, 1988).

No caso dos intestinos de animais com grandes dimensões, a manutenção da eficiência funcional é proporcionada pelo enrugamento (como no caso da válvula espiral dos tubarões), pelo aumento de seu comprimento ou pela presença de micro(vilosidades) em sua superfície (MINKOFF, 1984; THOMPSON, 1987; FUTUYMA, 1992).

¹⁰ A taxa metabólica corresponde à intensidade de trocas de matéria e energia em um animal numa unidade de tempo. O método mais empregado para sua medida é a determinação da taxa de consumo de oxigênio em condições em que este consumo é mínimo (taxa metabólica basal). Sua estimativa indica o custo energético que representa para o ecossistema o sustento de determinado animal ((SCHMIDT-NIELSEN, 1988; PETERS, 1989; POUGH et al., 1993).

¹¹ Certos animais, mesmo sendo menores do que as minhocas, apresentam órgãos respiratórios, uma vez que têm uma taxa metabólica relativamente mais intensa (SCHMIDT-NIELSEN, 1988).

As populações de animais que, em decorrência de mutações e outros fatores genéticos, adquirem tamanhos muito superiores àqueles característicos de sua espécie, têm menor chance de sobrevivência, podendo ser desfavorecidos pela seleção natural¹². Os insetos, por exemplo, respiram através de invaginações de sua superfície corporal (traquéias). O oxigênio precisa atravessar a superfície das traquéias para alcançar todo o volume do corpo. Insetos muito grandes necessitariam de traquéias mais numerosas e ramificadas. Caso atingissem o tamanho de um pequeno mamífero, eles teriam todo o seu corpo preenchido pelas traquéias, de forma que não haveria espaço para outros órgãos internos ou, então, teriam que possuir um metabolismo bem menos intenso que outros organismos de sua própria espécie. É por isso que os insetos não podem exceder certo tamanho, mantendo o mesmo nível de atividade. Uma evidência neste sentido é que os peixes mais ativos têm uma maior área relativa nas brânquias (SCHMIDT-NIELSEN, 1985; BEGON et al., 1986; GOULD, 1987; THOMPSON, 1987).

Devido à sua grande superfície relativa, certos organismos pequenos, como ácaros, carrapatos, pulgas, gafanhotos, etc., têm um mecanismo surpreendente de obtenção de água! Eles utilizam a água que se condensa sobre suas superfícies corporais (SCHMIDT-NIELSEN, 1985).

Certas restrições são impostas aos organismos de tamanhos pequenos: há evidências que indicam não poderem os mesmos ter órgãos de alta complexidade. Assim, entre os rotíferos, organismos que mostram uma tendência evolutiva persistente à diminuição do tamanho, há algumas espécies menores que, ao invés de terem, como as maiores, um canal alimentar que conecta boca e ânus, têm em seu sistema digestivo uma alteração bastante peculiar. Elas dispõem exclusivamente de células para o transporte do alimento da boca ao ânus. Estas células exercem, portanto, uma função equivalente aos vacúolos, organelas celulares encontradas nos protozoários.

O aumento de tamanho, por outro lado, requer o acréscimo de divisão de trabalho entre as partes constituintes, de forma que a complexidade de um organismo aumenta

¹² O uso da expressão "**seleção natural**" para retratar a relação dos seres vivos com os fatores ambientais no decorrer do processo evolutivo é considerado, por Maturana e Varela (1990), como decorrente de nossa confiança irrestrita no que vemos. Segundo estes autores, por estarmos na situação de observadores, descrevemos o **acoplamento estrutural** entre organismo e meio de forma unidirecional. Segundo estes autores, os seres vivos são sistemas autopoieticos e, portanto, operacionalmente independentes do meio ambiente. Nesta perspectiva, a complementaridade entre organismo e meio não é concebida como sendo gerada por uma direcionalidade externa. O emprego de tal expressão será mantido neste trabalho, embora tenhamos consciência da procedência de tal crítica.

com seu tamanho. Sabe-se, por exemplo, que há uma correlação entre o tamanho e o número aproximado de tipos de células de um organismo. Por exemplo, a baleia azul tem 120 tipos celulares enquanto que os foraminíferos têm apenas um tipo (McMAHON & BONNER, 1986).

-Fisiologia Celular:

Supõe-se que as células não ultrapassem seu limite máximo de tamanho devido a limitações mecânicas que seriam a elas impostas para a realização da difusão e de outras funções que compõem o seu metabolismo, tendo em vista a relação área superficial-volume. Este limite depende de sua forma e de sua taxa metabólica (TOWNSEND et al., 1981; BATSCHELET, 1984; VILLIE et al., 1985; BEGON et al., 1986; McMAHON & BONNER, 1986; OKUNO et al., 1986; THOMPSON, 1987).

Com relação ao tamanho das células, uma diferença que pode ser observada é que as células eucariotas são maiores que as bactérias (células procariotas). Já as cianofíceas, também células procariotas, têm um tamanho próximo ao das células eucariotas.

Apesar da grande diversidade de tamanhos dos organismos pluricelulares, a dimensão das células eucariotas tem se mantido constante entre limites notavelmente restritos. Elas têm em torno de 10µm, havendo certos organismos unicelulares que, por disporem de certas características diferenciadas (material genético repetido várias vezes, baixo nível metabólico), excedem significativamente este valor. Como a célula eucariota mantém sempre aproximadamente o mesmo tamanho, podemos concluir que os organismos pluricelulares grandes possuem mais células que os pequenos.

Como as células conseguem detectar o tamanho do organismo do qual fazem parte é um mecanismo desconhecido. Apesar das células serem unidades autônomas, aquelas que constituem um animal grande são mais especializadas, têm uma taxa metabólica menor, uma menor atividade enzimática e uma vida mais dilatada do que aquelas que compõem um animal pequeno (McMAHON & BONNER, 1986).

O surgimento da estrutura celular do tipo eucariota¹³ foi importante para o caminho evolutivo que conduziu aos animais e plantas pluricelulares e "*o fazer-se pluricelular*

¹³ A simbiose entre estruturas celulares procarióticas (sem compartimentos internos) é uma das hipóteses para o surgimento de estruturas celulares eucarióticas (com compartimentos internos) ao longo da evolução. Foi formulada por L. Margulis, no final da década de 70, e tem recebido apoio no meio acadêmico (MATURANA & VARELA, 1990).

é um modo especialmente significativo de fazer-se grande. O advento da pluricelularidade abriu as comportas para a evolução."¹⁴ (McMAHON & BONNER, 1986, p. 7).

f.4) Tamanho e Taxas Metabólicas

Os primeiros cientistas a se deterem na análise das implicações do tamanho, em Biologia, foram os fisiologistas, ao estudarem as relações existentes entre metabolismo e tamanho corporal. Em 1883, Max Rubner investigou a taxa metabólica de cães de diversos tamanhos, verificando que ela era, em termos relativos, maior nos animais pequenos. Propôs, então, que a taxa metabólica seria determinada pela área superficial do corpo e pela necessidade de manter a temperatura corporal.

Em 1930, o fisiologista J. F. Rameaux e o matemático P. F. Sarrus reconheceram que os animais perdem calor através da superfície corporal, enquanto que sua capacidade de produzi-lo está relacionada com o volume. Deduziram, portanto, que quanto maior for o animal, maior será a produção de calor em relação à sua perda, de forma que o quociente entre a taxa metabólica e o peso corporal não é constante, nem mesmo numa série de organismos de tamanhos distintos pertencentes a uma mesma espécie.

De fato, ao se comparar organismos da mesma espécie com formas corporais relacionadas isometricamente, a taxa basal de consumo de oxigênio é aproximadamente proporcional à massa elevada ao expoente 0,67 ($M^{2/3}$ ou $M^{0,67}$), podendo ser, portanto, relacionada à geometria corporal. Isto porque também a área superficial é proporcional a $M^{0,67}$.

Porém, percebeu-se mais tarde, a partir dos estudos de Max Kleiber, publicados em 1932, que esta interpretação, que mostrou-se apropriada para comparações entre indivíduos da mesma espécie, com pequena diferença de tamanho entre eles, não poderia ser generalizada como uma "**lei da superfície**", como foi estabelecida, pois não se aplicava a comparações entre organismos de espécies diferentes, entre os quais é comum uma ampla variedade de tamanhos.

Tais estudos permitiram esclarecer com maior exatidão as relações existentes entre o metabolismo e o tamanho corporal ao demonstrarem que, quando se compara a taxa

¹⁴ Maturana e Varela (1990) analisam a relação entre a duração dos ciclos de vida dos organismos pluricelulares e seus tamanhos. Concluem que a frequência de gerações nos seres maiores é menor devido ao tempo requerido para o crescimento e para a diferenciação celular.

metabólica de mamíferos de espécies diferentes, a variação alométrica com o tamanho corporal é diferente daquela verificada quando se trata de organismos da mesma espécie.

Ao estudar uma ampla série de animais, do rato ao elefante, este cientista verificou que a taxa metabólica é proporcional à massa corporal elevada, aproximadamente, ao expoente 0,75 ($M^{0,75}$). Esta relação alométrica foi posteriormente denominada **lei de Kleiber**, em sua homenagem (BATSCHELET, 1984; SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1985; McMAHON & BONNER, 1986; OKUNO et al., 1986; FOLEY, 1993; POUGH et al., 1993).

Portanto, o trabalho de Kleiber levou a uma reformulação de conceitos, uma vez que o pensamento que vigorava até a década de 30 sobre o estudo das taxas metabólicas tinha como obstáculo a ênfase nas superfícies. Este cientista mostrou não só que a taxa metabólica é uma função surpreendentemente regular do tamanho corporal, mas também que é significativamente diferente de uma função direta da superfície. Esta concepção correspondeu a uma ruptura com a idéia de que o estímulo primário da relação entre taxa metabólica e tamanho corporal é a regulação da temperatura. Permitiu concluir, por exemplo, que os seres humanos se alimentariam menos do que de fato o fazem se suas taxas metabólicas fossem uma função direta da superfície corporal e da necessidade de termorregulação¹⁵.

Outra evidência de que a relação entre taxa metabólica e tamanho não é regulada diretamente pela necessidade de compensar a perda de calor pela superfície corporal é que, mesmo nos peixes, em que a regulação da temperatura não é problema, uma vez que seus corpos mantêm-se em equilíbrio térmico com a água, observa-se a mesma relação alométrica, ou seja, a taxa metabólica é proporcional a $M^{0,75}$ (SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1985).

Tendo como base a mecânica da locomoção, McMahon e Bonner (1986), consideram possível que a área da seção transversal do corpo seja o fator determinante da taxa metabólica, e não a superfície total, já que, conforme o próprio McMahon demonstrou matematicamente, em 1983, o diâmetro do corpo aumenta com o tamanho corporal mais depressa do que a dimensão longitudinal, o que não acontece quando comparamos organismos isométricos.

¹⁵ Essa reformulação conceitual ainda não foi incorporada à maior parte da literatura científica consultada, quando esta aborda o tema termorregulação. Hardy (1981) e Flannery (1989), por exemplo, associam a grande relação área superficial-volume dos animais pequenos a uma grande perda de calor e à necessidade de comerem proporcionalmente mais.

Uma evidência favorável a essa hipótese é que a área da seção transversal é proporcional à $M^{0,75}$, coincidindo com o expoente da lei de Kleiber. Há, além disso, razões teóricas pelas quais a área da seção transversal deve relacionar-se com a taxa metabólica: se a máxima tensão desenvolvida por qualquer músculo é independente do tamanho do corpo e a área da seção transversal é proporcional a $M^{0,75}$, tanto a força desenvolvida pelo músculo quanto a necessidade de oxigênio, que é consequência de tal força, aumentam também proporcionalmente a $M^{0,75}$ ¹⁶ (McMAHON & BONNER, 1986).

Mesmo com a inexistência de uma explicação consensualmente aceita para a lei de Kleiber, não resta dúvida de que os animais menores têm taxas metabólicas proporcionalmente mais elevadas ¹⁷, sendo freqüente se dizer que isto explica por que comem quase sem parar e são tão ativos.

- Vantagens e Desvantagens Energéticas do Tamanho:

A medida da taxa de ingestão de alimentos é útil na determinação da eficiência com que um animal converte o alimento em novos tecidos. Esta taxa aumenta, aproximadamente, segundo a relação expressa por $M^{0,75}$, não diferindo, portanto, da relação alométrica entre tamanho corporal e taxa metabólica. Portanto, os animais pequenos, que têm altas taxas metabólicas, comem proporcionalmente mais que os grandes (PETERS, 1989).

Ao analisar as vantagens e desvantagens energéticas dos organismos grandes e pequenos, Taylor (1977) questiona se existiria um tamanho animal ótimo no qual a produtividade de alimentos fosse maior e pudesse servir de base para a utilização econômica. Segundo ele, um raciocínio falacioso, do ponto de vista de sua lógica, leva a se considerar que, como cada grama de um rato perde calor numa taxa 20 vezes maior que um grama de elefante, os animais maiores seriam mais eficientes em converter seu alimento em biomassa. Isso porque perderiam menos energia como calor.

¹⁶ Peters (1989) e Pough et al. (1993) consideram que todas as tentativas existentes para explicar o expoente 0,75 da lei de Kleiber (relação alométrica que permite prever a maioria das relações corporais, em substituição à lei da superfície), têm sido insatisfatórias e infrutíferas, incluindo entre elas a explicação fornecida por McMahon & Bonner (1986). Segundo Pough et al. (1993), mesmo que a base mecanicista do processo ainda não tenha sido explicada satisfatoriamente, a lei da superfície e a lei de Kleiber devem ser usadas para comparações intra e interespecíficas, respectivamente, uma vez que têm profundas implicações ecológicas e evolutivas.

¹⁷ De acordo com a descrição do fisiologista Douglas Wilkie, em 1977, há uma alteração na taxa metabólica dos recém-nascidos logo após o nascimento. Sua taxa basal de consumo de oxigênio aumenta, durante as 36 primeiras horas de vida, de 3,5 ml/min/kg (adequada para um animal do tamanho da mãe) a 7 ml/min/kg (apropriada para a massa corporal do bebê). Assim, conclui-se que, enquanto o feto está sendo gerado, ele manifesta taxas metabólicas equivalentes àquelas próprias dos órgãos da mãe (McMAHON & BONNER, 1986).

É atribuído a Kleiber o reconhecimento do equívoco envolvido neste raciocínio, quando demonstrou que o tamanho do corpo não afeta a eficiência de utilização do alimento pelos animais homeotérmicos. Na realidade, do ponto de vista da produção, é mais vantajoso criar animais menores, pois eles convertem uma mesma quantidade de alimento em uma mesma quantidade de proteína, de forma muito mais rápida que os grandes (TAYLOR, 1977; PETERS, 1989).

A extensão desta análise aos animais pecilotérmicos indica que eles, por apresentarem taxas metabólicas muito mais baixas (29 vezes menores)¹⁸, comem menos que os homeotérmicos de tamanho correspondente, tendo, conseqüentemente, uma eficiência produtiva muito maior. Portanto, para os ecossistemas e para os criadores, é mais barato, do ponto de vista energético, criar animais pecilotérmicos que homeotérmicos.

Sabe-se, por exemplo, que o suprimento energético que mantém um animal homeotérmico seria suficiente para sustentar de 10 a 30 animais pecilotérmicos de tamanho correspondente. No entanto, a substituição de nossa dieta tradicional por outra baseada em animais pecilotérmicos envolveria resistência, mesmo com o reconhecimento de sua eficiência energética. É interessante ainda observar que, entre os animais pecilotérmicos, os menores também têm taxas metabólicas mais intensas e, portanto, maior eficiência produtiva.

Quanto aos organismos unicelulares, suas taxas metabólicas são inferiores às verificadas nos animais (8 vezes menores do que as de um animal pecilotérmico de tamanho hipoteticamente correspondente). Mas mesmo entre eles, os menores têm um metabolismo mais intenso (OKUNO et al., 1986; SCHMIDT-NIELSEN, 1988; PETERS, 1989; POUGH et al., 1993).

É surpreendente que, apesar dos organismos unicelulares e pluricelulares ectotérmicos¹⁹ terem um consumo de oxigênio inferior ao dos animais endotérmicos, praticamente a mesma relação alométrica foi verificada nestes três grupos no que se refere às suas taxas metabólicas. Estas são proporcionais a $M^{0,75}$. Tal relação deve, no entanto, ser

¹⁸ Segundo Pough et al. (1993), a taxa metabólica basal de um ectotérmico corresponde a 1/6 da de um endotérmico de tamanho correspondente, diferindo do valor apresentado pelos demais autores.

¹⁹ O uso dos termos *homeotérmico* (=temperatura constante) e *pecilotérmico* (=temperatura variável) tem sido abandonado pelos cientistas pois os conhecimentos recentes indicam que eles não podem ser aplicados a grupos de animais sem envolver contradições. A homeotermia funcional dos insetos em vôo e dos anfíbios e répteis grandes é uma evidência deste fato. Em substituição, têm sido adotados, preferencialmente, os termos *endotérmico* e *ectotérmico* como referência à **fonte de calor** utilizada na termorregulação (POUGH et al., 1993). Como algumas fontes bibliográficas utilizadas neste trabalho mantêm o uso dos primeiros termos, preferimos mantê-los no texto, porém tendo consciência de sua limitação.

considerada uma generalização estatística válida e não uma regra biológica verdadeira²⁰ (OKUNO et al., 1986; PETERS, 1989).

Os organismos homeotérmicos resistem por menos tempo à falta de alimento que os pecilotérmicos de tamanhos similares, o que os torna dependentes de um suprimento alimentar estável. Devido às suas baixas necessidades energéticas, os animais pecilotérmicos e os seres unicelulares adequam-se melhor a baixos níveis de recursos, podendo inclusive resistir a períodos prolongados de inanição.

Seja entre os animais homeotérmicos e pecilotérmicos ou entre os seres unicelulares, o tempo requerido para que as reservas energéticas sejam metabolizadas é maior nos organismos maiores de cada grupo. Sabe-se, por exemplo, que os mamíferos pequenos degradam 10 vezes mais energia química em calor por unidade de tempo que igual massa de mamíferos grandes. Portanto, quando se reduz a oferta alimentar, eles têm que diminuir suas taxas metabólicas e entrar em estado de hibernação, migrar para outras regiões, ou, então, usar alimentos previamente estocados. Estas adaptações também ocorrem entre as aves pequenas.

Considerando-se que um animal morre quando seu peso atinge em torno da metade do seu peso inicial, o tempo de sobrevivência de animais em jejum pode ser calculado com base em seu tamanho corporal e taxa metabólica. Além disso, resultados experimentais indicam que, em populações naturais, uma baixa disponibilidade de alimentos leva ao desaparecimento de espécies pequenas e de animais jovens (TOWNSEND et al., 1981; SCHMIDT-NIELSEN, 1985; PETERS, 1989).

Pough et al. (1993) analisam a relação existente entre o tamanho corporal, as dietas, os *habitats*, os sistemas de acasalamento, o comportamento anti-predatório e o tamanho dos grupos sociais dos ruminantes e conclui que todos estes fatores estão interrelacionados, embora reconheça o tamanho corporal como o fator-chave na determinação da ampla diversidade de características da ecologia e comportamento destes animais. Os ruminantes, como os demais mamíferos, têm uma taxa metabólica proporcional a $M^{0,75}$. Porém, os ruminantes menores, que têm maior necessidade energética, digerem o alimento de forma menos eficiente, uma vez que o volume do seu rúmen e, conseqüentemente, dos

²⁰ Segundo Peters (1989), o tamanho corporal pode explicar apenas parte das variações da taxa metabólica dos organismos. Outros fatores devem ser investigados para explicar as dispersões em torno das relações alométricas como, por exemplo, o conteúdo energético dos tecidos animais. Townsend et al. (1981), de forma coerente com esta idéia, afirmam que mesmo nos três grupos considerados (unicelulares, multicelulares ectotérmicos e multicelulares endotérmicos) há diferenças significativas na relação alométrica referente à taxa metabólica. Schmidt-Nielsen (1985), de forma contrária a tais interpretações, chega a afirmar que a relação alométrica relativa à taxa metabólica sugere a existência de uma regra biológica geral.

microrganismos simbiotes que digerem o alimento, aumenta proporcionalmente à massa corporal. Portanto, os animais menores têm que ser mais seletivos em relação ao alimento, o que interfere nos demais aspectos de sua ecologia e comportamento.

- Componentes Fisiológicos do Metabolismo:

A variação alométrica da taxa metabólica com o tamanho corporal tem implicações em uma série de aspectos da fisiologia animal.

Os animais homeotérmicos pequenos necessitam de um alto suprimento de oxigênio nos tecidos para manter sua intensa taxa metabólica e seus altos níveis de atividade. Sabe-se, por exemplo, que o consumo médio de oxigênio de um grama de tecido de rato é em torno de 100 vezes mais alto que o verificado em um grama de tecido de elefante. É inclusive por esta razão que mamíferos mergulhadores grandes podem ficar submersos por até duas horas, enquanto que os muito pequenos não podem exceder 30 segundos.

Nesses animais, o oxigênio se dissocia da hemoglobina mais rapidamente do que nos animais grandes, de forma que o descarregamento do oxigênio nos tecidos ocorre mais prontamente. Além disso, a pressão parcial do oxigênio nos pulmões é proporcionalmente maior, assim como a concentração de açúcar no sangue, a atividade de certas enzimas e a taxa de difusão do ar nos pulmões e tecidos.

A maior velocidade de difusão do oxigênio para os tecidos é assegurada pela maior densidade de capilares nos animais pequenos e, conseqüentemente, por um menor espaço de difusão. Assim, em uma seção transversal de 1 mm² de músculo de rato, há cerca de 2.000 capilares, enquanto que, no cavalo, na mesma área, há menos de 1.000.

Os animais pequenos, por terem uma taxa metabólica muito maior, em relação ao tamanho de seu corpo, e, conseqüentemente, maior consumo de oxigênio nos tecidos, têm freqüências cardíacas e respiratórias maiores como forma de ajustamento. Assim, por exemplo, enquanto no elefante, a freqüência cardíaca normal é de 25 pulsações por minuto, no homem é de 70 e numa espécie de musurano pigmeu de aproximadamente 3 g, que corresponde ao menor mamífero existente, é de 800.

Além destes, outros componentes fisiológicos do metabolismo fornecem sustentação à relação de Kleiber. O fluxo de gases; as taxas de consumo de água, de excreção urinária e de perda de água por evaporação; os volumes de sangue, de hemácias, de plasma e dos pulmões; e, ainda, as massas de diversos órgãos e substâncias (ex: hemoglobina) são proporcionais à taxa metabólica e, portanto, a $M^{0,75}$. A concentração de mitocôndrias e de

substâncias que atuam na oxidação dos alimentos durante a respiração celular também é aproximadamente proporcional à taxa metabólica.

Há regularidade em alguns quocientes entre períodos de tempo fisiológicos e a duração da vida de mamíferos de diferentes tamanhos. Por exemplo: os ciclos respiratórios ocupam aproximadamente 3×10^9 e os cardíacos $6,8 \times 10^{10}$ da duração total de vida dos mamíferos. Em conseqüência, todo mamífero pode viver o correspondente a $3,3 \times 10^8$ ciclos respiratórios ou $1,5 \times 10^9$ batimentos cardíacos²¹.

Isto significa que animais grandes e pequenos têm tempos fisiológicos diferentes, ou seja, para cada um deles o tempo do relógio tem um significado. Porém, do ponto de vista metabólico, ambos vivem um mesmo tempo. Embora o ciclo de vida de um animal pequeno seja mais rápido, ele apresenta, no curso de sua vida, aproximadamente o mesmo número de batimentos cardíacos que um animal grande! Mas há exceções pois, segundo este cálculo, a expectativa de vida de indivíduos da espécie humana seria de 20-25 anos (McMAHON & BONNER, 1986; SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1985, 1988; PETERS, 1989).

- Limites ao Tamanho:

As altas taxas metabólicas dos mamíferos pequenos indicam que deve existir um limite mínimo teórico para o seu tamanho, pois um animal com menos de 3 g, devido à sua grande superfície relativa, iria dissipar calor numa velocidade maior do que a de sua produção. Ele teria que comer a uma velocidade tão rápida e gastar tanta energia para procurar alimento que seria impossível a sua sobrevivência (BEGON et al., 1986; OKUNO et al., 1986; ORR, 1986; SCHMIDT-NIELSEN, 1988). É nesse sentido que se pode dizer que os mamíferos e demais organismos são "prisioneiros de seu passado evolutivo", ficando confinados a certas faixas de tamanho particulares (BEGON et al., 1986).

No caso dos seres unicelulares, sua taxa metabólica baixa (6 a 10 vezes menor que a de ectotérmicos multicelulares de tamanho hipoteticamente correspondente) permite que eles tenham pequenos tamanhos. Caso tal taxa fosse mais intensa, as reservas energéticas seriam gastas rapidamente.

Estudos desenvolvidos por Stanley, em 1973, têm dado sustentação à idéia de que o tamanho corporal grande não fornece por si só uma vantagem adaptativa. Num contexto

²¹ Este tema também é abordado por J. S. Gould em seu artigo "Os tempos de vida que nos couberam em sorte", citado nas referências bibliográficas.

evolucionário mais amplo, ser maior não é necessariamente melhor, havendo limites metabólicos diferenciados ao tamanho máximo dos organismos unicelulares, multicelulares ectotérmicos e multicelulares endotérmicos. Nestes dois últimos grupos, além dos limites físicos impostos a um grande tamanho, a dificuldade de dissipação de calor, tendo em vista a pequena relação área superficial-volume, limita altos níveis metabólicos e de atividade. Assim, por exemplo, a perda de calor por unidade de massa em um elefante é menor que 0,1% da verificada no menor mamífero existente (TOWNSEND et al., 1981; PETERS, 1989).

É com base nestes estudos que Townsend et al. (1981) afirmam que *"a importância das relações entre massa e superfície corporal em governar o que é evolutivamente possível e o corolário de que há limites metabólicos ao tamanho não podem ser esquecidos"* (p. 34).

O papel dos animais homeotérmicos e pecilotérmicos nos ecossistemas terrestres relaciona-se com seu tamanho corporal. Os homeotérmicos não podem atingir tamanhos tão reduzidos quando os vertebrados pecilotérmicos (0,3 g), tendo um limite mínimo de tamanho de uma ordem de magnitude maior (3 g) porque suas necessidades energéticas são 10 vezes maiores que a de pecilotérmicos com tamanho correspondente. Por atingirem tamanhos tão reduzidos, os vertebrados pecilotérmicos ocupam uma posição-chave no fluxo de energia dos ecossistemas (POUGH et al., 1993).

- Termorregulação:

Nos animais homeotérmicos, a manutenção da temperatura corporal em níveis adequados é alcançada por meio de certos comportamentos ou por adaptações morfológicas.

Nos animais pequenos, como por exemplo no musurano pigmeu, a termorregulação se dá pelo comportamento, através da exploração das diferenças de temperatura entre os microclimas disponíveis, com a procura pelos úmidos e com alto suprimento de água. Felizmente, seu pequeno tamanho permite a utilização de um grande número destes microclimas, que são inacessíveis às espécies maiores. Como sua área superficial é relativamente grande em relação ao volume e a quantidade de água disponível no corpo limitada, a evaporação seria um processo ineficiente de dissipação de calor, pois demandaria uma perda excessiva de água. Ela só é possível como uma resposta rápida a um aquecimento agudo. Roedores do deserto perderiam cerca de 15 a 30% de massa corporal em água, por hora, para manter a temperatura corporal constante. Esta perda é evitada pela posse

de um tegumento grosso e duro (THOMPSON, 1987; SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1985, 1988; MEDAWAR & MEDAWAR, 1989; PETERS, 1989; POUGH et al., 1993).

Os homeotérmicos grandes têm uma vantagem considerável na termorregulação por resistirem melhor a baixas temperaturas. Isto ocorre porque as temperaturas reduzidas induzem um aumento proporcionalmente menor na taxa metabólica dos animais homeotérmicos grandes do que dos pequenos, devido à menor relação área superficial-volume.

Eles são também mais resistentes a altas temperaturas, por razões correspondentes: a pequena relação área superficial-volume assegura uma taxa de ganho de calor reduzida e uma grande reserva de água para esfriamento por evaporação. Estes dados indicam que eles adequam-se melhor a ambientes quentes e secos, onde o esfriamento por evaporação é mais eficiente.

Eles podem, ainda, reduzir sua temperatura corporal vivendo dentro da água (ex: hipopótamo), ofegando (ex: cachorro, aves), lambendo patas e ventre (ex: gato, coelho), dissipando, durante a noite fria, o calor armazenado durante o dia, sem perda de água (ex: camelo), aumentando a área corporal (ex: o elefante africano aumenta sua área superficial em cerca de 1/6, abrindo suas orelhas) ou por expansões do corpo ricamente vascularizadas²² (ex: nos coelhos, a vascularização de suas compridas orelhas aumenta quando a temperatura ambiental é alta; nas baleias, golfinhos e pinguins, as extremidades funcionam como trocadores de calor) (SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1988; MEDAWAR & MEDAWAR, 1989; PETERS, 1989).

A temperatura dos animais homeotérmicos é relativamente constante dentro de cada grupo taxonômico, havendo poucas variações em função do tamanho (os pássaros menores, por exemplo, têm uma temperatura maior, enquanto que, nos mamíferos, a temperatura atinge o valor máximo em animais com 1 kg e diminui com o aumento do tamanho). Estes animais usam sua alta capacidade metabólica para estabilizar sua temperatura interna.

²² Uma das funções do sangue em organismos mais complexos é transportar o calor das partes mais internas do corpo para a superfície, possibilitando sua dissipação (SCHMIDT-NIELSEN, 1988). Em certos animais que são submetidos a temperaturas muito baixas (pinguins, baleias, etc.) ou que têm uma grande relação área superficial-volume (besouros, mariposas, etc.), as extremidades podem ser mantidas frias em relação à temperatura do interior do corpo por um mecanismo de contra-corrente no sistema circulatório. Tal mecanismo reduz a perda de calor para o ambiente pelas extremidades, que têm grande relação superfície-volume. Estes organismos que manifestam variações na temperatura das partes de seu corpo são chamados *heterotérmicos regionais* (ALEXANDER, 1987).

A estimativa da temperatura corporal dos animais pecilotérmicos é mais difícil. A temperatura dos animais terrestres pequenos e dos animais grandes que vivem na água ou no solo (meios com alta condutividade térmica) é próxima da temperatura ambiente, já que eles se aquecem e esfriam rapidamente. Estes animais têm alta tolerância térmica já que experienciam rápidas e intensas mudanças da temperatura corporal em associação com variações temporais e espaciais da temperatura ambiental. Os insetos parecem ser uma exceção. Como, durante o voo, suas taxas metabólicas excedem a perda de calor, há um aumento da temperatura corporal que se mantém de 8 a 20°C acima da ambiental (homeotermia funcional). Isto acontece porque, ao contrário dos demais animais, em que a taxa metabólica máxima é cerca de 10 vezes a taxa metabólica basal, nos insetos ela é cerca de 150 a 300 vezes maior, coincidindo com a dos homeotérmicos de tamanho similar.

Quanto aos pecilotérmicos terrestres grandes, eles mantêm uma temperatura corporal diferente da ambiental pois, devido à baixa relação área superficial-volume, demoram para se aquecer ou esfriar. Uma vantagem é que estes animais podem esquentar seus corpos em um microhabitat quente e forragear em um outro, frio, ou vice-versa. Uma das implicações ecológicas deste fato é que os pecilotérmicos maiores têm um melhor desempenho que suas presas menores por poderem forragear num microhabitat com temperatura adversa por mais tempo, uma vez que demoram mais para esquentar ou esfriar. Outro mecanismo comportamental envolvido na termorregulação de pecilotérmicos grandes (por ex: lagartos, sapos) é a alteração da superfície corporal exposta.

Os animais pecilotérmicos terrestres muito grandes esfriam tão lentamente que suas temperaturas corporais nunca se equilibram com temperaturas externas flutuantes, manifestando uma grande independência térmica em relação ao ambiente (homeotermia funcional).

Em meados do século passado, antes mesmo que as obras de Darwin tivessem sido publicadas, foram formuladas as **regras ecogeográficas de Bergmann e Allen**, que correlacionam as variações geográficas contínuas do tamanho corporal e das proporções de partes do corpo das espécies à necessidade de termorregulação, evidenciando a adaptabilidade de tais variações.

Segundo a **regra de Bergmann**, em espécies de animais homeotérmicos com variação geográfica, as populações que habitam as regiões mais frias tendem a ter um maior tamanho corporal e as populações que vivem em regiões mais quentes tendem a ter, inversamente, um menor tamanho corporal.

Já a **regra de Allen** estabelece que, em espécies de animais homeotérmicos com variação geográfica, as populações que habitam as regiões mais frias têm as extremidades do corpo (por ex.: patas, cauda, focinho, orelha) mais curtas e espessas, e as populações que habitam regiões mais quentes tendem a ter, por outro lado, tais extremidades mais compridas e finas. Nas regiões tropicais, ambas as regras seguem a altitude (MAYR, 1977; HARDY, 1981; MINKOFF, 1984; BEGON et al., 1986; ORR, 1986; RUFFIÉ, 1988b; FUTUYMA, 1992).

A regra de Allen também refere-se à forma geral do corpo dos animais homeotérmicos que manifestam variação geográfica. Aqueles que vivem em clima frio tendem a ser esféricos, enquanto que os que vivem em clima quente, tendem a ser longilíneos. Isto porque a esfera é a forma geográfica que tem a menor superfície possível para um dado volume (SCHMIDT-NIELSEN, 1976, 1985).

Essas tendências são explicadas pela **relação entre a área superficial e o volume do corpo**, uma vez que os animais que vivem nas áreas mais frias e que tendem a ser maiores, esféricos ou com extremidades curtas, têm uma menor superfície relativa e, por isso, retêm mais o calor corporal (MINKOFF, 1984; BEGON et al., 1986; RUFFIÉ, 1988b).

Townsend et al. (1981) criticam a apresentação das correlações envolvidas nessas regras na forma de leis. Isto porque o organismo tem que ser concebido como um todo integrado, cujas características são selecionadas tendo em vista a relação custo-benefício no uso de recursos. Há, por exemplo, animais que vivem em ambientes frios que têm forma alongada e fina, mesmo isto significando um alto custo energético, pelo fato desta forma trazer grandes benefícios.

f.5) Tamanho Corporal e Comportamentos

A significação biológica de se possuir um grande tamanho pode ser ilustrada ao considerarmos as limitações físicas, decorrentes da gravidade, à manifestação de comportamentos. Ela impede que os animais grandes subam em troncos e muros com rapidez e faz com que tenham maior risco de se machucarem ou morrerem quando caem. Além disso, enquanto uma formiga pode levantar em torno de catorze vezes seu próprio peso, o homem tem dificuldade de sustentar e carregar um peso superior ao seu.

Por outro lado, além de serem animais irracionais, as formigas estão impossibilitadas de realizar uma série de ações executadas pelos homens. Elas não podem usar o fogo, uma vez que a menor chama estável é maior que elas. Além disso, são pequenas para transportar e adicionar combustível. Também não poderiam manejar ferramentas pois um martelo em miniatura teria uma energia cinética extremamente pequena. Lanças e flechas proporcionais ao seu tamanho não teriam eficiência, pois essas dependem de uma relação adequada entre a energia cinética e a área da superfície destes instrumentos. Estariam também impossibilitada de fabricar e de ler livros pois as finíssimas folhas se grudariam devido à ação das forças intermoleculares, bastante fortes nesta escala. Outro fator que impediria a leitura é a posse pela formiga de um reduzido número de neurônios.

Tomar banho é outra atividade restrita a organismos maiores. No caso das formigas, as gotículas de uma chuveiro em miniatura as golpeariam como se fossem pesados projéteis, uma vez que o tamanho da gota d'água é uma função da tensão superficial. Por outro lado, se a formiga tentasse tomar banho em uma única gota, a tensão superficial se oporia. Além disso, a quitina do corpo do inseto repele a água. Mesmo que a formiga conseguisse submergir, a tensão superficial tornaria muito difícil sua saída (McMAHON & BONNER, 1986; GOULD, 1987; THOMPSON, 1987).

- Tamanho do Cérebro:

Em qualquer grupo de organismos, o tamanho do cérebro é uma função do tamanho corporal, estando relacionado com a taxa metabólica. Isto significa que os animais maiores apresentam uma massa encefálica relativamente menor e que o tamanho do cérebro dos animais endotérmicos é cerca de 10 vezes maior que o dos animais ectotérmicos de tamanhos correspondentes.

No decorrer das mudanças evolutivas, houve uma tendência ao aumento do tamanho corporal dos homínídeos (os primeiros homínídeos tinham peso inferior a 30 kg). Porém, parece ter ocorrido uma seleção específica em direção ao aumento da massa cerebral na evolução dos homínídeos, que teria se dado de forma totalmente independente do tamanho corporal. Assim, durante o último milhão de anos da evolução humana, o tamanho do cérebro aumentou de uma capacidade craniana de 900 cm³ para 1400 cm³ ²³. Decorre daí que, entre as espécies animais, o *Homo sapiens* é a que apresenta um maior coeficiente de encefalização

²³ Segundo Wilson (1994), o cérebro homínídeo é cerca de 3,2 vezes maior que o de um macaco de tamanho correspondente ao de um ser humano.

(MINKOFF, 1984; McMAHON & BONNER, 1986; GOULD, 1987; DOBZHANSKY, 1988; FUTUYMA, 1992; FOLEY, 1993).

O fato de nosso cérebro ser proporcionalmente maior que o de todas as demais espécies animais não significa que nossa elevada capacidade mental é independente do nosso tamanho e que poderíamos manifestá-la caso fôssemos, por exemplo, do tamanho de uma formiga. A miniaturização de equipamentos eletrônicos pode gerar a crença de que o tamanho absoluto do cérebro pode não interferir no seu funcionamento. Porém, segundo Gould (1987), "*a natureza não miniaturiza neurônios*" (p. 176).

O aumento do tamanho do cérebro na espécie humana não foi acompanhado por um aumento correspondente na largura da região pélvica da fêmea, o que provoca dificuldades no parto e o nascimento dos bebês humanos em um estágio de desenvolvimento menos avançado que nos demais primatas, processo denominado **neotenia**. A dependência de cuidados durante um período maior após este nascimento prematuro acabou sendo favorável aos processos de socialização e aprendizagem (DOBZHANSKY, 1988).

Podemos concluir, ao final desse resgate das idéias cientificamente aceitas na atualidade sobre as relações entre Tamanho e Vida, que a importância que frequentemente atribuímos ao tamanho deriva de nossa concepção do senso comum de que ele é uma garantia de sucesso. Porém, "*a existência continuada de espécies grandes e pequenas indica que ambas são estratégias viáveis*" (PETERS, 1989, p. 193).

CAPÍTULO III

RELACÕES ENTRE TAMANHO E VIDA - AS TENDÊNCIAS DE PENSAMENTO DE PROFESSORES E ALUNOS

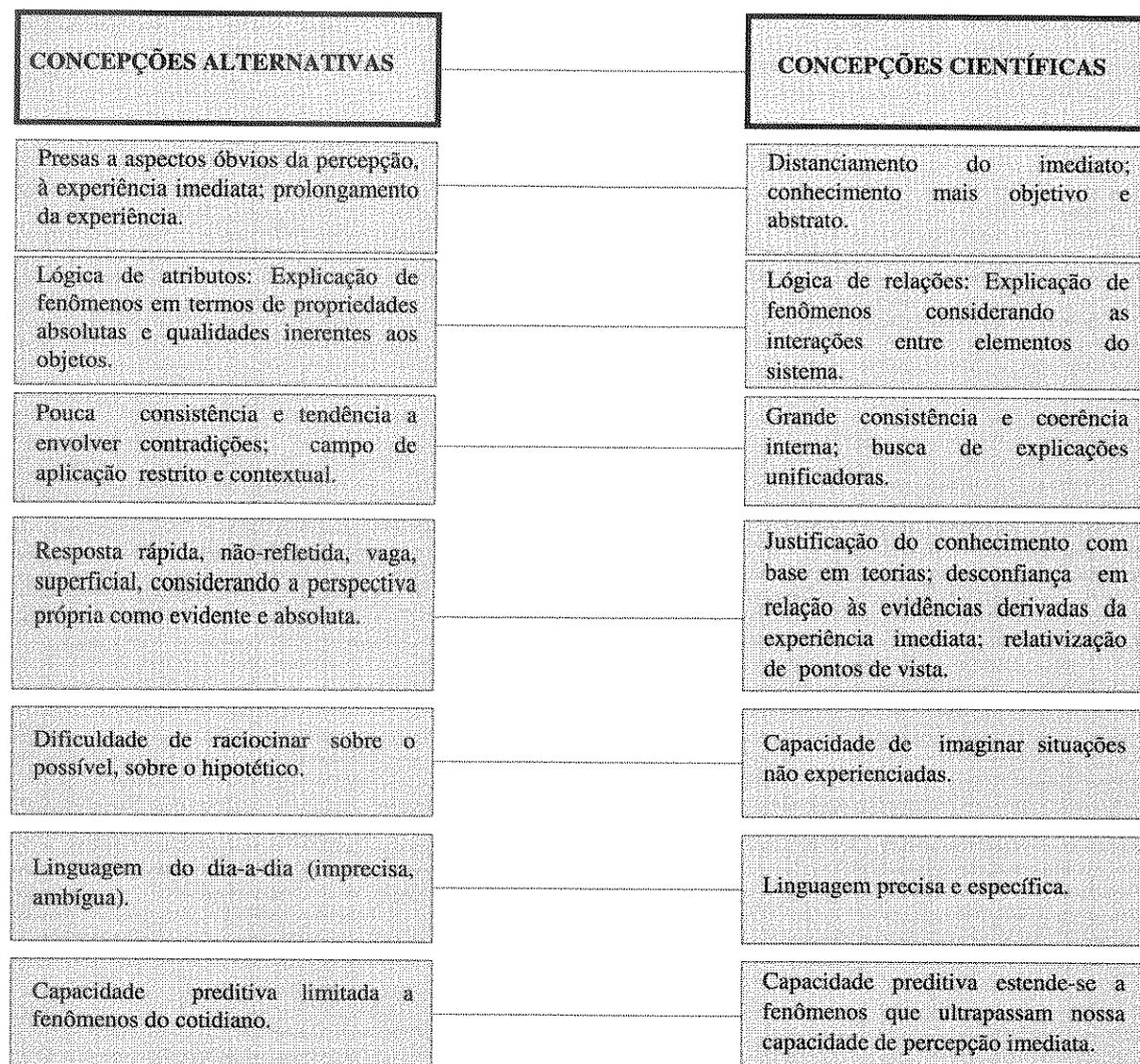
Este capítulo se inicia com a análise das **tendências de pensamento** sobre possíveis relações entre Tamanho e Vida percebidas pelos alunos dos três níveis de ensino envolvidos na pesquisa e explicitadas ao responderem a questões escritas, em sala de aula.

Num segundo momento, após a análise das idéias de alunos e professores sobre o tema, explicitadas em entrevistas, aprofundamos a discussão em torno de tais tendências de pensamento e comentamos as reações dos entrevistados ao entrarem em contato com um tema que na escola é tão pouco familiar. Buscamos, ainda, detectar as principais dificuldades e resistências à compreensão das implicações das mudanças de dimensões.

3.1. AS IDÉIAS DOS ALUNOS SOBRE AS RELAÇÕES ENTRE TAMANHO E VIDA

O conteúdo e as estratégias de pensamento dos alunos foram organizados segundo o **grau de complexidade na formulação das respostas**. Tomamos como referencial para análise as características que permitem diferenciar as concepções alternativas das aceitas cientificamente. Tal análise foi realizada em termos de **tendências do pensamento** e não com base em níveis ou categorias previamente fixados.

Esta opção decorre da pouca consistência das respostas fornecidas pelos alunos para as situações propostas, uma vez que elas variaram de acordo com o contexto, sem o recurso a idéias unificadoras sobre fenômenos que têm uma mesma base explicativa. Também deve-se à dificuldade de se classificar em níveis estáticos algo que está em constante mudança. A seguir, caracterizamos os pólos situados na idéia de contínuos derivada de tal opção, conforme são definidos por Santos (1991):



Tendo em vista a diversidade de concepções explicitadas pelos alunos, a variedade de aspectos ligados às relações entre Tamanho e Vida abordados e o grande número de alunos envolvidos na pesquisa, optamos por proceder a análise em termos de propensões ou tendências das respostas, buscando retratá-las para cada um dos níveis de ensino estudados. Estes três níveis de escolaridade serão diferenciados por letras (Nível A: estudantes da 2ª série do ensino fundamental; Nível B: estudantes da 6ª série do ensino fundamental; e, Nível C: estudantes da 2ª série do ensino médio).

O grau de formalização matemática, embora seja um parâmetro que permite caracterizar o nível de complexidade do conteúdo e do modo de raciocinar dos estudantes, não foi considerado na análise das respostas, uma vez que os alunos foram solicitados a expressá-las de forma qualitativa. Ao optarmos por este encaminhamento, tínhamos em mente dois objetivos:

evitar que a reflexão sobre as questões propostas fosse substituída pelo seu tratamento superficial, através da mera execução de operações mecânicas, e não gerar uma situação que poderia ser considerada insuperável pelos alunos em face da não-familiaridade dos mesmos com a temática da pesquisa e com os múltiplos aspectos abordados. Também tínhamos como pressuposto a idéia de que a aquisição da noção de proporcionalidade envolvida na relação área superficial-volume exige a mediação do professor, não se dando por descoberta autônoma do próprio aluno.

Consideramos que as idéias expressas pelos alunos não são independentes do contexto em que foram produzidas, mas que correspondem a estratégias cognitivas por eles mobilizadas, em função de seu nível de motivação e da imagem que construíram da situação, e que coexistem com sistemas paralelos de interpretação da realidade, que seriam aplicáveis caso fossem outras as circunstâncias.

Porém, mesmo considerando a pouca familiaridade dos alunos com o tema Tamanho e Vida, a dependência das idéias expressas ao contexto de sua produção e sua pouca estabilidade e coerência, é possível afirmar que elas expressam visões de mundo subjacentes que lhes dão sustentação e que derivam de sua experiência cotidiana e/ou escolar prévias, as quais buscamos evidenciar nas análises efetuadas.

Buscando manter coerência com a perspectiva epistemológica racionalista contemporânea, esclarecemos que a categorização e as hipóteses desenvolvidas sobre os enunciados dos alunos neste trabalho não são as únicas possíveis e que não resultam da imposição de uma ordem pelos próprios dados, mas sim aquelas que pude construir com base no quadro teórico adquirido ao longo dos estudos sobre as perspectivas epistemológicas e psicológicas de elaboração conceitual.

As questões apresentadas aos alunos foram reunidas em 7 grupos, englobando os problemas decorrentes das mudanças de escala na *locomção* (Questões 1a 7); na *sustentação* (Questões 8 a 10); em *quedas de grandes alturas* (Questões 11 a 15); no *transporte de materiais*²⁴ (Questões 16 e 17); nas *trocas de substâncias* (Questões 18 a 20); na *taxa metabólica* (Questões 21 e 22); e, em determinados *comportamentos* (Questões 23 a 26) (Anexo 1). Como elemento desencadeador das idéias dos alunos foram utilizadas figuras relacionadas com as dimensões dos seres vivos (Anexo 2) e, especificamente, entre os alunos da 2ª série do ensino fundamental, histórias infantis que foram contadas, lidas, discutidas e por eles complementadas

²⁴ Nos capítulos II e IV, as concepções científicas e as sugestões de possibilidades de problematização e abordagem escolar do tema Tamanho e Vida foram agrupadas em apenas 5 (cinco) grupos, uma vez que os aspectos relativos a *quedas de grandes alturas* e *transporte de materiais* em diferentes dimensões foram abordados no item *Tamanho Corporal e Comportamentos*.

(Anexo 3). As respostas à questão que envolvia a apresentação pelos alunos dos filmes e livros de ficção científica conhecidos, que retratam alterações de tamanho, são apresentadas no Anexo 4.

A) Tamanho e Locomoção dos Seres Vivos

Em relação às implicações do tamanho na locomoção dos seres vivos, houve uma tendência entre os alunos dos três níveis de ensino a empregar uma lógica de atributos e a transpor para outras dimensões aspectos imediatos da nossa percepção, na análise das situações a eles apresentadas. A propensão foi em julgar os mecanismos de locomoção intrínsecos aos organismos ou necessários em função de seu tamanho, mas não em considerar que haveria restrições físicas à sua manifestação:

*"sim ela têm gara ..."*²⁵ (Rodrigo Correia²⁶ - nível A - Questão 1)

"poderia as unha dela e siguras por que ela ja andaga no teto." (Cleidmar - nível A - Questão 1)

"sim. porque não mudaria o comportamento" (Rodrigo - nível B - Questão 1)

"(...) não precisaria supir na parede porque ele poderiam se defender." (André Luiz - nível B - Questão 1)

"Sim. Por que ele é grande, mas pode andar em lugares maiores do que antes (...)" (Namir - nível B - Questão 1)

Esta tendência de se interpretar os fenômenos por meio da extensão de nossa própria experiência imediata deu-se especialmente em relação às questões que envolvem a diminuição de tamanho em várias ordens de grandeza. A redução do tamanho dos organismos não implicaria na possibilidade de emergirem novas propriedades ou restrições à sua locomoção.

"Não. Por que a gente é um ser humano. a gente não e um animal. e um animal é muito diferente das pessoas." (Beatriz - nível A - Questão 2)

"Não podia sube na parede porque ela não sobe na parede." (Daniele - nível A - Questão 2)

"Não. poque eles tem mãos macias e pode escorregar e pode machocar muito." (Alexandre - nível A - Questão 2)

"Não. Porque eles (homens) só têm dois braços e duas pernas e as formigas têm 3 pares de patas." (Danúbia - nível B - Questão 2)

"Não. (...) a formiga ja e experiente em andar pela parede." (Hérica - nível B - Questão 2)

"Não. Porque os seres humanos não tem os pés asperos iguais dos insetos" (Wilhey- nível B - Questão 2)

²⁵ As respostas dos alunos foram transcritas literalmente.

²⁶ Os nomes dos alunos são fictícios.

"Não. Por que nem por que iríamos ser menores iríamos ser formigas (...)elas ja tem essas características os pés e as mãos propios para isto" (Elenécio - nível B - Questão 2)

"Se ela é aquática e vive na água, e mesmo ficando pequena ela continuaria nadando do mesmo jeito." (Débora - nível B - Questão 6)

"Acho que sim, poderiam por que do mesmo jeito que elas usam remo flexível por meio de cílios e flagelos elas poderiam usar remos não flexíveis como os dos barcos." (Miriam - nível B - Questão 7)

"Sim. Era só ele por o remo para trás com força e depois para voltar ele deveria voltar devagar." (André - nível B - Questão 7)

"Acho que não, pois nós não temos seis patas como a formiga." (Leandro - nível C - Questão 2)

"Não. Porque não seriam preparados e nem teriam capacidades físicas para isso." (Bernardo - nível C - Questão 2)

"Não. A locomoção das formigas é feita por patas articuladas, fazendo com que ela se movimente para qualquer parte. No caso do ser humano, ele apenas diminuiria de tamanho, sua estrutura corporal continuaria a mesma não havendo assim facilidade de locomoção." (Vítor - nível C - Questão 2)

"Não. Certos insetos têm características próprias de andarem sobre a água. No caso das pessoas, apenas o tamanho diminuiria, suas características continuariam as mesmas." (Vítor - nível C - Questão 5)

"Não. Porque elas continuaria com as mesmas formas só diminuiria de tamanho" (Janaína - nível C - Questão 6)

"Sim. Pois ela só iria diminuir de tamanho mas continuaria tendo os seus dons porém com menor agilidade que o espermatozóide" (Fabiana Arbex - nível C - Questão 6)

"Sim. Pois a densidade da água não faria tanta diferença a ponto de prejudicar sua locomoção." (Humberto - nível C - Questão 6)

"Sim. Pois assim como o barco está no seu ambiente, esse protozoário estaria no ambiente do barco." (Rodrigo - nível C - Questão 7)

Entre os alunos dos níveis A e B, foi mais freqüente o reconhecimento intuitivo das limitações físicas ao aumento de dimensões.

"Não. Por que ela iria ser grande e pesada" (Beatriz - nível A - Questão 1)

"Ela não Poderia andar na Parede não se não ela se esburrachava todinha (...) ela morreria escorregando, escorregando até morrer com um enorme tombo bem feio (...) se esburrachava todinha todinha e não viveria nunca mais." (Daniel - nível A - Questão 1)

"Não. Porque ele seria muito grande" (Cristiane - nível A - Questão 3)

"Não. Por que o vento ia ser muito poco para a asa dela" (Jarbas - nível A - Questão 3)

"Não. Poque ele eria afunda" (Cristiane - nível A - Questão 4)

"Não. Porque nesse caso o peso que ele suportaria seria muito e sendo assim esse peso atrapalharia-o a se fixar na parede e muito menos andar no teto" (Aline - nível B - Questão 1)

"Não. Porque ele iria cair por causa do seu peso" (Reginaldo - nível B - Questão 3)

"Não. Porque ele ia crescer e como nós não podemos ele também não poderia." (Danúbia - nível B - Questão 3)

"Não. Por que o peso deles aumentaria e ele iria afundar" (Fátima - nível B - Questão 4)

Já entre os alunos do nível C, predominou a concepção de que vários mecanismos de locomoção poderiam ser mantidos, caso as dimensões lineares dos organismos fossem aumentadas na mesma proporção, o que revela o emprego de raciocínios em termos de propriedades inerentes, ou seja, uma lógica de atributos e não de relações:

"Sim. Porque um inseto fica na parede devido à sua estrutura orgânica e corpórea. Se ele aumentasse sua estrutura seria a mesma." (Rodrigo - Questão 1)

"Sim. Porque os insetos já nascem adaptados a fazer o seu dever. Não importa o tamanho, apenas seria estranho." (Valquíria Mira - Questão 1)

"Sim. Porque do mesmo jeito que ele iria crescer as asas iam ganhar mais resistência, e crescer junto." (Tatiana - Questão 3)

"Proporcionalmente aos demais insetos, ele teria a mesma força nas asas. Como a densidade do ar é a mesma, não faria diferença alguma o seu tamanho. Sua aerodinâmica é a mesma." (Rodrigo - Questão 3)

"Sim. Porque as patas que lhe permitem ficar em pé na água aumentariam de tamanho juntamente com os "músculos" que sustentariam o novo peso do inseto" (Rodrigo - Questão 4)

Entre os alunos do nível A, predominaram respostas que nos permitem concluir que tendem a conceber suas opiniões como evidentes e absolutas:

"Sim. Porque ele teria asa e claro que é pra voar." (Douglas - nível A - Questão 3)

"Sim. por que ele é um animal que tem aza porisso ele voa ele só não voa se não dve aza" (Jonathan - nível A - Questão 3)

A linguagem utilizada pelos alunos do Nível B indica uma maior relativização de suas idéias (Ex: "Na minha opinião eu acho que sim (...)" (Miriam); "Não sei, porque depende do vento (...)" (Dalmácio); "a não ser que suas asas (...)" (Aline), etc.), embora persista entre alguns a dogmatização de seus pontos de vista:

"Sim! porque ele teria as asas maiores" (Vanessa - nível B - Questão 3)

"Sim. Por quê todos os insetos voam e por maior que eles fossem eles iriam voar." (Gilzeane - nível B - Questão 3)

Os alunos do nível C, por outro lado, tendem a ser ainda mais cautelosos, colocando em dúvida suas perspectivas próprias (Ex: “*Talvez sim. (...)*” (Walkyria); “*Acho que não.(...)*” (Márcia); “*Não sei. (...)*” (Janiny).).

Entre os alunos do nível A, predominaram justificativas superficiais e a adoção de uma linguagem imprecisa. Também foi freqüente a manifestação de raciocínios com influência de valores subjetivos e a transposição de características humanas (antropomorfismo) aos insetos.

"Se - a formiga andar pelo o teto ela não ia agüentar os pés dela ia ficar soado e ela ia cair."
(grifo nosso) (José Carlos - **Questão 1**)

"Não. porque tinha medo" (Dilian - **Questão 2**)

"Não. Por que eles ia tomar conta da cidade." (Alexandre - **Questão 3**)

Houve uma tendência entre os alunos do nível B à manifestação de raciocínios antropocêntricos ou presos à experiência imediata, que retratam um obstáculo em refletir de forma objetiva sobre as restrições físicas às mudanças de dimensões, o qual foi traduzido em algumas respostas vagas e superficiais, presas a valores subjetivos:

"Não. Porque existem muitos insetos perigosos. e se eles fossem andar pelas paredes iriam atrapalhar a todos nós." (Gilzeane - **Questão 1**)

"Não. Por que ele iria dar muito mais trabalho para matar e iriam fazer muito mais sujeira, iriam ocupar também muito espaço" (Solange - **Questão 1**)

"Não. Porque seria impossível uma coisa de tal tamanho; atrapalharia as pessoas e outras coisas à mais, ele estragaria tudo o que passasse por perto." (Débora - **Questão 1**)

"Não. Porque andá pelas paredes sendo que ele e grande fica meio sem graça." (Hérica - **Questão 1**)

"Não. Pois nunca vi um inseto do tamanho de um homem (...)" (Márcia - **Questão 1**)

"Não. Por que ele não tem que ser do nosso tamanho." (Marjorie - **Questão 3**)

Alguns alunos dos níveis B e C evidenciaram um maior distanciamento da experiência cotidiana, ao imaginarem como o ambiente seria percebido em outras dimensões. Suas respostas alcançaram maior nível de abstração e envolveram o emprego, embora em alguns casos com imprecisões, de termos científicos. Embora tenham manifestado uma lógica de relações, não houve referência explícita à relação área superficial-volume e suas implicações na locomoção dos seres vivos em termos de adesão a superfícies e resistência dos fluidos ao deslocamento em pequenas dimensões. Nenhum deles considerou que o fluido seria percebido

como mais viscoso ou que a adesão a superfícies seria maior nos animais pequenos devido à sua maior relação área superficial-volume. Em alguns casos, reconheceram que a manutenção dos processos de locomoção em outras dimensões exigiria adaptações morfológicas ou alterações nas proporções corporais.

"Sim. Porque as condições microscópicas de relevo possibilitaria esta de se firmar em qualquer lugar para se locomoverem, não sofrendo praticamente quase que nenhuma ação da gravidade." (Patrícia - nível B - Questão 2)

"Não. Porque além da força da gravidade o tamanho não iria ajudar" (Janaína - nível B - Questão 3)

"Não. Por que o nosso peso seria maior um pouco do que o peso delas" (Fátima - nível B - Questão 5)

"Sim. Porque a película em sua superfície possui uma determinada resistência. Como o peso da pessoa seria muito pequeno, esta película impediria que tal afundasse." (Patrícia - nível B - Questão 5)

"Eu acho que não, por que ela não teria capacidade de nadar." (Fátima - nível B - Questão 6)

"Não. Porque não iam conseguir sair do lugar." (Rosilene - nível B - Questão 7)

"Não. Esse inseto teria seu peso aumentado e mesmo que suas patas fossem aderentes às paredes não seriam suficientes para sustentá-lo." (Humberto - nível C - Questão 1)

"Não. Devido ao grande peso e a força gravitacional." (Zênio - nível C - Questão 1)

"Não. Ele seria pesado demais para andar e a aderência não seria a mesma." (Bernardo - nível C - Questão 1)

"Talvez sim porque a gravidade teria menor atuação sobre nós." (Walkyria - nível C - Questão 2)

"Sim se adaptado com estruturas especiais para isto" (Vitor - nível C - Questão 3)

"Não. O peso não é proporcional, a não ser que todo o seu organismo se adequasse a tal condição." (Juliana Gonçalves - nível C - Questão 3)

"Acho que não. Por ser diminuto em seu estado normal não precisa de mecanismos para vencer a resistência do ar ou para se tornarem mais leves. Para poder voar tendo o nosso tamanho ele precisaria de modificações em seu aspecto anatômico" (Janiny - nível C - Questão 3)

"Não. Porque teria mais massa, seu peso seria maior, portanto, afundariam" (Taís - nível C - Questão 4)

"Não. Porque a força de gravidade da água sobre eles seria maior." (Diego - nível C - Questão 4)

"Talvez sim, pois seríamos mais leves que a água." (Walkyria - nível C - Questão 5)

"talvez pois seu peso relativo diminuiria por causa da pressão atmosférica" (Arcioli - nível C - Questão 5)

"Não. Porque a resistência da água seria maior." (Diego - nível C - Questão 6)

"Não. A água passaria ser um bando de moléculas sólidas" (Rodrigo - nível C - Questão 6)

"Não pois suas nadadeiras seriam muito pequenas" (Renato - nível C - Questão 6)

"Se ela fosse reduzida, junto com esta redução teria que haver mudanças, só poderia se deslocar se lhe fossem atribuídas tais propriedades" (Flávia - nível C - Questão 6)

"Não. Porque não teriam a mesma agilidade." (Bernardo - nível C - Questão 7)

"Não. Seria impossível para animais tão pequenos se impulsionar através desses remos." (Flávia - nível C - Questão 7)

B) Tamanho e Sustentação nos Seres Vivos

Ao serem solicitados a refletir sobre as implicações de mudanças isométricas de dimensões na capacidade de suporte de estruturas de sustentação, os alunos do nível A tenderam a considerar que tal capacidade não seria mantida na mesma proporção. Suas respostas manifestam uma percepção intuitiva de que o aumento de tamanho requer o desenvolvimento de estruturas de suporte mais grossas e/ou resistentes.

"Não. Ela não aguentaria e as perna da pessoa ia ficando bamba e ela ia caindo - caindo até ela cair para veler." (Daniel - Questão 8)

"Não. Por que ele e muito pezado a perna não ia guentar porque as perna é muito fina" (Jonathan - Questão 8)

"Não. Porque o inseto e mutto pezado e o esqúleto externo dele não pode agentar o pezo dele." (Helder - Questão 10)

Em relação à **questão 8**, apenas um aluno deste nível manifestou, explicitamente, a concepção de que as mudanças isométricas de dimensões seriam seguidas por aumento proporcional da resistência das estruturas de suporte:

"Sim. Porque ela e a suas pernas sao grade" (Alex Sandro)

Os alunos do nível B apresentaram opiniões contraditórias pois, por um lado, evidenciaram a percepção intuitiva de que o aumento de dimensões teria implicações na capacidade de suporte das estruturas de sustentação:

"Não. Porquê eles seriam muito grande, e precisariam de uma coisa mais resistente para sustentar o seu corpo, ou seja eles precisariam de uma coluna vertebral." (Cleidinéia - Questão 10)

Por outro lado, em outro contexto, prevaleceu entre eles um raciocínio em termos de atributos absolutos, em que fica evidente a idéia de que a resistência das estruturas de suporte é invariável e dependente da estrutura, qualquer que seja o tamanho do organismo.

"Sim. Normalmente por que vai ter tudo por igual." (Marjorie - Questão 8)

"Sim. Porque as pernas iam crescer conforme o corpo." (Márcia - Questão 8)

"Creio que sim porque aumentando todas as partes de seu corpo terá o mesmo efeito do que se ele fosse grande ou pequeno." (Miriam - Questão 8)

Entre os alunos do nível C, também ocorreram raciocínios intuitivos, especialmente entre aqueles que consideraram que as patas não teriam a mesma capacidade de suporte ou que um exoesqueleto seria ineficiente para promover a sustentação e permitir o crescimento por ecdise em organismos de grandes dimensões. Isto porque não estabeleceram, explicitamente, relação entre a resistência das estruturas de suporte e a área da seção transversal ou da superfície, respectivamente.

"Não, pois suas patas são muito finas e não suportaria o peso do seu corpo que aumentaria muito mais do que suas patas" (Renato - Questão 8)

"Não. Aumentando o tamanho aumentaria o peso, e um grande corpo não se sustentaria sem o esqueleto" (Flávia - Questão 10)

"Não. Eles teriam um outro tipo de esqueleto." (Ronaldo - Questão 10)

No entanto, entre os alunos do nível C, foram mais freqüentes as respostas que consideravam como um atributo independente do tamanho a resistência das patas ou do exoesqueleto como, por exemplo:

"Sim. Porque as suas patas cresceriam em proporção ao corpo, se quando pequenas elas se aguentão porque quando maiores não, se tudo vai aumentar proporcionalmente?" (Ana Alice - Questão 8)

"Sim porque a sua composição (do exoesqueleto) iria continuar a mesma." (Walkyria - Questão 10)

"Sim. Os insetos conseguem realizar esse processo de crescimento no seu tamanho normal. Proporcionalmente, num tamanho alterado suas estruturas que o permitem efetuar seu crescimento, também o permitiriam" (Rodrigo - Questão 10)

Ao responderem a **questão 9**, que foi apresentada apenas aos alunos dos níveis B e C, estes tenderam a atribuir a presença de troncos proporcionalmente mais grossos nas árvores grandes, ou seja, o crescimento maior em espessura que em altura, à vantagem obtida em

termos de resistência e sustentação, embora a maioria deles tenha considerado, ao responderem a questão 8, que estas crescem proporcionalmente ao aumento isométrico de tamanho.

"Porque a árvore sendo maior, ela pesaria e o tronco sendo fino, não agüentaria o peso dela, portanto uma árvore grande, claro que terá o tronco proporcionalmente mais grosso." (Débora - nível B)

"O tronco tem que crescer proporcionalmente ao peso das árvores para lhe da sustentação" (Flávia - nível C)

C) O Tamanho e a Queda de Grandes Alturas

Em relação às questões que tratam das implicações do tamanho em termos de danos provocados por quedas de grandes alturas, evidenciaram-se contradições nas respostas dos alunos do nível A pois, apesar de terem apresentado argumentos (pequeno tamanho, maior resistência do ar, amortecimento do impacto e pequeno peso) para o fato de animais pequenos machucarem-se menos em quedas de grandes alturas (Questão 12) e terem afirmado que insetos com dimensões aumentadas sofreriam maiores danos (Questão 11), tenderam a considerar que, se as pessoas tivessem suas dimensões reduzidas e caíssem de lugares altos, elas se machucariam mais ou até mesmo morreriam justamente porque seriam pequenas. Estas contradições retratam a influência de aspectos subjetivos, ao ser analisada uma situação envolvendo a espécie humana.

"eu inha machucar por quê eu era pequenininho" (Marcos - Questão 13)

"se você fosse pequena se você tivesse no alto você cair no chão poderia morrer" (José Carlos - Questão 13)

"Não. porque esta coisas são muito perigosa pra quem e tão pequeno (...)" (Douglas - Questão 15)

"se ajemte fose pequenininho caise de cima do armario da carteira eu moria e todo mundo moria Ela não moria porque ela e a boneca mas bonitinha do mundo" (Fabiano - Questão 13)

"a Chave do tamanho!"

Emilia era muito pequena mas Ela tinha medo de cair de sima du prédio até no chão. ai ela caiu mas Ela não morreu por causa que Ela e de pano. e não machucou Eu iria. porque eu não sou de pano engual a Emilia." (Beatriz - Questão 13)

A falta de objetividade no raciocínio dos alunos deste nível de ensino pode também ser evidenciada em respostas que envolvem a idéia de que a limitação ao pulo de uma pulga com as dimensões aumentadas seria os danos que esta causaria quando interagisse com outros seres ou objetos e não seu tamanho em si e, ainda, a consideração de suas concepções como auto-evidentes:

"que o as pesoua moreria por que more" (Diego - **Questão 13**)

"Por que ela ia esmaga um predio ela ia pula até lá no céu" (Jarbas - **Questão 14**)

"Porque ela ia derrubar o cachorro que ela tava nele" (Aline - **Questão 14**)

A tendência, entre os alunos dos níveis **B** e **C**, foi em considerar que os organismos menores machucam-se menos. Os alunos do nível **C** usaram uma linguagem mais especializada que os alunos do nível **B**, embora pouco precisa, empregando termos científicos como *força gravitacional*, *massa*, *peso*, *atrito* e *aceleração da gravidade*, para expressarem suas concepções:

"Não. Porque maior o animal maior séra o tombo." (André Luiz - nível **B** - **Questão 11**)

"Não. Porque cada um cai numa velocidade diferente." (Robson - nível **B** - **Questão 11**)

"Não. Os animais muito pequenos não se machucam porque a força gravitacional sobre eles é muito pequena" (Arcioli - nível **C** - **Questão 11**)

"Não, pois devido ao seu tamanho e seu peso a velocidade da decida e o impacto com o chão seriam muito maiores no animal grande e pesado" (Renato - nível **C** - **Questão 11**)

"Não. $\text{Peso} = \text{massa} \times \text{gravidade}$. Se um animal grande cair de uma altura, a sua massa, que é grande, multiplicada pela gravidade, que não muda, fará seu corpo acelerar mais e causar um impacto maior que causaria mais danos a ele. Num animal pequeno, o impacto seria menor pois sua massa é menor mas a aceleração da gravidade é a mesma." (Humberto - nível **C** - **Questão 11**)

"Porque as crianças são menores e menos pessadas"(Rosilene - nível **B** - **Questão 12**)

"Por causa da massa corporal; quanto menor a massa, menor será a intensidade com que a Terra irá atrá-lo e consequentemente menor será a machucadura" (Janiny - nível **C** - **Questão 12**)

"Por serem mais leves e caírem mais devagar. Como uma folha e uma pedra. A pedra cai com velocidade e a folha vagarosamente." (Fabiana Rodrigues - nível **C** - **Questão 12**)

"Porque os adultos tem massa maior que a das crianças, tendo assim um maior atrito com o solo." (Fabiana Arbex - nível **C** - **Questão 12**)

Alguns alunos destes dois níveis consideraram que animais pequenos machucam-se menos devido a características morfológicas e não devido ao tamanho reduzido:

"Não. (...) A formiga nao tem osso porisso ela não se machuca" (Elenécio - nível **B** - **Questão 11**)

"Não. Porque os insetos são mais leves e ao cair não se machucam, pois nos ossos deles existem sacos aéreos. E os nossos ossos são mais fortes, e com a queda nós machucamos" (Cleidinéia - nível **B** - **Questão 11**)

"Se uma formiguinha cair, ela por ser invertebrado não se quebraria. Se um gato cair, suas patas lhe sustentariam. No caso do homem, seus membros sentiriam o impacto da "pancada" e sua cabeça se racharia. Tudo vai estar ligado às estruturas do animal" (Rodrigo - nível C - **Questão 11**)

"Depende das características de cada animal. Por exemplo, se um gato cair de cima de um prédio, por possuir reflexos rápidos ele não irá se machucar, agora se um cachorro do mesmo tamanho caísse, a situação seria diferente" (Flávia - nível C - **Questão 11**)

Outros expressaram a opinião de que os seres pequenos machucam-se *mais* ao caírem de grandes alturas, raciocinando também em termos de atributos inerentes:

"Não. O pequeno talvez machuque mais porque se um elefante cai e um cachorro também, o cachorro tem menos gordura e é menor, o elefante é mais forte tem mais facilidade de não se machucar." (Danielle - nível B - **Questão 11**)

"Não. Eu acho que os pequenos machucariam muito mais por serem delicados, mais molinhos. Os grandes já são firmes e ao caírem caem de jeito menos doloroso." (Valquíria Mira - nível C - **Questão 11**)

"Apesar do impacto da queda ser menor devido ao menor peso, a formação óssea da criança é mais fraca portanto eu acredito que elas correm maior risco de se machucar do que os adultos" (Flávia - nível C - **Questão 12**)

"Não concordo com essa pergunta. As crianças tem uma formação óssea fraca." (Daniele Molinari - nível C - **Questão 12**)

Raciocínios que englobam a consideração de atributos inerentes à constituição biológica, especialmente às estruturas óssea e muscular, foram mais frequentes entre os alunos do nível C do que entre os do nível B:

"Porque as vezes os ossos das crianças não são totalmente juntos." (Danúbia - nível B - **Questão 12**)

"Por que as crianças tem uma estrutura muscular mas forte e tambem tem sorte" (Rodrigo - nível B - **Questão 12**)

"Porque os ossos ainda não estão totalmente formados e ainda não estão tão duros quanto dos adultos." (Paula - nível C - **Questão 12**)

"Por que o osso da criança é mais consistente do que o osso do adulto, cuja diáfese é oca" (Rodrigo - nível C - **Questão 12**)

"por que seus ossos e musculos são menos rígidos que os dos adultos." (Humberto - nível C - **Questão 12**)

"Por que são mais leves e possuem um poder de recuperação mais rápido" (Bernardo - nível C - **Questão 12**)

"Por serem mais leves, os ossos ainda estão em formação" (Janaína - nível C - **Questão 12**)

"Não. Porque os seres humanos grandes eles não aguentam, e pequeno também não aguentará porque eles pequenos é a mesma coisa que grandes só altera o tamanho" (André - nível B - Questão 15)

"Não. Porque o ser humano, o homem tem ossos, e o seu corpo pesaria devido a existência de ossos em seu corpo." (Cleidinéia - nível B - Questão 15)

"Não. O homem não têm essa característica dos insetos. Ele é completamente diferente" (Humberto - nível C - Questão 15)

"Não. Os seres humanos seriam menores, mais suas características continuariam as mesmas." (Leonardo - nível C - Questão 15)

A predominância, entre os alunos do nível C, da concepção de que pessoas com dimensões diminuídas estariam sujeitas aos mesmos riscos em quedas é coerente com tal tendência de pensamentos:

"Morreriam. Pois só iriam diminuir as proporções mas os riscos seriam os mesmos." (Fabiana Arbex - Questão 13)

"Morreriam do mesmo jeito. Poderíamos considerar que a resistência do ar aumentaria mas não seria suficiente para salvá-las." (Humberto - Questão 13)

A transposição de atributos físicos adaptativos para pequenas dimensões, ilustrada pelas concepções transcritas acima, evidencia a maior dificuldade dos alunos em reconhecer que novas propriedades podem advir da diminuição de dimensões. Nos três níveis de ensino, raciocínios em termos relacionais, levando em consideração o tamanho e não apenas aspectos morfofisiológicos na determinação dos danos provocados pela queda, foram mais frequentes na análise de situações que envolviam aumento de dimensões.

"Não. Se ela caise de lugar alto ela esprodia toda no chão e morreria" (Jarbas - nível A - Questão 11)

"Não. Se a formiga caise de um lugar muito alto. Ela até moria porque ela era uma formiga pequena e agora ela e grande ela e pesadas"(Aline - nível A - Questão 11)

"Não. ele não cosegiria pula ele iria estora" (Ederson - nível A - Questão 14)

"Não! porque uma pulga do nosso tamanho, ela não ia aguenta pula numa altura de quinhentos metros de auturas grandes ele morria." (José Carlos - nível A - Questão 14)

"Não. Por que o tamanho evita o pulo" (Alexsandro Machado - nível B - Questão 14)

"Não. (...) seria um absurdo se uma pulga do tamanho de uma anta conseguisse dar um pulo e contornar o mundo." (Aline - nível B - Questão 14)

"Não. Se o tamanho aumenta, logicamente o peso também irá aumentar, dificultando cada vez mais o seu pulo." (Ramon - nível C - Questão 14)

"Não. (...) quando o animal é grande e pesado muitos aspectos influem para que ele pule menos, como resistência do ar, gravidade e a força que o animal grande teria que fazer é muito maior do que o animal pequeno" (Renato - nível C - **Questão 14**)

Poucos alunos consideraram a possibilidade de emergirem novas propriedades em pequenas dimensões. Estes afirmaram que as pessoas sofreriam menores riscos em quedas e poderiam saltar grandes alturas ou, pelo menos, aumentar a relação altura do pulo/peso, tendo em vista seu pequeno tamanho:

"poderia por que eles tão piqueno iria até voar." (Moisés - nível A - **Questão 15**)

"Eu acho que não aconteceria nada porque agente ia ser muito pequeno e o vento amorticeria a queda por que quanto maior e a pessoa maior e a queda quanto menor melhor" (Elenécio - nível B - **Questão 13**)

"Elas não morreriam, pois não teriam tamanho bastante para quebrar alguns dos seus ossos." (Danúbia - nível B - **Questão 13**)

"Machucariamos, talvez, menos ou nada devido à força da gravidade que teria menor atuação e da resistência do ar." (Walkyria - nível C - **Questão 13**)

"Não machucariam pois o peso seria pequeno e o atrito mínimo." (Flávia - nível C - **Questão 13**)

"O pulo da pulga é uma particularidade dela, não é todo bichinho que sai pulando por aí... Os homens talvez pudessem aumentar a relação pulo/peso, aumentando o primeiro em função da diminuição do segundo" (Janiny - nível C - **Questão 15**)

A explicitação da idéia de que uma pulga com dimensões aumentadas poderia saltar grandes alturas em relação ao seu tamanho, embora menos freqüente nos três níveis de ensino, revela um tipo de raciocínio contra-evidente e preso a uma lógica de atributos:

"Sim. Porque ela normal da pulos tão autos imagina ela do tamanho de um homem (...)" (Douglas - nível A)

"Sim. (...) se ela diver a mesma forsa (...) ela conseguiria ate pular 230 metros mas dar uma vouta no mundo nunca." (Marco Aurélio - nível B)

"Sim. Acho que isso depende do animal, porque a pulga pula 100 X a altura delas e nós não." (Márcia - nível C)

"Concordo em parte. Se a pulga sair da órbita da Terra e tentar passar pela camada iônica dificilmente voltará." (Rodrigo - nível C)

D) O Tamanho e o Transporte de Materiais

Ao analisarem as implicações do tamanho no transporte de materiais, os alunos dos níveis A e B tenderam a manifestar contradições em suas respostas.

No caso dos alunos do nível A que, em suas justificativas, apresentaram, predominantemente, idéias que nos permitem inferir que dispõem de uma concepção de que a capacidade das formigas de carregar materiais várias vezes mais pesados que elas próprias, ao contrário dos seres humanos, é devida a propriedades inerentes à constituição física (Questão 16), contraditoriamente, tenderam a considerar que tal capacidade não seria preservada com o aumento de dimensões, revelando uma perspectiva relacional de raciocínio (Questão 17).

"pode porque elas tem esqueleto por fora." (William - Questão 16)

"SIM! porque ela é um insetos e nós não somos puriso ela já pode carregar coisas mais pesado."
(José Carlos - Questão 16)

"sabe as formigas tem mais força Por que ela come de tudo e nois não comemos." (Beatriz - Questão 16)

"Não. Porque ela nan tem esqueleto para iso tudo" (Elizângela - Questão 17)

"Não. porque era muito pesada para ela." (William - Questão 17)

"Não. Porque elas não ião ter a perna groso ela não ia guenta nem ela" (Fabiano - Questão 17)

"Não! porque nós somos muito maiores do que ela e também nós não temos a arma dura porque se a formiga fose do nóso tamanho ela não iria coseguir leva 350 kg mesmo a formiga com a armadura (...)." (Daniel - Questão 17)

Os alunos que consideraram que a propriedade das formigas de carregar materiais várias vezes mais pesados que seu próprio corpo seria mantida com o aumento das dimensões raciocinaram em termos de atributos inerentes, sem fazerem referência às limitações impostas pelo tamanho:

"Sim. Porque ela pode carega catze vezes mais pesado do que o corpo dela." (Elcimar - Questão 17)

"Sim. Porque ela tem uma armadura por fora do corpo que ela tem." (Douglas - Questão 17)

Uma aluna do nível A, analisou a capacidade das formigas de carregarem materiais várias vezes mais pesados que elas próprias em termos finalistas:

"porque ela tem que te seu formigeiro" (Elizângela - Questão 16)

Entre os alunos do nível B, houve predominância de respostas com referência ao tamanho e, no caso de uma aluna, à relação superfície-volume diferente em animais pequenos e grandes, para justificar a capacidade das formigas de carregarem materiais várias vezes mais pesados que elas próprias (Questão 16). Porém, contraditoriamente, tenderam a julgar que tal capacidade seria mantida com o aumento de dimensões, sendo vista, portanto, como uma propriedade intrínseca, decorrente de suas características.

"A formiga pode porque o peso dela é bem pequeno, agora o homem não aguenta por exemplo se ele pesa 80 kilos vezes 14 dá 1 tonelada 120 kilos." (André - Questão 16)

"Porque a pressão exercida na formiga pela ação da força da gravidade é muito menor comparado com a do homem, por causa da diferença da área da superfície de seu corpo e de seu peso (grifo nosso). Logo catorze vezes seu peso não seria algo que sofresse uma pressão muito grande, possibilitando a formiga de transporta os mesmos. Quanto ao homem isto não seria possível por causa de seu peso e da área de seu corpo." (Patrícia - Questão 16)

"Sim. Pois eu acho que sua força e seu corpo continuaria o mesmo, só mudaria no tamanho." (Solange - Questão 17)

"Sim. Porque quando ela é pequena ela aguenta se aumentar o tamanho ela também aguentará." (André - Questão 17)

Os alunos deste nível de ensino que consideraram que as formigas não manteriam as mesmas propriedades, caso fossem grandes, reconheceram as implicações do tamanho:

"Não. Porque ai eles iam ser muito grandes em relação ao seu tamanho normal e teriam que sustentar o peso do proprio corpo" (Elenécio - Questão 17)

"não! Por que ela já teria um peso bastante para não aguentaria a carregar catorze vezes mais do seu peso." (Vanessa - Questão 17)

Neste nível de ensino também foram freqüentes respostas com explicações deterministas e lamarckistas:

"Elas foram criadas para isso, nós não, mesmo coisas de um peso igual ao nosso ... Deus as criou assim (...)." (Débora - Questão 16)

"Por que elas são pequenas e tem seis patas e tem necessidade por isso elas carregam catorze vezes mais pesados." (grifo nosso) (Fátima - Questão 16)

"Porque ela não sabe calcular o tamanho e nem o peso do que ela esta carregando. Os humanos já não são acostumado pois não e todo lugar que ele trabalha e tem que pegar algum peso." (grifo nosso) (Hérica - Questão 16)

Entre os alunos do nível C, houve maior coerência entre as respostas, porém prevaleceu uma lógica de atributos na análise do tema proposto.

"Por causa de sua resistência, intimamente relacionada aos fatores morfo-fisiológicos e constitucionais desses pequenos insetos. Talvez por que tenha maior apoio (3 pares de pata) enquanto nós temos apenas 1 par" (Janiny - **Questão 16**)

"Isso já vem da própria natureza delas" (Ronaldo - **Questão 16**)

"Por causa de sua estrutura corporal e de suas patas que são leves em comparação ao seu corpo e as ajuda a se mover com maior facilidade mesmo carregando peso." (Fabiana Rodrigues - **Questão 16**)

"Acho que sim. Seu aspecto anatômico e fisiológico continuaria o mesmo só que em proporção maior" (Janiny - **Questão 17**)

"Sim. Se elas continuassem com suas 4 patas, conseguiriam facilmente." (Ramon - **Questão 17**)

Alguns alunos deste nível de ensino fizeram referência explícita ao maior peso ou à maior atuação da força da gravidade em materiais e seres com grandes dimensões, revelando uma perspectiva relacional na análise das implicações do tamanho:

"Porque ela não carrega os materiais com as patas e por haver maior nº delas (patas), tem maior apoio, pois o peso se divide entre elas. E a atuação da força da gravidade é menor na formiga" (Walkyria - **Questão 16**)

"porque ela é um inseto com peso desprezível e na sua proporção os materiais pesados seriam facilmente levados, o que não aconteceria conosco pois a força da gravidade influi diretamente. Sua estrutura permite, também a força atmosférica sobre ela é muito pequena" (Arcioli - **Questão 16**)

"Não. Pois catorze vezes o peso de um ser humano é muito mais pesado do que catorze vezes o peso de uma formiga" (Renato - **Questão 17**)

"Não. Porque só o peso do seu corpo já lhes atrapalharia." (Fabiana Rodrigues - **Questão 17**)

"Não. Porque a força gravitacional incidiria diretamente sobre o material e sobre ela daí ela não conseguiria levar o peso. A pressão atmosférica incide diretamente sobre os corpos e proporcionalmente a pressão seria maior sobre o seu corpo." (Arcioli - **Questão 17**)

"Não. Se nós geralmente não conseguimos Porque elas conseguirão. Não contaria com a sua estrutura nem com a gravidade. Seu peso também aumentaria." (Juliana Gonçalves - **Questão 17**)

E) O Tamanho e a Troca de Substâncias através de Superfícies

Em relação às questões que abordam as implicações do tamanho nas trocas de substâncias através de superfícies, apresentadas apenas aos alunos dos níveis B e C, houve a tendência entre eles a desconsiderar a existência de limitações físicas para sua ocorrência. Os poucos alunos que reconheceram a diminuição da eficiência das trocas com o aumento das dimensões, atribuíram-na a outros fatores, não fazendo referência à diminuição da relação área superficial-volume.

Em relação à divisão celular (Questão 18), os alunos tenderam a apresentar raciocínios finalistas e deterministas, desconsiderando a relação deste fenômeno com a existência de uma limitação física para as trocas necessárias à manutenção do metabolismo à medida em que o tamanho celular aumenta:

"Porque ela precisa dividir se não elas não formam outras." (Namiir - nível B)

"(...) Por que a Natureza é assim Deus fez assim" (Solange - nível B)

"Porque tem sempre o seu tamanho certo e por isso se dividem (...)" (Rosilene - nível B)

"Para sempre terem células novas no corpo" (Leonardo - nível C)

"As células constituídas no corpo, não poderão crescer, devido aos gêns." (Tais - nível C)

"Porque quando chegam a um determinado tamanho eles se separam com a função de formar o tecido" (Janaína - nível C)

A resposta do aluno Ronaldo, do nível C indica uma concepção contemplativa e não-explicativa do mundo:

"Coisa da Natureza" (Ronaldo)

Alguns alunos expressaram idéias causais para a divisão celular:

"Porque uma célula enorme não cumpriria seu "trabalho". Não formaria, também, tecidos." (Daniele Molinari - nível C)

"Porque ela fica com excesso de citoplasma. Por isso, ela precisa comandar de seu núcleo toda aquela massa de citoplasma. Acredito que se tirarmos um pedaço do citoplasma quando a célula estiver "grande", ela não precisará realizar a cissiparidade." (Rodrigo - nível C)

Porém, em alguns casos, tais explicações causais estavam também seguidas por considerações deterministas ou finalistas:

"(...) se ela for maior a capacidade dela é menor. Por que a Natureza é assim Deus fez assim"
(Solange - nível B)

"Porque existe um "padrão de tamanho" embutido nos genes da célula. (...) Quanto à divisão, ocorre até pelo aumento da dificuldade de circulação, respiração, etc." (Janiny - nível C)

Os alunos tenderam a considerar que a diversidade de processos de respiração (Questão 19) decorre, prioritária ou exclusivamente, de outros fatores (nível de evolução, nível de complexidade, composição, desenvolvimento, forma e habitat), mesmo com a solicitação de que explicassem tal variabilidade em função do **tamanho**:

"Devido ao seu tipo de vida (aquático, dulcícolas, terrestres e aéreas)." (Danúbia - nível B)

"Porque cada um tem uma forma de viver e tem seu habitat." (Rosilene - nível B)

"Não acho que o tamanho tenha algo a ver. As diferenças de pulmão está na evolução de cada animal" (Rodrigo - nível C)

"Isso não se deve somente ao tamanho, existe um conjunto de características que os leva a se agruparem em classes diferentes, que muitas vezes comportam animais de tamanhos até bem distintos mas com muitas outras semelhanças (ex: ap. respiratório)" (Janiny - nível C)

"Cada aparelho respiratório tem a sua função de acordo com o tamanho e complexidade do ser vivo." (Robson - nível C)

"As formas diferentes são para suprir as suas necessidades de composição." (Walkyria - nível C)

"Porque o desenvolvimento deles é diferente" (Fabiana Arbex - nível C)

"devido a sua forma e o lugar que habita" (Renato - nível C)

Alguns alunos buscaram elaborar uma explicação para as necessidades diferenciadas de oxigênio em função do tamanho, porém não fizeram referência à diminuição da relação área superficial-volume à medida que o tamanho corporal aumenta:

"Porque os organismos pequeno tem menos espaço para respirar" (Danielle - nível B)

"Para suportar o volume de ar proporcional ao seu tamanho" (Humberto - nível C)

"Devido a quantidade de células que possuem o corpo, estas precisam de mais oxigênio sendo necessário diferentes tipos de respiração" (Flávia - nível C)

"Cada organismo de acordo com um tamanho necessita de uma quantidade (x) de oxigenação. Uma minhoca não necessita da mesma proporção de ar que nós respiramos." (Juliana Gonçalves - nível C)

A tendência dos alunos em considerar que a diferenciação de processos de respiração não tem relação com o tamanho foi confirmada ao manifestarem, com maior

frequência, a idéia de que uma minhoca com dimensões aumentadas poderia manter a respiração cutânea (Questão 20):

"Porque ela continua sendo uma minhoca, o que iria acontecer é que ela por dentro iria aumentar" (Janaína - nível B)

"Porque só o homem respira pelos pulmões e se ela está adaptada a respirar pela pele acho que não modificaria nada." (Débora - nível B)

"Porquê ela só iria aumentar de tamanho ficaria igual respirando do mesmo jeito." (Danielle - nível B)

"(...) só seria alterado seu tamanho não sua morfo-fisiologia" (Janiny - nível C)

"A pele da minhoca é que lhe permite realizar a respiração cutânea. A pele da minhoca aumentaria e ela continuaria respirando do mesmo jeito" (Rodrigo - nível C)

"(...) a respiração cutânea já é da própria natureza dela" (Ronaldo - nível C)

Entre os alunos de ambos os níveis, houve respostas que indicam uma concepção de que o aumento de tamanho iria dispensar a necessidade de processos de respiração mais eficientes:

"Não sei. Quanto mais grande mais fácil de respirar." (Solange - nível B)

"Acho que não, porque ela teria mais ar do que necessitaria." (Márcia - nível C)

"Não. Ela não precisaria se esforçar tanto para respirar, pois possuindo um organismo maior a respiração se dá mais livremente." (Fabiana Rodrigues - nível C)

Apenas alguns alunos do nível C consideraram que o aumento de tamanho demandaria outro processo de respiração mais eficiente:

"Não pois precisaria de um aparelho de respiração mais complexo" (Renato)

"Não. Devido a quantidade de células que possuem o corpo, estas precisam de mais oxigênio sendo necessário diferentes tipos de respiração" (Flávia)

"Não. Porque por ser do nosso tamanho, eu acho que teria outra forma que ela iria se adaptar melhor." (Juliana Cordovil)

Para alguns alunos do nível B, a ineficiência da respiração cutânea seria decorrente do habitat em que a minhoca vive e não do nível de complexidade orgânica.

"Não. Porquê assim ela estaria enorme e teria que ter grandes aberturas na pele, entraria muita terra, e ela morreria sufocada." (Cleidinéia)

F) Tamanho e Taxas Metabólicas

Em relação a este tema, abordado apenas nos níveis **B** e **C**, houve a tendência entre os alunos a não associarem a taxa metabólica mais intensa dos animais pequenos à manutenção da temperatura corporal, tendo em vista a maior relação área superficial-volume em pequenas dimensões (Questão 21). Eles tenderam a utilizar elementos do enunciado da questão em suas respostas, ou seja, consideraram que os animais pequenos comem muito *porque* são ativos e/ou gastam muita energia...

"Porque para eles serem mais espessos eles precisam de muita alimentação." (Danúbia - nível **B**)

"por eles se movimentar muito ele se digere mais rapido por isso ele come muito" (Vanessa - nível **B**)

"Porque eles gastam muito energia fazendo assim com que comem sem parar." (Gilzeane - nível **B**)

"Porque por eles serem ativos, gastam muita energia e assim por ficarem com fome eles se alimentam muito." (Cleidinéia - nível **B**)

"Porque gastam mais energia!" (Juliana Cordovil - nível **C**)

"Seu metabolismo é muito acelerado." (Leonardo - nível **C**)

... ou, inversamente, são ativos **para** gastarem o que comeram:

"Eles comem muito mas eles são muito ativos eles comem e se locomóvem muito, assim eles vão absorvendo as vitaminas." (Miriam - nível **B**)

Aqueles que buscaram explicar a maior taxa de consumo de energia por unidade de massa nos animais menores, não a associaram à conservação da temperatura corporal, mas sim ao maior esforço/desgaste desses animais ou ao seu pequeno tamanho e menor complexidade:

"Porque usam mais energias, porque são pequenos e tem que fazer esforço." (Márcia - nível **C**)

"Os animais pequenos tem que percorrer distâncias maiores "com relação ao seu tamanho" por isso precisam consumir energia" (Juliana Golçalves - nível **C**)

"Comem pouco a toda hora para repor a energia gasta em suas atividades, devem ter um processo digestivo que transforma rapidamente o alimento em energia" (Flávia - nível **C**)

"Porque são organismos menos complexos, que não tem os órgãos que propiciam o armazenamento de energia e alimentos no corpo, seu metabolismo é muito acelerado." (Humberto - nível **C**)

"Porque devido ao seu tamanho e menor quantidade de células somáticas, o seu sistema circulatório é menor e isso permite o alimento correr mais rapidamente pelo corpo juntamente com a respiração, excreção e demais funções do organismo" (Rodrigo - nível **C**)

"Porque quase não possuem massa corporal e o que comem, gastam rapidamente como energia." (Walkyria - nível **C**)

"Seu sistema digestivo comporta menos alimento o qual se distribui rapidamente pelo corpo."
(Janiny - nível C)

Houve a tendência entre os alunos a considerar que, em termos de produtividade de alimentos (conversão de ração em biomassa), é mais conveniente criar animais grandes (Questão 21):

" (...) por que eles produzem mais carnes, eles se reproduzem melhor." (Solange - nível B)

" (...) porque os grandes pesam mais e assim valem mais." (Débora - nível B)

" (...) Pois têm-se poucos grandes e muitos pequenos. Então, gasta-se pouco com alimentos."
(Bernardo - nível C)

" (...) pois comem poucas vezes ao dia" (Renato - nível C)

" Os grandes comem relativamente menos e seu aproveitamento é melhor." (Juliana Golçalves - nível C)

Entre os alunos parece prevalecer a idéia do senso comum de que os animais pequenos, por perderem maior quantidade de energia em funções metabólicas, convertem seu alimento em biomassa com menor eficiência do que os grandes. Eles não relacionam o maior consumo de alimento pelos animais menores à sua conversão mais rápida em biomassa e, portanto, à maior produtividade por unidade de tempo. Mesmo os alunos que consideraram que os animais pequenos envolvem maior produtividade, se equivocaram ao justificá-la afirmando que eles comem *menos*:

"Pequenos. Porque embora eles se alimentem com mais frequência, comem muito menos quantidade de alimentos que um animal grande." (Fabiana Rodrigues - nível C)

"Pequenos porque a reprodução é maior, mais rápida e consomem menos." (Walkyria - nível C)

A idéia de que o animal que come menos é mais produtivo sustenta-se na concepção de que eles convertem menor proporção do alimento consumido em energia/calor.

G) Tamanho Corporal e Comportamentos

Em relação a este tema, prevaleceu entre os alunos dos três níveis de ensino o raciocínio em termos de propriedades inerentes, transpondo, para outras dimensões, habilidades que só se desenvolveram evolutivamente na espécie humana devido, entre outros fatores, ao seu tamanho corporal. Entre suas justificativas, houve predominância da concepção de que é

evidente, óbvio, que a mudança de escala não teria implicações nas ações humanas, com a desconsideração, inclusive da inviabilidade física de realização de algumas delas (impossibilidade de obtenção de chamadas estáveis e limitações decorrentes da atuação de forças de superfície em pequenas dimensões).

"Ela pode pensar sim, senhor." (José Carlos - nível A - Questão 23)

"poderiam por que as pessoas não fazem as coisas sem pensar." (Beatriz - nível A - Questão 23)

"poderiam sim por que eles tem seletro." (Rodrigo Correia - nível A - Questão 23)

"Em chuveiro de brinquedo ela poderia tomar seu banho sosegada." (Alexandre - nível A - Questão 24)

"Ela pode ler sim, senhor." (José Carlos - nível A - Questão 25)

"Poderiam porque o livro ia ser pequeninho." (Douglas - nível A - Questão 25)

"poderiam por que se fosse um fogo pequeno não poderiam cemar." (Moisés - nível A - Questão 26)

"Sim, pois eu acho que a formiga pensam também." (Solange - nível B - Questão 23)

"Sim, tamanho não é documento." (André Luiz - nível B - Questão 23)

"Sim. Pois o seu tamanho iria diminuir mas ele continuaria com tudo que tem em seu corpo, apenas de tamanho menor." (Cleidinéia - nível B - Questão 23)

"Não alteraria em nada a queda de seu tamanho." (Cleidinéia - nível B - Questão 24)

"Em gotas de água sim, porque não iam perder sua higiene sob seu corpo." (Danúbia - nível B - Questão 24)

"Sim. Pois se quando grandes fazem. Por que quando pequenas Não? Eu acho que só diminuiria seu tamanho. Mas seria possível fazer coisas proporcionais ao seu tamanho." (Solange - nível B - Questão 25)

"Acho que sim. Pois grandes elas utilizam pequenas não alteraria em Nada. Pois a sua capacidade seria conforme o seu tamanho." (Solange - nível B - Questão 26)

"Sim, porque o seu cérebro diminuiria na mesma proporção do corpo" (Arcioli - nível C - Questão 23)

"Sim. Pois a capacidade de raciocínio seria a mesma. Só diminuiria a proporção do corpo." (Estela - nível C - Questão 23)

"Sim. Apenas por diminuir o tamanho, a capacidade das pessoas raciocinarem não iria diminuir ou deixar de existir." (Vitor - nível C - Questão 23)

"Lógico que sim" (Ronaldo - nível C - Questão 24)

"Mesmo diminuindo o tamanho, as suas características continuaram as mesmas" (Daniele Corrêa - nível C - Questão 24)

"Não há nada que o atrapalhe a tomar banho assim." (Humberto - nível C - Questão 24)

"(...) o banho é necessidade humana e poderia ser satisfeita, neste caso com algumas gotas de água, chuva, sei lá!" (Janiny - nível C - Questão 24)

"Sim. Pois a capacidade de raciocínio seria a mesma. Só diminuiria a proporção do corpo." (Estela - nível C - Questão 25)

"Claro que sim. Basta utilizar qualquer material inflamável em proporção ao seu tamanho." (Humberto - nível C - Questão 26)

"O homem com sua inteligência teria a capacidade de utilizar o fogo" (Leonardo - nível C - Questão 26)

Somente alguns alunos dos níveis B e C reconheceram as implicações do pequeno tamanho na execução das ações consideradas, sendo que entre os últimos foram mais frequentes respostas com maior nível de abstração, envolvendo o reconhecimento seja da inviabilidade física de se obter chamas estáveis com dimensões pequenas, o que requer a percepção de que as propriedades dos materiais são diferenciadas de acordo com as dimensões, seja da falta de capacidade dos seres humanos para executá-las nas dimensões consideradas.

"Ela não pensa nada por que ela é muito pequena e não sabe de nada." (Regina - nível A - Questão 23)

"Eu acho que não porque elas seria muito pequena para pensar." (Elenécio - nível B - Questão 23)

"Não porque a formiga não pensa e não vai ser diferente com um ser humano diminuído." (Janaína - nível B - Questão 23)

"Não. Porque se as pessoas pequenas pensassem como seria o cérebro deles, pois se as formigas não pensam." (Hérica - nível B - Questão 23)

"Não. (...) o fogo consumiria instantaneamente os materiais colocado como combustível para queimar. Por causa do tamanho microscópico dos mesmos. Nesta condição não haveria como sustentar o fogo, tamanha seria a quantidade de material necessária." (Patrícia - nível B - Questão 26)

"Acho que não, porque elas seriam muito pequenas e o fogo não iria pegar porque estaria muito pequeno, ele não tem capacidade para ficar aceso." (Débora - nível B - Questão 26)

"Não. Por que não tem chama de fogo pequena. Se não iriam apagar" (Wilhey - nível B - Questão 26)

"Não. Pois teriam suas capacidades reduzidas" (Janaína - nível C - Questão 23)

"Não porque haveria menos células no cérebro." (Walkyria - nível C - Questão 23)

"Isso para mim é inimaginável. Os neurônios, já microscópicos, conseguiriam manter sua função? E o cérebro de dimensões tão reduzidas poderiam obter, armazenar e coordenar idéias e pensamentos? É super questionável! Por isso... Não sei!" (Janiny - nível C - Questão 23)

"Não. Não. Em pequena quantidade, o fogo é instável, não conseguem manter uma pequena tocha acesa por muito tempo." (Tatiana - nível C - Questão 26)

"Não. Pois as labaredas pequenas são muito maiores que as formigas." (Bernardo - nível C - Questão 26)

"Não. Acredito que não. (fogo "microscópico"? e o oxigênio) não seria possível." (Juliana Gonçalves - nível C - Questão 26)

"Não. Como dominariam o fogo? Se tentassem obtê-lo através da fricção de pedras, gravetos, etc, a faísca seria tão insignificante que qualquer ventinho a apagaria, tornando inútil qualquer tentativa nesse sentido." (Janiny - nível C - Questão 26)

"Não teria capacidade suficiente" (Flávia - nível C - Questão 26)

Os alunos do nível A valeram-se, predominantemente, de imagens afetivas, derivadas da experiência cotidiana para negarem a possibilidade de pessoas com dimensões reduzidas fazerem uso do fogo, referindo-se ao perigo de mexer com ele:

"Elas não poderia brinca com fogo." (José Carlos)

"Não. (...) porque elas poderiam se quemarem." (Douglas)

O estudo das idéias dos alunos permitiu-nos concluir que, mesmo havendo uma maior tendência à adoção pelos alunos do nível C de uma linguagem mais elaborada, com o uso de termos científicos, foram também comuns entre eles, embora com menor frequência, respostas que envolvem a absolutização de suas perspectivas próprias, com o uso de expressões como *"claro que sim"*, *"lógico que sim!"*.

Houve também entre eles uma tendência de pensamento que se prende à experiência imediata, mesmo quando já haviam recebido instrução sobre teorias e conceitos científicos que permitiriam responder e justificar as situações imaginárias apresentadas. Assim, por exemplo, no dia em que os alunos responderam as questões que tinham como explicação unificadora o conceito de peso e a teoria da gravitação universal, haviam acabado de estudar tais temas na aula de Física, fato evidenciado pelas notas do professor ainda presentes no quadro. Como esperávamos, tendo em vista a compartimentalização do conhecimento em disciplinas estanques e a descontextualização dos conteúdos de ensino, os alunos não relacionaram o conhecimento abstrato e formalizado matematicamente pelo professor de Física com as situações simples e qualitativas a eles apresentadas.

Quanto à visão de mundo que subjaz às concepções expressas pelos alunos, podemos afirmar que, nos três níveis de ensino, predomina entre os alunos a crença de que há uma regularidade no mundo e de que esta é independente do tamanho. Segundo a maioria deles, na maior parte das situações consideradas, as mudanças de dimensões não acarretam problemas de escala.

3.2. CONFRONTANDO AS TENDÊNCIAS DE PENSAMENTO DE PROFESSORES E ALUNOS SOBRE AS RELAÇÕES ENTRE TAMANHO E VIDA

Durante as entrevistas com estudantes dos três níveis de ensino, foram retomadas e aprofundadas as questões previamente apresentadas a eles, visando:

- a) perceber suas reações ao se verem na situação de pensar sobre situações hipotéticas pouco familiares e que exigem um distanciamento da experiência imediata;
- b) verificar a consistência de suas concepções e tendências de raciocínio, colocando-os em contato com quadros que sintetizavam os pontos de vista dos demais alunos da turma (Anexo 5);
- c) detectar suas reações ao perceberem incoerências entre as respostas escritas que forneceram e as formuladas neste novo contexto, assim como entre as respostas dadas a questões diferentes que tinham uma mesma base explicativa.

As entrevistas com os professores envolveram a explicitação de suas idéias sobre as questões escritas previamente apresentadas aos alunos. As respostas dadas pelos alunos, sintetizadas nos quadros, foram apresentadas aos professores e estes foram solicitados a emitir comentários sobre elas, quando, então, suas concepções eram expressas. Além deste objetivo, tínhamos também em mente:

- a) detectar as principais dificuldades e resistências à compreensão das implicações envolvidas nas mudanças de dimensões.
- b) verificar as reações dos professores ao perceberem suas próprias limitações na compreensão de situações que envolvem as relações entre Tamanho e Vida.

a) Perspectivas da Professora e Alunos do Nível A

Os alunos Douglas, Ederson e Cleidmar tenderam a considerar que os atributos e comportamentos dos seres vivos poderiam ser preservados em outras dimensões. Suas respostas envolvera muitas incoerências, inconsistências e raciocínios subjetivos. Alexandre, José Carlos e Marcos manifestaram uma desconfiança um pouco maior em relação à possibilidade de se transpor, para outras dimensões, aspectos de nossa realidade imediata.

As idéias expressas pelo aluno Douglas envolveram raciocínios subjetivos e incoerências, tanto em relação às respostas escritas, quanto entre diferentes trechos da entrevista. Assim, por exemplo:

- ENT. - *Será que uma pessoa pequenininha, ela poderia cair de lugares altos?*
 DOUGLAS - *Eu acho... porque... vamos supor que tenha um apartamento lá em cima, se eu cair de lá, eu vou machucar.*
 ENT. - *E por que você acha que você ia se machucar?*
 DOUGLAS - *Porque se eu caísse eu ia morrer só de susto da altura.*
 ENT. - *E da queda você acha que você ia morrer?*
 DOUGLAS - *Eu acho que eu ia morrer.*
 ENT. - *(...) Acontece em muito acidente da criança cair e não morrer. Será por que que ela não morre?*
 DOUGLAS - *Porque a pessoa quando é criança ela é mais leve. A pessoa quando é mais pesada, se ela cai, ela quebra.*
 ENT. - *E se a gente fosse do tamanho de uma formiguinha, a gente ia se machucar?*
 DOUGLAS - *Aí não. O vento ia bater na gente e ia levar nós.*
 ENT. - *Se a formiga fosse do seu tamanho (...), se ela caísse de um lugar alto ela ia se machucar?*
 DOUGLAS - *Eu acho que não.*
 ENT. - *E por que que ela não ia se machucar?*
 DOUGLAS - *Porque se ela fosse grande, ela tem seis patas... Ela ia cair em pé. (...) Mesmo assim, ela pode subir pela parede. Se ela cair, ela agarra na parede.*
 ENT. - *E as patas dela, iam agüentar manter ela em pé?*
 DOUGLAS - *Ia. Se ela fosse grandona, a perna dela ia ser grossona.*
 ENT. - *Você tinha respondido que a formiga nem mesmo ia poder andar...*
 DOUGLAS - *... se ela cair com a pata dentro do buraco, ela ia quebrar a pata.*
 ENT. - *(...) Se existisse uma pulga grandona, do seu tamanho, você acha que ela ia poder dar um pulão igual ela dá?*
 DOUGLAS - *Ia.*
 ENT. - *E aí como que ia ser esse pulo?*
 DOUGLAS - *Ia ser mais alto ainda!*
 ENT. - *Mas não ia ser perigoso na hora que ela caísse no chão não?*
 DOUGLAS - *Não.*
 ENT. - *Por que que não ia?*
 DOUGLAS - *Porque assim que ela cair, a pata dela ia agüentar segurar ela.*

A transposição do que nos é familiar para outras dimensões, sem dúvidas ou questionamentos, a concepção de adaptação como uma resposta às necessidades do organismo e o raciocínio segundo uma lógica de atributos podem ser ilustrados pelo seguinte trecho da entrevista de Ederson:

- ENT. - *Eu perguntei porque a formiga consegue carregar coisas mais pesadas do que ela várias vezes...*
 EDERSON - *Uma folha é pesada prá ela! Prá gente não é nada!*
 ENT. - *Por que será que a formiga consegue e a gente não consegue?*
 EDERSON - *A gente não precisa, a gente não consegue não.*
 ENT. - *E aí por que será que ela consegue?*
 EDERSON - *Ela é forte! (...) Ela tem quatro pernas. Se quebra uma, ela tem outras prá andar. Se quebra outra, ela também tem. Se quebrar as outras duas, já era!*
 ENT. - *Você acha que ela é forte porque ela tem mais patas do que a gente? É isso? Ela tem seis.*
 EDERSON - *Seis!?*

- ENT. - *É.*
- EDERSON - *Nossa! E eu pensando que ela tem quatro!*
- ENT. - *E se a formiga fosse do nosso tamanho, do tamanho de um cavalo?*
- EDERSON - *Ela ia levar a gente! Eu ia montar nela!*
- ENT. - *Mas aí você acha que ela ia carregar coisas 14 vezes mais pesadas do que ela?*
- EDERSON - *la. Se ela consegue, ela ia conseguir também!*
- ENT. - *E se a gente fosse pequenininho, do tamanho da formiga, a gente ia poder carregar coisas muito pesadas?*
- EDERSON - *Não.*
- ENT. - *Por quê?*
- EDERSON - *A gente aqui é meio dobrado. Tá vendo aqui? (mostrando a articulação do pulso) Se você abaixa ia quebrar!*
- ENT. - *Mas a patinha dela também tem dobrinhas. Tá vendo?*
- EDERSON - *É... Também tem.... Ah! Mas ela é forte mesmo!*

A presença de incoerências no discurso, em decorrência da não-abordagem, com base em idéias unificadoras, de fatos que requerem a mesma explicação, também caracterizou a entrevista de Ederson:

- ENT. - *Eu perguntei também se os animais pequenos machucam-se igual aos grandes. Se um gato e uma pessoa caírem de um lugar alto, eles se machucam igual?*
- EDERSON - *O gato é mais esperto. Ele é ruim de cair e machucar!*
- ENT. - *Por que será que ele não se machuca igual aos grandes? Uma formiguinha não se machuca...*
- EDERSON - *Não machuca porque ela é leve.*
- ENT. - *E o gato, por que ele não se machuca ou se machuca pouco?*
- EDERSON - *Não sei. Acho que quando eles cai lá... Eu tenho uma gatinha, né? Aqui tinha uma casa... a casa é alta. Lá embaixo tava a da minha avó. Ela caiu e foi parar lá perto da casa e não machucou nada.*
- ENT. - *E você acha que não se machuca por quê?*
- EDERSON - *Eles são mais espertos!*
- ENT. - *Mas por que eles são tão espertos assim?*
- EDERSON - *Ele cai assim: pum! (faz um gesto mostrando as unhas) Tudo com os pêlos pro alto assim!*
- ENT. - *Ah, é? Quando ele cai ele põe as unhas prá fora e aí não se machuca?*
- EDERSON - *Não machuca nada.*
- ENT. - *E a formiga, se ela fosse do seu tamanho e caísse de um lugar alto?*
- EDERSON - *Ela ia machucar.*
- ENT. - *Por quê?*
- EDERSON - *A gente é pesado. Ela ia ser do nosso tamanho. Ela já é gorduchona. Ia arrebentar tudo em volta.*
- ENT. - *E o gato, se ele ficasse maior?*
- EDERSON - *Ia machucar também.*
- ENT. - *Mesmo ele tendo as unhas? Você falou que ele põe prá fora e não se machuca...*
- EDERSON - *Não. O gato é esperto. Se ele ficar maior ainda, ele consegue pular.*
- ENT. - *Você acha que ele continua esperto?*
- EDERSON - *Continua.*
- ENT. - *Se ele fosse do seu tamanho assim?*
- EDERSON - *Ele continua esperto sim.*

Um trecho da entrevista de Ederson retrata a influência que desenhos animados podem ter na elaboração de explicações pelos alunos:

- ENT. - *Você acha que se você fosse pequenininho, você poderia pensar?*
 EDERSON - *Agora você me pega. Eu não sei não!*
 ENT. - *Do tamanho de uma formiguinha...*
 EDERSON - *Ah! O cérebro ia ficar pequeno, mas a gente ia poder pensar do mesmo jeito! A Shera, no desenho, ela ficou pequena mas ainda teve inteligência prá matar o inimigo.*

A pouca consistência das idéias de Cleidmar é evidenciada pela alteração de suas idéias à medida em que estas eram questionadas e pelo uso de justificativas diferentes para situações que envolvem uma explicação científica comum:

- CLEIDMAR - *Igual a formiga. A formiga cai do andar e não morre. Eu fico boba porque ela não morre. A tia falou que ela tem um negócio que ela não morre. Tem uma proteção.* (grifo nosso). *Eu jogo ela assim pro ar e ela sai andando.*
 ENT. - *Agora, se tivesse uma formiga enorme, se ela caísse de um lugar alto, você acha que ela ia se machucar?*
 CLEIDMAR - (...) *ela ia morrer. Se caísse de um lugar, a formiga é pesada, podia estourar a barriga e se estourar a barriga morre.* (grifo nosso)
 (...)
 ENT. - *Por que a formiga consegue carregar coisas bem mais pesadas do que ela?*
 CLEIDMAR - *Ela consegue...*
 ENT. - *Por quê?*
 CLEIDMAR - *Ah! Porque sim! Ela tem alguma coisa prá conseguir! (...)*
 ENT. - *Então você acha que tem alguma coisa nela que faz ela carregar?*
 CLEIDMAR - *É. Ajuda, né?*
 ENT. - *E se ela fosse grande, igual a gente, ela ia conseguir carregar?*
 CLEIDMAR - *Não.*
 ENT. - *Mas não tem alguma coisa nela que ajuda ela carregar?*
 CLEIDMAR - *Tem.*
 ENT. - *Ela ia continuar tendo se fosse grande, não?*
 CLEIDMAR - *É. Porque aí ela ia continuar tendo o negócio que ela tem. Não sei o que que é...*
 ENT. - *Ela não ia ser muito pesada se fosse grande?*
 CLEIDMAR - *Ah! Não ia não! Ela já acostumou de pequena!*

Uma série de comportamentos que foram considerados por Douglas, Ederson e Cleidmar como atributos inerentes, também foram assim considerados por Alexandre, José Carlos e Marcos. Os trechos da entrevista de José Carlos transcritos abaixo retratam este tipo de interpretação:

- ENT. - (...) *Se as pessoas fossem pequeninhas, do tamanho de uma formiga, você achou que elas iam morrer se caíssem de lugares altos. Por que você achou que elas iam se machucar... morrer...?*
 J. CARLOS - *Porque ela é pequena e, se ela caísse, os ossos dela iam quebrar todos.*
 ENT. - *Mas uma formiguinha, quando cai, ela não se machuca por quê?*
 J. CARLOS - *Porque ela é animal.*
 ENT. - *Mas se você fosse do tamanho da formiga e caísse, você acha que você ia se machucar?*
 J. CARLOS - *Ia.*
 ENT. - *Ia? Mas a formiga não se machuca. Por que que você se machucaria e a formiga não se machuca?*

J. CARLOS - *Porque eu sou gente e a formiga é um animal. (...) A formiga cai e não machuca, mas a gente é diferente. (...) Porque ela é um animal e nós não somos. Se nós fosse animal e ela gente, aí elas morreriam e nós não.*

(...)

J. CARLOS - *A formiga tem uma espécie... tipo uma roupa de ferro, ela vai cá mas isso protege ela (...).*

ENT. - *Um gato pode cair do telhado e ele não machuca...*

J. CARLOS - *Eu tinha um gatinho, desse tamanho, aí eu peguei, em cima da laje, e joguei ele lá embaixo assim e ele caiu e não machucou. Ele segurou com as quatro patas assim e ele não morreu.*

ENT. - *E por que que o gatinho não se machucou?*

J. CARLOS - *Porque ele tirou a unha prá fora e agarrou na terra. (...) Na hora que ele vai cair, ele agarra na terra e não machuca.*

ENT. - *(...) Se existisse uma formiga grande ela poderia cair de um lugar alto?*

J. CARLOS - *Se ela fosse grande, ela ia ter a "armadura" ainda. Podia cair e correr, igual eu falei aquela hora.*

Entretanto, ao interpretarem outras situações, houve um maior distanciamento em relação à percepção imediata:

ENT. - *Se os insetos fossem do seu tamanho, você acha que eles iam poder ter um esqueleto assim por fora do corpo?*

ALEXANDRE - *Não.*

ENT. - *Por quê?*

ALEXANDRE - *É porque nós não temos esqueleto por fora não. O nosso é dentro.*

ENT. - *Se o inseto fosse grande? Só o esqueleto por fora ia agüentar ele?*

ALEXANDRE - *Não.*

ENT. - *Por quê?*

ALEXANDRE - *Ah! Eu não sei explicar não. Se ele fosse grande ele ia precisar ter osso por dentro.*

ENT. - *Se a pulga ficasse muito grande, ela ia conseguir pular 100 vezes o tamanho dela?*

MARCOS - *Não*

ENT. - *Por que não?*

MARCOS - *Por causa do peso.*

ENT. - *Se a gente fosse pequeno, você acha que a gente ia conseguir pular mais alto?*

MARCOS - *Aha.*

ENT. - *Ia?*

MARCOS - *É.*

ENT. - *E por que a gente ia poder pular mais?*

MARCOS - *Porque o peso é pequeno.*

(...)

ENT. - *E se a formiga fosse do nosso tamanho? (...) Você acha que ela ia poder carregar coisas catorze vezes mais pesadas que ela?*

MARCOS - *Não.*

ENT. - *Não? E por que não?*

MARCOS - *Porque ela ia tá do mesmo tamanho que... A mesma coisa: se a gente fosse pequenininho talvez conseguia...*

ENT. - *Uma pulga grandona, será que ela poderia dar um pulo grandão?*

J. CARLOS - *Não. A perna dela não ia agüentar. Ela ia agüentar pular, mas se ela caísse, ela não ia agüentar e caía. Ela caía e ficava deitada no chão. (...) A perna dela pode até quebrar.*

Neste nível de ensino, os alunos mudam de opinião com frequência e reagem com naturalidade quando são alertados para a presença de incoerências em seu discurso. Talvez tal reação decorra do fato de não terem consciência de que várias das situações analisadas podem ser explicadas com base em um referencial teórico comum. Os trechos transcritos a seguir ilustram esta tendência. Evidenciam, ainda, a concepção de que a necessidade pode levar à emergência de novas características:

- ENT. - *Por que será que a formiga consegue carregar coisas tão pesadas e grandes?*
 ALEXANDRE - *Ah, não sei! Porque ela é mais forte que a gente... ela tá com fome...*
 ENT. - *Então você acha que ela carrega porque ela é forte e também porque tem fome e precisa carregar?*
 ALEXANDRE - *É.*
 ENT. - *E se a formiga fosse do nosso tamanho, será que ela ia conseguir carregar coisas tão pesadas, mais pesadas do que ela?*
 ALEXANDRE - *Ia. Quando ela crescer mais, ainda vai ficar mais forte.*
 ENT. - *Mas ela ia poder carregar coisas 14 vezes mais pesadas que ela? A gente não consegue...*
 ALEXANDRE - *Não sei... Eu tô em dúvida... Acho que grande assim não consegue não.*
 ENT. - *E ela não vai continuar tendo fome?*
 ALEXANDRE - *Ah, não! Já mudei de opinião. Ela vai conseguir sim. Ela consegue sim! Sabe por quê? Porque desde pequena ela faz isso...*
 (...)

 ENT. - *Eu perguntei também se as pessoas fossem pequenininhas, se elas iam se machucar quando caíssem de lugares altos. Você grande se machuca. E se você fosse pequeno?*
 ALEXANDRE - *Não. Porque eu ia ser pequeno.*
 ENT. - *Antes você tinha falado que, se você fosse pequenininho, você ia se machucar, que você ia ser igual, ia ser do mesmo jeito.*
 ALEXANDRE - *Desculpa eu ter falado.*
 ENT. - *Não tem problema não. Mas o que você está pensando agora?*
 ALEXANDRE - *Eu tô achando que eu ia sim. Porque a gente é de carne e osso. Mesmo pequeno machuca.*
 ENT. - *Você mudou de novo de opinião.*
 ALEXANDRE - *É porque a gente é de carne e osso e a formiga não.*

Podemos concluir que os alunos deste nível de ensino reagiram com naturalidade, envolvimento e interesse, ao responderem as questões propostas. O fato de, durante as entrevistas, não terem dado atenção aos quadros sintetizadores das idéias dos demais alunos e às suas próprias respostas escritas, fornecidas previamente, assim como a não-percepção de incoerências no seu discurso, indicam que seu raciocínio é predominantemente contextual.

As respostas fornecidas pela professora Márcia indicam uma similaridade entre o seu raciocínio e o empregado pelos seus alunos ao responderem as questões escritas, pois elas também foram pouco elaboradas e consideradas como evidentes, como certezas inquestionáveis, não necessitando de justificações, o que é evidenciado pelo uso de expressões como, por exemplo, "*claro que não*", "*Gente, não dá!*", "*Ah, claro!*".

A pouca disponibilidade de tempo para a entrevista e o estado de tensão e insegurança da professora, ao perceber sua limitação de conhecimentos sobre o tema, foram fatores que dificultaram a obtenção de respostas com um maior nível de justificação e a evidenciação de incoerências no seu discurso.

Em situações que envolviam aumento de dimensões, ela tendeu, assim como seus alunos, a raciocinar em termos relacionais com mais facilidade. Porém, o reconhecimento de que o assunto é novo para ela é evidenciado pela afirmação de que teria que estudar para abordá-lo em sala de aula:

- ENT. - (...) *se um aluno chegasse prá você e perguntasse: Será que se o inseto fosse grande, ele poderia andar pela parede, pelo teto? (...) O que você responderia? (...)*
- MÁRCIA - *Ah, eu teria que ler alguma coisa.*
- ENT. - *E o que você pensa? Uma formiga com as dimensões aumentadas poderia andar pelas paredes e pelo teto?*
- MÁRCIA - *Não. Claro que não.*
- ENT. - *Por que?*
- MÁRCIA - *Ai, gente. Ah, sei lá. Por que, no caso, como que ia conseguir? Ela ia... Ela não consegue grudar.*
- (...)
- ENT. - (...) *um inseto do nosso tamanho, ele poderia voar normalmente?*
- MÁRCIA - *Eu acho que não, devido ao peso, né?*
- (...)
- ENT. - *Se existisse uma formiga do nosso tamanho, o esqueleto que ela possui em volta do corpo, conseguiria sustentar o seu peso?*
- MÁRCIA - *Não.*
- ENT. - *Por que não?*
- MÁRCIA - *Por que aquilo é uma coisa, como que eu poderia explicar... Não é osso, é apenas um...*
- ENT. - *Mas ele também não iria crescer?*
- MÁRCIA - *Mas eu acho, na minha opinião, que não iria dar sustentação.*
- (...)
- ENT. - *Se existisse uma formiga do nosso tamanho, você acha que ela poderia cair de lugares muito altos sem se machucar ou morrer?*
- (...)
- MÁRCIA - *Eu acho que machucaria sim.*
- ENT. - *E o motivo?*
- MÁRCIA - *Por causa do peso.*

Apenas em dois momentos a professora Márcia considerou que o aumento de tamanho poderia não acarretar problemas:

- ENT. - *Se as formigas fossem maiores, do nosso tamanho ou até maiores do que nós, elas poderiam continuar carregando materiais assim tão mais pesados que elas?*
- MÁRCIA - *Sim. Poderia sim*
- (...)
- ENT. - *Se as pessoas fossem gigantes, como aconteceu na história de Helena (...). Aumentassem por igual e fossem gigantes. (...) as pernas iam suportar o peso?*
- MÁRCIA - *É. Se o aumento for por igual.*

Em relação às situações que lidavam com diminuição de escala, quase todas as respostas foram baseadas apenas numa lógica de atributos:

- ENT. - (...) *E por que as formigas podem carregar materiais muito mais pesados do que elas próprias?* (...)
- MÁRCIA - *Por que elas trabalham em grupo, não?*
- ENT. - *Mas mesmo uma formiga sozinha...*
- MÁRCIA - *Ah! Ela coloca o peso assim por igual, por exemplo, a folha, no corpo dela.*
- ENT. - *E se a gente fosse pequeno. Você acha que a gente poderia carregar materiais 14 vezes mais pesados do que nós?*
- MÁRCIA - *Não.*
- ENT. - *Por que não?*
- MÁRCIA - *Ah, gente! Depende assim do físico. A gente não agüenta. (...) É muito peso. O nosso físico não agüentaria.*
- ENT. - *E o físico dela é mais resistente? Seria isso?*
- MÁRCIA - *Aha.*
- (...)
- ENT. - *Se fosse possível diminuir o tamanho das pessoas, o que você acha que aconteceria com elas, caso caíssem de lugares muito altos? (...) Você ficou do tamanho da formiguinha. Se você caísse, você iria se machucar?*
- MÁRCIA - *Ah, claro.*
- ENT. - *Você iria se machucar?*
- MÁRCIA - *Sim. Por causa da queda.*
- ENT. - *Mas a formiga pequenininha não se machuca. Por que você iria se machucar?*
- MÁRCIA - *Ah, gente! É devido aos ossos, né?*
- (...)
- ENT. - (...) *Se existissem seres humanos do tamanho de uma formiga, você acha que eles poderiam saltar grandes alturas em relação ao seu tamanho como fazem alguns insetos?*
- MÁRCIA - *Não, uai. Seria de acordo com a minha capacidade. (...) Seria proporcional ao meu tamanho.*
- (...)
- ENT. - *Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam pensar?*
- MÁRCIA - *Sim. Não seriam pessoas? Só ia diminuir o tamanho.*
- ENT. - *E elas poderiam tomar banho em pequenos chuveiros ou gotas d'água? (...)*
- MÁRCIA - *Mas aí tudo teria que ser pequenininho, né?*
- ENT. - *É*
- MÁRCIA - *Claro. Se tudo diminuísse.*
- ENT. - (...) *poderiam produzir pequenos livros (...)?*
- MÁRCIA - *Uai! Se tudo diminuísse, ficasse pequenininho...*
- ENT. - *Você acha que não teria problema!*
- MÁRCIA - *Não teria problema.*
- ENT. - (...) *poderiam usar o fogo? Fazer fogueiras proporcionais ao seu tamanho?*
- MÁRCIA - *Aha. Mas tudo diminuído, né?*
- ENT. - *É.*
- MÁRCIA - *Então, tudo bem. Mas se fosse só a pessoa do tamanho da formiga não teria como. Como que ela ia ligar o chuveiro..., acender o fogão...?*

Apenas em um trecho da entrevista, a professora Márcia considerou a possibilidade de emergirem novas propriedades com a redução de escala:

ENT. - *Se existissem seres humanos do tamanho de uma formiga, você acha que eles poderiam andar pelas paredes e pelo teto, como fazem as formigas?*
 MÁRCIA - *Ah, sei lá, viu? (...) Peraí. Como é que é a pergunta?*
 (...)

 MÁRCIA - *Ué! Por que não?*

Neste nível de ensino, professora e alunos manifestaram maior facilidade em raciocinar sobre as implicações das mudanças de dimensões nas situações que envolviam aumento de escala. A transposição de aspectos de nossa experiência cotidiana para situações em que há redução de escala parece decorrer da dificuldade de se intuir ou imaginar as forças que prevalecem em pequenas dimensões.

A preocupação em dar as respostas certas e a dificuldade em raciocinar sobre as situações hipotéticas apresentadas, que foram recebidas com surpresa e estranhamento, geraram na professora uma grande ansiedade e a completa falta de atenção às idéias de seus alunos, que se encontravam disponíveis e que eram por mim comentadas eventualmente.

b) Perspectivas da Professora e Alunos do Nível B

As opiniões expressas pelos alunos André, André Luiz e Wilhey indicam que eles utilizaram, ao responderem as questões, um raciocínio predominantemente em termos de transposição e baseado numa lógica de atributos:

ENT. - *Você acha que, se existisse uma minhoca muito maior, que ela poderia respirar pela pele?*
 ANDRÉ - *Acho que poderia sim.*
 ENT. - *E por que você acha que poderia?*
 ANDRÉ - *Ah! Porque é a mesma coisa! Só aumentou o tamanho!*
 (...)

 ENT. - *(...) por que você acha que ela (pulga gigante) ia conseguir pular tão alto assim?*
 ANDRÉ - *Porque seria aumentando tudo. Se ela tem facilidade dela pular quando ela é pequena, eu acho que maior também. Acho que teria muita facilidade de pular.*

 ENT. - *Se existisse um inseto grande e ele tivesse a mesma estrutura, você acha que ele poderia ter um esqueleto externo e manter o mesmo processo de crescimento?*
 ANDRÉ LUIZ - *Ah! Se ele continuasse assim, crescendo, eu acho que sim!*
 ENT. - *E ele não seria muito pesado prá crescer desse jeito?*
 ANDRÉ LUIZ - *Não. Ele ia crescer normalmente, igual ele crescia quando era pequeno.*

ENT. - *Se existisse um inseto muito grande, ele poderia voar normalmente? Você achou que sim, porque as asas dele também iam crescer...*
 WILHEY - *É.*
 ENT. - *Mas ele também vai ficar pesado, não vai?*
 WILHEY - *Vai. Mas a asa dele aumenta!*
 ENT. - *Então, se a asa aumentar proporcionalmente ao corpo, não tem problema?*
 WILHEY - *Não.*

Em termos de consistência das idéias, o aluno André mudou, com frequência, de opinião, ao ser questionado. O trecho abaixo retrata uma situação em que isso acontece:

- ENT. - (...) *O comum é o tronco aumentar mais que o restante da árvore. Por que será que isso acontece? Você respondeu que é prá dar maior resistência. (...) Você acha que o caule ia agüentar sustentar aquela plantinha?*
- ANDRÉ - *Não. Porque ia ficar mais pesada, né? Eu acho que não resistia não.*
- ENT. - *Mas não ia aumentar tudo por igual?*
- ANDRÉ - *Aí não, aí resistia sim. Agüentava.*
- ENT. - *Então, por que será que as plantas, à medida que crescem, ficam com um tronco mais grosso? Que vantagem que teria isso? Será que precisaria ter isso?*
- ANDRÉ - *Não precisava não. Se ele agüenta o peso dela quando ele é assim, ele não precisava ir engrossando.*
- ENT. - *Então, por que é comum, ao invés do tronco aumentar por igual, ele aumentar mais?*
- ANDRÉ - *Ah! Porque tem... Chega até uma época que elas cresce, né? Aí, depois que elas pára de crescer, ela só vai engrossando assim o caule.*

A utilização de um raciocínio relacional restringiu-se a poucos trechos da entrevista. No trecho transcrito a seguir, André elaborou uma explicação de tal natureza, porém, logo após, retornou à idéia de propriedades inerentes:

- ENT. - (...) *por que as formigas conseguem carregar materiais mais pesados que elas? (...) Você achou que é porque o peso delas é pequeno, né? (...) Se uma formiga fosse muito grande, você acha que ela iria conseguir carregar...*
- ANDRÉ - *Poderia sim.*
- ENT. - *Por que você acha que poderia?*
- ANDRÉ - *Ah! Porque se ela agüenta quando ela era pequena, se ela pequenininha agüenta 14 vezes, então ela maior, ela agüentaria também! Só o tamanho que ia modificar, né?*
- ENT. - *Se a gente fosse do tamanho da formiga, você acha que a gente ia poder pegar tanta coisa assim?*
- ANDRÉ - (...) *Ah, não! Porque aí as nossas forças diminuiria, né?, pelo tamanho.*

As respostas de André Luiz também envolveram incoerências, uma vez que, em certas circunstâncias, ele considerou o tamanho um fator que influencia na manifestação de comportamentos, enquanto que, em outras, deu destaque às características morfológicas:

- ENT. - (...) *se as pessoas ficassem pequenas, será que elas se machucariam se caíssem de um lugar alto? Você respondeu que a gente não se machucaria ou se machucaria muito pouco porque a gente é pequeno. E porque que a gente pequeno não se machuca e grande se machuca?*
- ANDRÉ LUIZ - *Ah! Porque a gente é pequeno! Igual as pessoas fala, né? "maior a pessoa, maior é o tombo!". Se nós fosse pequeno, nós não ia machucar não porque a gente ia ser pequeno.*
- ENT. - *E por que você acha que não se machuca?*
- ANDRÉ LUIZ - *Ah! Acho que não!... A formiga é pequenininha, você joga ela lá de cima, ela não machuca... Porque não tem osso também, né?" Ah! Não sei, né? Se ela tivesse osso, acho que machucava.*
- ENT. - *A gente sendo pequeno e tendo ossos, você acha que a gente se machucaria?*

- ANDRÉ LUIZ - *Se a gente tivesse osso, acho que sim, né? A gente podia até quebrar o osso dependendo da altura. Mas se fosse assim igual inseto sem osso, acho que não.*
- ENT. - *Por que as crianças se machucam menos quando caem de lugares altos?*
- ANDRÉ LUIZ - *Tamanho!*
- ENT. - *Mas elas também não têm ossos?*
- ANDRÉ LUIZ - *Tem... Mas... sei lá!*
- (...)
- ENT. - *Eu tinha perguntado se os animais grandes e pequenos machucam-se de forma igual quando caem de lugares altos e você tinha respondido que os grandes se machucam mais...*
- ANDRÉ LUIZ - *Ah! Igual eu te falei aquela hora! Maior a pessoa, maior o tombo, né?*
- (...)
- ENT. - *Por que que o grande se machuca mais?*
- ANDRÉ LUIZ - *Ah! Porque ele é maior, né? Maior machucava mais, se caísse.*
- ENT. - *E se uma pulga ficasse muito grande, será que ela poderia continuar a dar pulos tão altos?*
- ANDRÉ LUIZ - *Se ela não mudasse nada do jeito que ela é agora, acho que poderia.*

Incoerências, mudanças de opinião em decorrência de questionamentos e uso de explicações diferentes para fatos que compartilham uma mesma base explicativa também foram constatados na entrevista de Wilhey. No trecho transcrito a seguir, Wilhey atribui a habilidade das formigas de carregarem materiais mais pesados que elas a uma característica morfológica. Porém, ao analisar a possibilidade das formigas manifestarem tal comportamento, caso tivessem grandes dimensões, não adotou, como seria coerente, um raciocínio em termos de transposição:

- ENT. - *Por que será que a formiga pode carregar materiais tão mais pesados do que ela própria?*
- WILHEY - *Tem mais patas...*
- (...)
- ENT. - *E se existisse uma formiga do nosso tamanho, você acha que ela poderia continuar com esse comportamento?*
- WILHEY - *Não.*
- ENT. - *Não? E por que que aí não poderia?*
- WILHEY - *Ah! Porque ela ia ficar mais pesada...*
- ENT. - *(...) Mas ela não ia continuar tendo o mesmo número de patas?*
- WILHEY - *É. Ah!... Acho que não...*
- ENT. - *E a gente, se a gente fosse pequenininho igual a formiga, você acha que a gente ia poder carregar coisas muito mais pesadas do que a gente, ou não?*
- WILHEY - *Não.*
- ENT. - *E por que a formiga pode carregar e a gente não poderia se fosse pequeno?*
- WILHEY - *Porque a gente não tem a quantidade de patas igual ela tem. (...) A formiga tá deitada assim... tem mais patas...*

O distanciamento em relação à percepção imediata, por meio do recurso a noções científicas recebidas por instrução, caracterizou o trecho da entrevista de André, transcrito a seguir. Neste trecho, a noção científica de peso é utilizada de forma imprecisa e há alteração da resposta escrita previamente elaborada:

- ENT. - (...) *andar sobre a água... Você achou que a gente não poderia, né? se a gente fosse pequenininho. (...)*
- ANDRÉ - *Acho que não. Não conseguiria não.*
- ENT. - *E por que você acha que não?*
- ANDRÉ - *Ah, não! Acho que poderia sim. A gente ficava mais leve, né? (...)*
- ENT. - *E porque a pessoa grande afunda?*
- ANDRÉ - *Por causa do peso. Aí, a água não agüenta nosso peso. (...) A pressão da água não agüenta a gente. Quando é leve a pressão da água é mais forte do que nosso peso.*
- ENT. - *O peso envolve alguma coisa que puxa prá baixo? O que você acha?... Empurra prá baixo?...*
- ANDRÉ - *Ah, deve ser o oxigênio!*
- ENT. - *Então você acha que é o ar que faz a pessoa ir prá baixo e aí, no caso, a água aqui ia tá fazendo uma força prá cima evitando que o ar faça a gente ir prá baixo. Seria isso?*
- ANDRÉ - *Acho que seria isso.*

Uma relativização da percepção imediata também foi efetuada por André Luiz, em alguns poucos trechos de sua entrevista. O trecho transcrito a seguir ilustra tal perspectiva:

- ENT. - (...) *você colocou que, se a formiga fosse grande, ela não poderia continuar carregando materiais tão pesados em relação ao tamanho dela, né? Você colocou que ela não teria força suficiente se fosse grande. Por quê?*
- ANDRÉ LUIZ - *Ah! Eu acho que não teria não. Igual nós, nós somos grandes. Nós também não temos muita força. Acho que se nós fosse pequeno, nós ia ter mais força.*
- ENT. - *Se você fosse do tamanho da formiga, você acha que você poderia carregar materiais várias vezes mais pesados que você?*
- ANDRÉ LUIZ - *Ah! Acho que sim!*

O distanciamento em relação à percepção imediata caracterizou a maioria das respostas fornecidas pelas alunas Aline, Patrícia e Danúbia, uma vez que o raciocínio por elas empregado tendeu a não envolver a transposição das propriedades dos seres vivos para outras dimensões. Os trechos transcritos a seguir ilustram esta tendência de pensamento. Retratam também as dificuldades de Patrícia em pensar sobre um assunto sobre o qual nunca havia estudado, sobre o qual não dispõe das respostas prontas:

- ENT. - *A gente não consegue carregar muito além do nosso peso como elas conseguem, né?*
- PATRÍCIA - *E por quê?*
- ENT. - *Por que será que ela consegue? O que você acha?*
- PATRÍCIA - *Ah! Eu não sei te responder isso não! Eu nem nunca estudei nada sobre formiga!...*
- ENT. - *O que você pensa?*
- PATRÍCIA - *Ah! Não tô pensando nada... Não tem nem como! A gente não consegue, como que elas vão conseguir? (...) Talvez tem a ver com o tamanho, né? Por ela ser pequena, ela talvez tem capacidade de carregar mais coisas.*
- ENT. - *Se existisse uma formiga do nosso tamanho, você acha que ela poderia continuar com este comportamento?*
- PATRÍCIA - *Ah! Acho que não ia não! Ela não ia conseguir não (...) por causa do tamanho.*
- ENT. - *E se a gente fosse do tamanho da formiga, a gente poderia carregar?*
- PATRÍCIA - *Ah! Eu acho que poderia sim! Se elas pode, a gente também ia poder.*
- (...)
- ENT. - *Se um gato aumentasse muito de tamanho..., ficasse do tamanho de um elefante, você acha que as patas dele iriam agüentar sustentar o peso dele?*

PATRÍCIA - *Ah! Eu acho que não ia conseguir não! (...) As patas teria que ser bastante forte, bastante grossa assim, prá agüentar o peso dele. Ia ficar umas patinhas muito magrinhas. Acho que ia ser difícil prá ele.*

ENT. - *As patas dele teriam que ser mais fortes ou, então, mais grossas?*

PATRÍCIA - *É. Ter ossos mais resistentes.*

ENT. - *No caso da minhoca, se ela fosse maior, ela poderia respirar pela pele?*

DANÚBIA - *Não. Porque ia precisar um pouco mais de oxigênio. Se ela crescesse, ela tinha que ter um pulmão prá ajudar melhor. Pela pele, não ia dar prá ela respirar igual ela respirava antes.*

ENT. - *Mas a pele também não aumentaria?*

DANÚBIA - *... Mas eu acho que não. Eu acho que ela precisava de um pulmão prá alimentar o corpo dela todo.*

ENT. - *Mesmo a pele tendo aumentado também?*

DANÚBIA - *...também.*

ENT. - *E por que você acha que ela (formiga) carrega proporcionalmente mais do que a gente?*

ALINE - *Por que o peso dela... Prá ela, 14 vezes o peso dela não deve ser nada. Ela não pesa nada. 14 vezes também não é nada!*

ENT. - *Então, se você fosse pequenininha igual a ela, será que você conseguiria carregar?*

ALINE - *Aí eu não sei. Se eu fosse pequenininha como ela, se eu ia conseguir carregar o mesmo peso que ela?*

ENT. - *É.*

ALINE - *Claro que sim! Se ela consegue e eu vou ter o peso e o tamanho dela, porque eu não vou conseguir?*

ENT. - *E se ela fosse do seu tamanho?*

ALINE - *Ela não ia conseguir. Por que... Você já pensou! Vamos supor, se ela for do meu tamanho e pesar 50 kg, mal a gente consegue carregar 50 kg, quanto mais 14 vezes 50!*

Algumas de suas respostas evidenciaram uma lógica de atributos, uma vez que as três concebem **peso/gravidade** como uma qualidade inerente aos seres vivos e não como resultante da interação entre sua massa e a da Terra. Também envolveram inconsistência teórica (ar exercendo força para baixo e não empuxo; ar puxando para baixo). Os trechos das entrevistas transcritos abaixo exemplificam algumas dessas concepções:

ENT. - *(...) quando eu perguntei se os insetos fossem grandes, se eles poderiam andar pelas paredes e pelo teto, você respondeu que não, por causa do peso, né? (...) você acha que tem o problema do peso, que ele poderia cair. (...) o que é peso prá você?*

ALINE - *Peso prá mim é o que ele pesa. Tipo se o inseto tivesse o meu peso ele não ia conseguir subir na parede. Porque, se ele tentasse, ele ia cair e ia se machucar.*

ENT. - *E por que ele cai? Você acha que teria alguma coisa empurrando ele prá baixo, puxando ele prá baixo... ou porque ele seria grande mesmo?*

ALINE - *Por causa do peso dele, justamente por causa do peso. (...) Eu acho que não teria nada empurrando e nem puxando. Seria o próprio peso dele. (...) Ele é que é pesado. (grifo nosso)*

ENT. - *E por que que a gente não vai para cima?*

ALINE - *Por causa do ar. (...) Porque o ar fixa a gente na Terra. O ar vai ajudar descer.*

- ENT. - (...) *animais grandes e pequenos, se eles se machucam igual quando caem de lugares altos...*
- PATRÍCIA - *Não machuca não. Eu já tô cansada de jogar formiga lá de casa, de uma altura danada, e depois elas sai andando. Se elas continua andando, é porque elas tão boa ainda. (...)*
- ENT. - *E por que ela não se machuca?*
- PATRÍCIA - *Eu acho que é por causa dela ser leve. Porque o peso é bem pequeno.*
- ENT. - *Então, o grande, ele se machuca...*
- PATRÍCIA - *Por causa do peso. (...) O ar faz com que a pessoa desça mais rápido. Depois vai ficando muito forte a pressão. Quanto mais você vai descendo, mais pressão vai tendo prá você descer assim.*
- ENT. - *Então seria o ar aqui em cima?*
- PATRÍCIA - *É. Te empurrando prá baixo. (grifo nosso)*
- (...)
- ENT. - *A formiga consegue carregar materiais 14 vezes mais pesados por quê?*
- PATRÍCIA - *Ah! Igual eu te falei. É por causa que ela tem... a força de gravidade dela é baixa. E aí ela ia conseguir. Até a gente, se a gente diminuísse, ia conseguir porque a gente ia ser menor e aí a força (de gravidade) da gente ia ser muito menor também.*
- ENT. - *E onde que tá essa força da gravidade?*
- PATRÍCIA - *Acho que ia tá no nosso corpo. (grifo nosso)*

Algumas das respostas de Aline envolveram um prolongamento da experiência sensível, incoerência com o esquema conceitual adotado na justificção das demais e alteração de respostas escritas. Por exemplo:

- ENT. - (...) *se um animal ficasse muito grande, (...) você acha que as pernas dele iriam agüentar o corpo?*
- ALINE - *Bom, se as pernas fossem do tamanho do corpo, acho que podia até agüentar. Se as pernas fossem igual ao corpo.*
- ENT. - *Se tudo aumentasse por igual?*
- ALINE - *Aí agüentaria.*
- ENT. - *Você tinha respondido que, se um gato ficasse do tamanho de um elefante, que as patas do gato não iriam agüentar, né? Porque os músculos do elefante são mais resistentes. Agora, você acha que as patas dele iriam agüentar?*
- ALINE - *Acho que iria.*

Danúbia também manifestou incoerências no discurso quando a mesma questão foi abordada:

- ENT. - *Se o gato fosse do tamanho do elefante, você acha que as patas dele iam agüentar sustentar o corpo dele do mesmo jeito? Você achou que sim, que poderia sim?*
- DANÚBIA - *Poderia carregar o peso dele por causa que as patas também iam engrossar. Aí o corpo também ia aumentar. Aí já agüentaria do mesmo jeito que era antes.*
- ENT. - *Você não acha que o peso dele vai aumentar muito não?*
- DANÚBIA - *Não.*
- ENT. - *Então poderia?*
- DANÚBIA - *Eu acho que sim. Na minha opinião, sim.*
- ENT. - *Então, se você fosse um gigante, (...) as suas pernas iriam te agüentar?*
- DANÚBIA - *Não, aí não ia dar. Porque meu peso ia ser muito, pressionando muito a perna. Aí eu não agüentaria andar.*
- ENT. - *Mas suas pernas não teriam aumentado também?*

DANÚBIA - *Aumentaria mas não ia agüentar. O peso ia ser enorme e a altura também, muito grande. Eu não ia ter aquela força na perna igual eu tenho agora.*

ENT. - *Agora, se fosse um gato do tamanho de um elefante, aí você já acha que não teria problema?...*

DANÚBIA - *Eles têm quatro patas e a gente só tem duas... só tem duas pernas, entendeu? Aí já ia dar prá segurar, né? (...) Porque a gente não tem firmeza na perna e eles eu acho que tem. Acho que nossas pernas não iam agüentar. Iam cair. Eu acho que sim.*

Podemos concluir que os alunos deste nível de ensino tiveram dificuldade de pensar sobre o tema, seja por ele não ser usualmente abordado na escola, seja por eles não serem usualmente solicitados a pensar na escola. O desinteresse pelos quadros sintetizadores das idéias dos demais alunos e às respostas que deram previamente, assim como a não-percepção de inconsistências e incoerências no seu discurso, indicam que seu raciocínio, assim como o dos alunos do Nível A, é predominantemente contextual.

As idéias expressas pela professora Denise indicam uma tendência à transposição de aspectos que nos são familiares a outras dimensões, considerando-os como óbvios, numa frequência superior à verificada entre seus alunos. O alto nível de coerência entre as respostas e a reduzida referência a conceitos científicos nos levam a pensar que elas, embora sejam pouco consistentes, têm alta resistência à mudança, podendo interferir, negativamente, no processo de elaboração conceitual dos alunos. Por outro lado, a alta incidência de incoerências e mudanças de opinião no discurso dos alunos indica que suas concepções podem ser mais facilmente relativizadas.

Ao contrário dos demais professores e alunos, entre os quais a tendência de transposição de aspectos imediatos de nossa percepção para outras dimensões restringia-se ou era predominante em situações em que se considerava a redução do tamanho, a professora Denise empregou este tipo de raciocínio também em situações que abordavam os efeitos do aumento de escala. Esta propensão é ilustrada pelo trecho da entrevista transcrito a seguir, que também evidencia a preocupação da escola em que a professora se formou **em cumprir programas** e não **em fazer os alunos pensarem**, o que tem influenciado sua atuação docente.

ENT. - *Se existisse um inseto do nosso tamanho, você acha que ele poderia andar pelas paredes e pelo teto?*

DENISE - *Vamos supor assim. O aluno estaria me fazendo esta pergunta. (...) O meu modelo de escola nunca me fez pensar. Eu nunca me indagava e nem indagava ninguém porque era tudo "vamos prá frente que atrás vem gente". Então, quando surge uma pergunta assim, então eu ficaria... eu teria que pensar primeiro. (...) Eu tenho a impressão que ele poderia. Se ele aumentou de tamanho, ele teria as mesmas funções que ele tem quando pequeno, então ele teria condições de subir na parede. (...) Ele teria as mesmas reações. Você mudou o tamanho, mas você não mudou os hábitos, você não*

- mudou o que ele precisa, né? Não mudou nada, então não teria importância. Ele teria o mesmo comportamento. (...) Poderiam aumentar sim e continuar normalmente. (...)*
- ENT. - *E se existissem seres humanos do tamanho de uma formiguinha, do tamanho de um inseto? A gente poderia andar pela parede, pelo teto, como eles fazem, ou não?*
- DENISE - *(...) Acho que seria a mesma coisa, quer dizer, as funções seriam as mesmas. (...) Ele não teria, pelo fato de ser menorzinho, uma facilidade conforme a formiga tem. (...) Um ser humano, por ter diminuído, ele não vai (...) passar a subir na parede, né, assim, com as mãos e os pés. Não teria essa função.*
- ENT. - *(...) se existisse um inseto do nosso tamanho, ele poderia voar normalmente?*
- DENISE - *Eu acho que ele voaria normalmente porque ele pequeno voa, então, à medida em que ele crescesse em tamanho, o céu pra ele não é um limite. (...) Nesse caso, eu vou pensar: Será que não mudou o peso? Mas aí compensaria o peso... as asas. Teria um crescimento todo por igual. Então, eu creio que não alteraria não. Creio, né!*
- ENT. - *(...) Por que as formigas podem carregar materiais muito mais pesados do que elas próprias? (...)*
- DENISE - *Eu nunca pensei não...(...) Eu penso assim. Não que ela tenha força, mas ela deve (...) distribuir o peso, porque ela carrega e ela tem muitas patinhas, né? Então, ela deve distribuir um pouco daquele peso em cada parte, né? (...) ela deve equilibrar justamente no sentido horizontal, né?*
- ENT. - *(...) Se a formiga fosse do nosso tamanho, ela poderia carregar tanto assim?*
- DENISE - *(...) ela continuaria a mesma coisa. Aí a folha teria que crescer junto.*
- ENT. - *Agora, se o homem fosse pequeno, ele não teria a propriedade de carregar mais?*
- DENISE - *Não. Aí o homem, sendo pequeno, ele continuaria tendo a mesma relação. Por estar do tamanho da formiga, ele não ia poder carregar o que a formiguinha carrega não.*
- (...)
- ENT. - *Se a pulga fosse dez vezes maior, o pulo dela seria dez vezes maior também? O que você acha?*
- DENISE - *(...) Ela pula. É adaptação dela para o pulo. Ela sofreu uma adaptação nas patas que permite a ela saltar.*
- ENT. - *Ou seja, se a pulga tem essa propriedade, é uma característica dela própria. Se ela aumentar, ela manteria essa capacidade.*
- DENISE - *Isso. (...) Se você fizer uma proporção, ela vai saltar a mesma distância quando ela é pequena e quando ela é grande, proporcionalmente. A princípio, eu imaginei assim que aumentaria o peso e ela teria que pular menos. Mas não. Seria uma proporção. Aumentou o tamanho, aí ela vai aumentar a distância também.*
- ENT. - *E se existissem seres humanos do tamanho de uma pulga?*
- DENISE - *Continuaria na coisa, né? A gente não tem a capacidade de dar um pulo tão grande. Então ao inverso, ficaria na mesma. Ela (pulga) já tá adaptada pra aquele salto.*

A professora Denise, ao tomar contato com as respostas dos alunos, emitiu, surpresa, o seguinte comentário em relação àquelas que envolviam a idéia de que a pulga iria pular proporcionalmente menos:

DENISE - *A princípio, você imagina assim: Se ela crescer, se ela ficar muito grande, ela vai ficar muito gorda e não vai pular!*

A tendência à transposição imediata, com poucos questionamentos ou dúvidas, e, até mesmo, com convicção em relação à correção de suas idéias, também manifestou-se nas seguintes situações:

- ENT. - *Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam pensar?*
- DENISE - *Uma pessoa pequenininha eu acho que pensaria do mesmo jeito. Continuaría a mesma coisa.*
- ENT. - *Então você acha que manteria sem alteração?*
- DENISE - *É. Até que me provem o contrário.*
- (...)
- ENT. - *Poderiam tomar banho em pequenos chuveiros ou em algumas gotas d'água?*
- DENISE - *É. Poderiam sim.*
- ENT. - *Será que teria algum problema?*
- DENISE - *Não. A inteligência seria a mesma. Então, eles fariam objetos proporcionais ao tamanho deles, né? Poderia tomar banho sim. Agora, a gota de água... aí... uma gota de água, dependendo, aí, poderia até matar.*
- (...)
- ENT. - *(...) poderiam fazer fogueiras pequeninhas (...) proporcionais ao seu tamanho?*
- DENISE - *É. Continuaría sim, podendo fazer. (...) Nós construiríamos o chuveiro, então também o fogo, coisas do tamanho, né?*
- ENT. - *(...) Se existisse uma baleia pequenininha, será que ela poderia se deslocar normalmente?*
- DENISE - *O lugar também pequenininho? É como se reduzisse tudo? (...) Poderia. Ficaria na mesma, proporcionalmente, né?*

Houve situações em que a professora Denise afastou-se, a princípio, da percepção imediata de que há uma regularidade das propriedades dos objetos/seres em diferentes dimensões. Porém, ao ser questionada, especificamente, sobre aspectos ligados à relação área superficial-volume, voltou a raciocinar em termos de transposição, emitindo opiniões contraditórias:

- ENT. - *Por que as células, ao atingirem um determinado tamanho, elas se dividem ao invés de continuarem crescendo?*
- DENISE - *Aí, no caso, eu nem falaria idéia minha, seriam as coisas que eu li em livros. Eles falam que (...) o núcleo teria dificuldade, por ser uma célula muito grande, em coordenar a célula. Então, aí, há necessidade da divisão da célula para o núcleo ficar mais próximo de toda a célula.*
- ENT. - *E em relação à eficiência de trocas?*
- (...)
- DENISE - *(...) pelo fato dela ter aumentado de tamanho, ela receberia uma quantidade (de substâncias) maior e pro núcleo seria ruim pra ele. Porque na membrana começou a entrar e sair muita coisa, desorientaria o núcleo.*
- (...)
- ENT. - *(...) O problema não tá na membrana... Por que a membrana aumentou também?*
- DENISE - *É. Ela acompanhou a célula. (...) Em termos de superfície continua sendo a mesma, mas em termos de aproveitamento individual, eu tenho a impressão que aumenta (é maior na pequena). (...) Porque se ela dividiu é porque também tem um lado positivo que seria essa eficiência maior na utilização do material que chega e na eliminação também.*
- ENT. - *Mas não quer dizer que a eficiência de trocas é diferente.*
- DENISE - *Não, não. (...) É a mesma, só que aí (a diferença) agora é em termos da agilidade do núcleo comandando.*
- ENT. - *(...) se a minhoca fosse do nosso tamanho, ela poderia respirar pela superfície corporal? Ela poderia manter a respiração cutânea?*
- DENISE - *Manteria. Não modificaria nada não. Por exemplo, o organismo continuaría o mesmo, né? A capacidade, então, não se modificaria não. (...) Os poros, vamos dizer assim, da pele dela, também aumentariam (...) proporcionalmente ao que o corpo aumentou, né? Aí, absorveriam a necessidade de oxigênio dela.*

- ENT. - *Por que, então, que os animais de diferentes tamanhos têm, com frequência, processos diferentes de respiração?*
- DENISE - *É a simplicidade do organismo, né? Por exemplo, a gente, um organismo mais complexo, prá chegar, por exemplo, até as células... Outros organismos mais simples, as células são superficiais. Então, o ar, quando entra com o oxigênio, já vai diretamente na célula. Então, a respiração é mais superficial. Mas a gente tem todo um conjunto de células muito grande. (...) O oxigênio, para chegar lá, ele tem uma dificuldade. Então, ele tem que ter o quê? Um sistema que retire esse oxigênio e introduza no organismo. Então, aí, fez-se necessário ser mais complexo.*
- (...)
- ENT. - *Mas em termos de superfície, você acha que o crescimento dela mantém-se proporcional ao tamanho?*
- DENISE - *Proporcional ao tamanho.*
- ENT. - *Ao volume interno, né?*
- DENISE - *Por exemplo, se aumentou o tamanho, não teria que ser um sistema respiratório diferente não. Porque o organismo ia continuar sendo o mesmo. (...) Porque a simplicidade do organismo continuaria a mesma. Aumentou o tamanho dela, mas a estrutura dela continua.*

O recurso à elaboração de hipóteses e explicações complementares, para dar conta de fatos aparentemente discrepantes com suas idéias (contra-exemplos), mostra a dificuldade de mudança de ponto de vista pela professora Denise, mesmo com a apresentação do que poderia ser tomado como uma evidência da limitação do esquema conceitual por ela adotado:

- ENT. - *(...) eu perguntei: se um gato fosse do tamanho de um elefante e mantivesse as mesmas proporções nas partes do corpo, (...) se as patas dele, tendo a mesma estrutura, se ele conseguiria ficar em pé, se as patas iam agüentar o peso e por quê.*
- DENISE - *(...) Ele cresceria mas as pernas também cresceriam prá sustentar o peso do corpo. Não teria problema nenhum.*
- ENT. - *(...) à medida em que a árvore cresce, ela não cresce aumentando por igual. O tronco dela, ele cresce proporcionalmente mais (...) que as outras partes. Então, por que isso acontece, se, na realidade, um crescimento igual já seria suficiente para suportar o peso da árvore?*
- DENISE - *(...) eu tenho a impressão que seria prá suportar, porque a parte de cima da árvore, ela vai desenvolver mais, ela vai ter o peso dos frutos, vamos dizer assim. Então, ela teria que suportar não um crescimento, mas um aumento de peso. (...) Então, faz isso prá compensar o peso da copa. (grifo nosso)*
- ENT. - *Quer dizer que uma árvore que não dá fruto, ela não tem esse processo de crescimento?*
- DENISE - *(...) eu tenho a impressão que continua a ser a mesma coisa. Porque ela distribui... não... (...). Sei lá! Transportar substâncias, né? Seria nesse sentido também, né? (...) Eu tenho a impressão que é prá essa concentração de vasos, né? Então, tem que ser maior prá suportar a necessidade dessa substância. (grifo nosso)*
- (...)
- ENT. - *(...) Será que o inseto, se fosse grande, ele poderia manter o exoesqueleto e ter o mesmo processo de crescimento, ou não?*
- DENISE - *Agora eu tô numa dúvida assim: Eu pensei... Será que?... Não. (...) Se houvesse o crescimento proporcional, haveria um crescimento proporcional de tudo. Então o esqueleto dele seria proporcional à musculatura dele, à carne dele... o que fosse. Então, aqueles exoesqueletos também sustentariam aquela parte interna dele, né? (...) Vai crescer uma coisa e a outra vai junto, né? (...) Se a gente crescesse, será que precisaríamos de um esqueleto bem mais forte? A gente imagina assim que só vai crescer a musculatura, mas os ossos também vão crescer! Vai ficar elas por elas. Vai compensar. (...) seria um crescimento geral, né? Tudo. Não teria que ter nada prá compensar o crescimento!*

- ENT. - *Mas o inseto sofre eclipse. Ele poderia ter um processo assim?*
- DENISE - *Ele teria normalmente essa muda. É um processo dele. Ele necessita daquilo. São fases dele. Ele continuaria fazendo aquilo.*
- ENT. - *Então, por que será que, ao longo da evolução, os animais grandes geralmente desenvolveram esqueleto interno e os pequenos, externo?*
- DENISE - (...) *Você vê outros seres que não têm nem casquinha (exoesqueleto). Porque eles são bem simples mesmo. (...) eu acho que, à medida em que foi se tornando mais complexo o organismo, há necessidade de esqueleto, por exemplo, no nosso caso, o esqueleto interno. (...) Teria que ser um esqueleto mais resistente, mais maduro. Então, teria que ser assim... é... Mas aí, eu pensando bem, eu pensei: não, o inseto cresceu e o exoesqueleto continua. E, no nosso caso, nós temos o esqueleto mais resistente que o inseto. Mas eu penso assim: o externo... deixa eu ver... não sei. Tem coisa que eu nunca parei prá pensar. **Eu tenho a impressão que tudo que o ser humano pode proteger, pôr prá dentro dele, ele colocou.** Por exemplo, outros seres têm reprodução externa. (...) É uma coisa nossa, prá proteger. Então, eu tenho a impressão que esse esqueleto externo, ele seria muito frágil, (...) ele estaria sujeito a quebras, batida, alguma coisa... **O esqueleto sendo interno, as funções de locomoção, elas foram mais desenvolvidas. O esqueleto externo limita um pouco a musculatura. Um pouco não, limita muito.** (grifo nosso)*

A convicção da professora em relação à correção de suas respostas, a grande coerência entre elas e a não-relativização de sua perspectiva própria ao tomar contato com as concepções de seus alunos, julgando-as absurdas, indicam a grande estabilidade e provável resistência à mudança de suas idéias. Por outro lado, a pouca consistência, a aplicação contextual e as contradições evidenciadas nas idéias dos alunos, indicam que elas podem ser mais facilmente superadas.

c) Perspectivas do Professor e Alunos do Nível C

No início das entrevistas, pude constatar que os alunos, ao tomarem contato com o tema **Tamanho e Vida**, ao responderem as questões escritas, tiveram dificuldade de raciocinar sobre as situações hipotéticas a eles apresentadas, cuja explicação requeria um distanciamento da experiência imediata, o emprego de noções abstratas e a análise das implicações lógicas dos fenômenos. Os trechos transcritos, a seguir, evidenciam esta dificuldade:

- ENT. - *O que você achou daquelas perguntas que eu formulei, que vocês responderam?*
- JANINY - *Eu achei absurdas (...) Muito diferentes. Esse tipo de coisa que a gente nunca tinha pensado (...) Eu achei assim uma coisa meio sem lógica, mas que faz você pensar (...). Você pegou a gente de surpresa. Fez a gente pensar mesmo! Não dava pra chegar no livro e procurar!*

JULIANA - *A gente falou de construtivismo, eu acho que está dentro disso. Que você tentou passar um questionamento prá gente. O porquê das coisas. Tem coisas ali que eu acho que muita gente não tinha parado pra pensar. Eu acho assim, justamente pelo pessoal não tá acostumado a se questionar, o pessoal deve ter falado: Essa mulher é louca, né? Isso é coisa de outro mundo. Ela tá querendo brincar com a gente.*

Entre os alunos entrevistados, Rodrigo e Humberto tenderam, de uma forma acentuada, a manifestar um raciocínio em termos de atributos, transpondo para outras dimensões as propriedades dos objetos/seres. Walkyria e Janiny consideraram em suas respostas principalmente os aspectos relacionais, não absolutizando seus pontos de vista. Já as respostas fornecidas por Arcioli e Juliana envolveram, com frequências próximas, raciocínios em termos relacionais e com base em atributos morfológicos.

As entrevistas permitiram que uma série de idéias dos alunos, expressas numa linguagem imprecisa ou superficial nas respostas escritas, fossem melhor compreendidas, permitindo a confirmação ou a refutação de algumas de nossas interpretações iniciais. O trecho transcrito a seguir exemplifica uma situação em que a aluna Juliana expressa, nos dois contextos, concepções diferentes sobre aspectos que envolvem uma base explicativa comum, empregando, neste novo contexto, o termo *evoluir* com o sentido de *crescer* e não com o de *mudança no nível de complexidade*:

- ENT. - (...) *Você acha que a pele dela (minhoca), no tamanho grande, seria suficiente para as trocas gasosas que ela tem de realizar? (...)*
- JULIANA - (...) *Se ela aumentasse e o organismo dela continuasse o mesmo, não vejo porque não (...)* Ela maior, com as proporções mantidas normalmente, não vejo porque não! *Se o organismo evoluiu igual, acho que não tem porque não.*
- ENT. - (...) *Você achou que o grande tem maior quantidade de células e por isso tem maior necessidade de oxigenação* (resposta escrita justificando o fato de muitos organismos de tamanhos diferentes terem processos respiratórios diferentes). (...) *Você acha que uma minhoca poderia respirar pela pele?*
- JULIANA - *Se ela evoluísse de uma forma geral, acredito que sim, ué! Se ela respira pela pele, menor, se ela crescesse mas o sistema respiratório dela, a nível de pele, evoluísse prá isso, acho que sim!*
- ENT. - *Desde que a pele aumente também?*
- JULIANA - *É. Evolua pra poder... (grifo nosso)*

O emprego de explicações distintas para situações que têm uma mesma base explicativa foi feito, com frequência, no decorrer da entrevista, pela aluna Walkyria:

- ENT. - *Qual que se machuca mais? É o grande ou o pequeno que se machuca mais?*
- WALKYRIA - *Acho que os dois...*
- ENT. - *Você acha que eles se machucariam igualmente? Você falou que não!*
- WALKYRIA - *É. Eu falei que não, né?...*

- ENT. - *Mas, por exemplo, teve aluno que achou que o pequeno se machuca mais. Outros acharam que o pequeno se machuca menos...*
- WALKYRIA - *Ah! Não sei! Acho que talvez o pequeno se machucaria menos. Não sei. Acho que há menor atuação também da força... (...) Ah!... Acho que a mesma coisa, sabe?*
- ENT. - *Você acha que eles se machucariam igualmente. Nesse caso aqui, você acha que já não tem interferência da força de gravidade?*
- WALKYRIA - *Ah, não sei!... (...)*
- (...)
- ENT. - *(...) você acha que as crianças, quando caem de grandes alturas, elas se machucam menos devido à constituição delas. Por que os ossos não estão totalmente formados, né?*
- WALKYRIA - *Aha.*
- ENT. - *Explique melhor prá mim que diferença teria o osso dela em relação ao nosso.*
- WALKYRIA - *Ah! Eu acho que o do adulto é mais sólido, né? Acho que é por isso. A criança é toda molinha. Acho que é por isso.*
- (...)
- ENT. - *Então a formiga se machuca menos devido à sua constituição física, seria isso?*
- WALKYRIA - *É. Aha.*
- ENT. - *E no caso de pessoas com dimensões reduzidas? Aqui você já mudou o tipo de resposta. Você achou que a pessoa pequena não se machucaria. Mas aí a constituição não seria a mesma? Só mudou o tamanho!*
- WALKYRIA - *Mas aí a atuação da gravidade seria menor, né?*

As entrevistas permitiram constatar inconsistências no discurso dos alunos, muitas vezes percebidas por eles próprios. O trecho transcrito abaixo ilustra a dificuldade da aluna Juliana em explicar a relação entre distância do solo, massa corporal e gravidade:

- ENT. - *Por que elas (formigas) podem carregar materiais (...) várias vezes mais peados que o corpo delas? Você achou (...) que elas andam com um maior número de patas do que nós. Você acha que tem a ver com a constituição física, com o comportamento e, além disso, com a gravidade próxima ao chão. O que você quis dizer com isso?*
- JULIANA - *Acho que o peso até aumenta, né? Quando a gente... não sei... Quanto mais distante da Terra, mais leve, né? Agora, deve ser pela constituição do corpo mesmo, por ter quatro patas, por estar muito próximo ao chão. Horizontalmente, né? Porque ela não está próxima na vertical. Não sei...*
- ENT. - *Pra você quanto mais distante...*
- JULIANA - *É... Mais leve a gente ficaria.*
- ENT. - *Então, aí ela seria mais pesada e o material que ela estivesse carregando estaria mais pesado!*
- JULIANA - ...
- ENT. - *Então você acha que é mais pela posição que ela vive?*
- JULIANA - *Pela constituição também. Por ter quatro patas. Ser leve. (grifo nosso)*
- JULIANA - *Essa gravidade que eu coloquei aí foi meio errada. Eu tô em dúvida a nível de gravidade. Igual eu te falei. Porque...eu não sei...mas eu acredito que quanto mais distante, mais leve fica. Tanto que na Lua não tem nada. Acho que quanto mais próximo, a gravidade conta mais. (grifo nosso)*

Na questão seguinte, Juliana mudou de opinião em relação à resposta escrita, buscando manter coerência com as respostas fornecidas neste novo contexto:

ENT. - (...) *se a formiga fosse grande, se ela continuaria podendo carregar... Você achou que ela, muito grande, não conseguiria pois o peso aumentaria.*

JULIANA - (...) *Mas pela estrutura, se ela se mantesse a mesma, talvez sim.*

O uso de explicações incoerentes nas respostas escritas foi percebido pela aluna Walkyria no seguinte trecho da entrevista:

ENT. - (...) *you achou que tem a ver com a composição, ou seja, se a minhoca respira pela pele e não por pulmão, não tem a ver com o tamanho, tem a ver com o que compõe o organismo dela, né?*

WALKYRIA - *Aha.*

ENT. - *Mas você achou que se ela aumentasse, que ela teria outro processo de respiração. Mas aí a composição não seria a mesma?*

WALKYRIA - *É... Mas... Eu acho que o aumento ia mudar alguma coisa.*

ENT. - *A pele não ia ser suficiente para todo o organismo?*

WALKYRIA - *Aha.*

ENT. - (...) *Aí, eu perguntei sobre a divisão celular. Você acha que uma célula maior, que ela poderia aumentar na mesma proporção a eficiência de entrada e saída de substâncias, ou não?*

WALKYRIA - *Acho que não. (...) Mas aqui! Se essa maior tivesse mais capacidade. Aí, no caso, a minhoca também teria!*

As concepções do estudante Rodrigo envolveram uma grande consistência e coerência interna, manifestando, na quase totalidade das situações, uma transposição direta das propriedades dos organismos para outras dimensões e não coadunando, portanto, com a perspectiva científica atual dos fenômenos que envolvem as relações entre Tamanho e Vida. Esta grande consistência e coerência interna de suas concepções pode significar que estas têm sido resistentes à mudança, tendo em vista a abordagem do conteúdo adotada pelo professor, que não estimula a aprendizagem significativa e a superação das concepções alternativas.

ENT. - (...) *se um inseto com dimensões maiores, se ele poderia andar pela parede e pelo teto. Você considerou que sim porque a estrutura orgânica seria mantida, né?*

RODRIGO - *Exato. Eu continuo com esse pensamento. Eu acho que o inseto ia continuar porque se ele for totalmente aumentado (...), as patas dele seriam aumentadas. Assim como a patinha agüenta aquele pesinho dele, uma pata maior, mais forte, ia agüentar o peso dele.*

ENT. - *Você considerou que o inseto poderia voar porque a sua força, a sua resistência, aumentariam proporcionalmente.*

RODRIGO - *É o mesmo raciocínio da outra.*

ENT. - *E você colocou que ele teria a mesma aerodinâmica, né? O ar exerce uma resistência ao deslocamento, né?*

RODRIGO - *Mas a força dele seria maior também. (...) Uma coisa sendo aumentada 100 vezes, 1000 vezes mais, não acho que haja alguma diferença não.*

(...)

ENT. - *A formiga pode carregar materiais várias vezes mais pesados do que ela. Você justificou que ela pode fazer isso por causa da força muscular, né?*

RODRIGO - *Eu acho que isso daí é mais dela mesmo. Porque eu acho que uma pessoa desse tamaninho não ia carregar essa folha. (Se a formiga fosse do nosso tamanho) (...) poderia carregar um homem até. Um homem nas costas. Seria o melhor animal de carga que a gente teria. Seria um grande avanço da humanidade se isso acontecesse. Só que a formiga reproduz muito...*

(...)

ENT. - *Você acha que os animais pequenos se machucam menos...*

RODRIGO - *Se o homem fosse pequenininho e caísse de uma distância grande, eu acho que ele iria se machucar do mesmo jeito. (...) Porque eu acho que a formiga, por exemplo, ela não tem osso. A formiga não tem as mesmas estruturas que nós. Então, ela pode cair que ela não se arrebenta. O gato, por exemplo, ele poderia muito bem, sendo maior ou sendo menor, porque ele tem aquela garra, aquela posição que ele cai, que ele não cai de cara no chão.*

ENT. - *E no caso da pulga? Se a pulga fosse imensa, você achou que ela poderia continuar pulando muito alto, né?*

RODRIGO - *Exato.*

ENT. - *E você acha que o peso dela não ia atrapalhar ela pular?*

RODRIGO - *Mas a pata dela ia aumentar também! (...) O peso que ela vai ter vai ser proporcional.*

ENT. - *E as pessoas, se fossem pequeninhas, elas poderiam saltar mais alto do que normalmente saltam?*

RODRIGO - (...) *mesmo que elas fossem diminuídas, eu acho que não. (...)*

ENT. - (...) *O nosso pulo seria menor ou seria a mesma coisa?*

RODRIGO - *Seria menor.*

ENT. - *Na mesma proporção que a gente dá quando grande?*

RODRIGO - *Ah, sim! Na mesma proporção. Exato. (...) De repente o mesmo ângulo. Digamos que seria 30° o ângulo. 30° seria 30°. A mesma coisa. (...) Tudo ia diminuir proporcionalmente. Eu acho que as pernas, que os músculos, tudo teria a mesma proporção. Eu acho que, embora a gente perdesse muitas células nisso, mas mesmo assim eu acho que não vai afetar muito assim não. Eu acho que os músculos nesse caso não afeta.*

O trecho da entrevista transcrito abaixo retrata a busca de manutenção da coerência entre as respostas mesmo quando o aluno Rodrigo era exposto a uma situação em que uma evidência contrária à sua concepção era apresentada:

ENT. - (...) *as patas da formiga iam agüentá-la, no caso dela aumentar? (...) Ela vai aumentar toda por igual.*

RODRIGO - *Sim. Ah! Iria! Aumentando, engrossando, se fortalecendo... Eu acho que iria. Tudo na mesma proporção. Não pode acontecer é do corpo dela aumentar e ela ficar com a patinha atrofiada.*

ENT - (...) *à medida que elas (árvores) crescem, o tronco, ao invés de aumentar na mesma proporção, o tronco fica mais grosso. Por que isso acontece? Um tronco na mesma proporção seria suficiente prá sustentar aquela árvore?*

RODRIGO - *Sim. (...) De repente, essa seja a proporção (...) porque ela fica mais exposta ao ambiente. (...) Então, eu acho que a própria evolução foi fazendo com que as árvores que tivessem um tronco maior sobrevivessem e aquelas, mais finas, não. Eu acho que isso aí faz parte da própria evolução. Ainda mais por causa do ambiente que nós temos, de muito vento.*

ENT. - *Então quer dizer que aquela que tem o tronco mais fino não vai conseguir se manter em pé?*

RODRIGO - *Não quer dizer que ela não vai se manter... (...) Se fosse na proporção igual ela ia sobreviver. Mas acontece que ela tem mais chance de sobreviver com um tronco mais grosso. Então, a seleção natural foi atuando ao longo dos milhões de anos da história das árvores.*

Mesmo uma resposta escrita que estava incoerente com as demais, que trata da locomoção por "remos" não-flexíveis em pequenas dimensões, foi modificada, durante a entrevista, para adquirir harmonia com a idéia predominante de que a locomoção ou o banho em pequenas dimensões só seriam afetados significativamente se o tamanho fosse reduzido até a escala de moléculas/átomos:

- ENT. - *E tomar banho? Uma pessoa pequenininha ia poder tomar banho?*
- RODRIGO - *Ah! Isso ia. Normalmente. A não ser que ela fosse muito pequena a ponto de... menor que um micróbio. Do tamanho de um átomo. Aí não ia haver água para ela.*
- ENT. - *Você já respondeu uma pergunta sobre isso. (...) Porque a água ia ser tipo moléculas sólidas.*
- RODRIGO - *Eu acho que ela (baleia) nem ia conseguir sobreviver. Porque como que ela ia respirar? (...) Depende do tamanho que você vai diminuir. Por exemplo, se você diminuir ela do tamanho de uma formiga, ela se locomove normalmente. Mas no caso assim de ela se tornar tão pequena igual um micróbio, menos até, vai ficar difícil dela se locomover, vai criar esse problema, não vai mais existir água pra ela.*
- ENT. - *Você colocou que os protozoários poderiam usar "remos" duros, rígidos, como os dos barcos...*
- RODRIGO - *Ela ia ter que se adaptar... A não ser que o meio do protozoário não for aquele meio assim de que chegue ao ponto de esbarrar nas moléculas.(...) Mas, mesmo assim, eu acho que vai ter uma dificuldade (...) Eu acho que ele já usa desse jeito é porque ele já está adaptado ao meio dele.*

Apenas na seqüência da entrevista transcrita abaixo o aluno Rodrigo manifestou dúvida em relação ao raciocínio por ele empregado:

- ENT - *E ela (pessoa com dimensões reduzidas) poderia pensar também?*
- RODRIGO - *Com a mesma intensidade, o mesmo raciocínio. Eu acho que o tamanho não é documento. O cérebro pensa de qualquer jeito. Só seria reduzido.*
- ENT. - *Mas aí teria como haver células reduzidas? Como que ia ser?*
- RODRIGO - *É. Esse é o grande problema. (...) A gente vê, por exemplo, um animal muito pequeno e a célula dele é do tamanho da nossa célula. Então, a célula tem aquele tamanho fixo. Realmente... Ele perderia muita célula, perderia muito neurônio. Nesse caso, ele teria até mesmo uma estrutura mais simples. E, nesse caso, ele não iria pensar talvez tanto.*

O aluno Arcioli também recorreu à elaboração de uma nova hipótese para explicar um fato não predizível a partir de sua concepção sobre a capacidade de suporte de estruturas de sustentação, em diferentes dimensões:

- ENT. - *Uma formiga muito maior... Você acha que as patas dela, aumentando proporcionalmente, iam agüentar o corpo dela? (...)*
- ARCIOLI - *Acho que sim. Porque as patas cresceriam na proporção do corpo, né? (...) Acho que seria possível sim.*

ENT. - *Tá. Al eu queria te questionar o seguinte: Em muitas árvores, ao invés do tronco crescer proporcionalmente, à medida em que elas se desenvolvem, o tronco... ele engrossa mais. Por que isso acontece se, como você disse no caso da formiga, se ele crescesse proporcionalmente já seria suficiente prá sustentar?*

ARCIOLI - *Essa eu não sei não. Eu tô na dúvida.*

ENT. - *Aha... Não deve ser à toa, né? Se o tronco engrossa mais, deve ter um motivo, né?*

ARCIOLI - *Eu acho que se fosse a árvore que prendesse, é... fruto, né? De maçã..., né?...Então vai ter reforço o tronco. Vai ter mais reforço na época que tiver muito peso em cima (...).*

O recurso a conhecimentos prévios recebidos por instrução foi efetuado por Rodrigo para sustentar sua concepção de que seria possível, do ponto de vista da eficiência de trocas, a existência de células de grandes dimensões:

ENT. - *A eficiência, do ponto de vista das trocas da célula com o ambiente externo... Uma célula pequena e uma grande. Você acha que elas teriam a mesma capacidade de entrada e saída de substâncias?*

RODRIGO - *Nesse caso (célula maior) teria que ter mais poros ou poros maiores (para manter proporcionalmente a mesma capacidade de trocas). Mas eu acho que teria capacidade. Tanto é que descobriram, há pouco tempo, uma bactéria de meio milímetro (...) Que pode até ser vista!*

Certas concepções dos estudantes, que pareciam ter um alto grau de consistência e que se articulavam harmoniosamente com as demais que tratavam do mesmo fenômeno, foram relativizadas pelos alunos ou até mesmo redefinidas quando estes eram confrontados com as idéias de seus colegas. O trecho transcrito a seguir retrata a dúvida e a subsequente mudança de interpretação pelo aluno Arcioli:

ENT. - *Você colocou (...) que os animais pequenos machucam-se menos por causa da força gravitacional que é menor, né?*

ARCIOLI - *Aha. (...) Quanto maior o peso, maior o impacto que ele vai sofrer. (...) A formiga, quando você solta ela, ela vai reduzindo a queda no ar. (...) E reduz o impacto. (...)*

ENT. - *Eu perguntei se as pessoas, com as dimensões reduzidas, se machucariam. Você achou que não porque elas seriam levadas pelo vento. A mesma coisa: O impacto seria menor também. No caso das crianças, quando elas caem de grandes alturas...*

ARCIOLI - *Elas machucam menos porque o peso delas é menor, né? (...)*

ENT. - *Outros colegas seus colocaram que tem a ver com a constituição física. (...) Ela se machuca menos porque os ossos são mais ocos, têm maior capacidade regenerativa, os ossos e músculos são mais rígidos, os ossos são mais resistentes...*

ARCIOLI - *Os ossos de uma criança não são resistentes. Eles só se regeneram mais rápido, né? Mas em matéria de resistência, não! Uma criança se machuca à toa, né?...Se ela cair de mal jeito, de uma janela de altura razoável, ela está arriscada a cair de mal jeito.*

ENT. - *Mas a criança se machuca mais ou menos?*

ARCIOLI - *Machuca menos!*

ENT. - *Se machuca menos?*

ARCIOLI - *Machuca mais. Mais ou menos? Deixa eu ver aqui...(...) A criança acho que machuca menos... A criança machuca mais, mas ela se regenera mais rápido! O adulto machuca menos porque já está com a constituição física formada e tem mais resistência. Então, a criança, quando ela cai de uma altura, ela machuca mais... bem mais que o adulto. Apesar do peso ser menor, o corpo dela não tem resistência ainda, como o adulto, né?*

O aluno Humberto tendeu a considerar, tanto em situações que envolvem redução de escala, quanto naquelas em que há aumento de dimensões, que há uma continuidade entre a nossa experiência imediata e a vida em outras dimensões. O trecho transcrito a seguir evidencia a lógica de atributos e a idéia de adaptação como aquisição de características em resposta às necessidades próprias do organismo (concepção lamarckista) em que se baseia seu raciocínio:

ENT. - *E no caso das formigas, por que elas conseguem carregar materiais várias vezes mais pesados que elas próprias? Você achou que elas têm maior capacidade, maior resistência...*

HUMBERTO - *É. Eu acho que ela é mais forte no tamanho dela. Eu acho que se ela tivesse o mesmo tamanho que o ser humano (...) e aumentasse tudo por igual, eu acho que ela seria bem mais forte que o ser humano. Ela é mais forte que o ser humano proporcionalmente.*

ENT. - *E por que você acha que ela é mais forte?*

HUMBERTO - *Porque a natureza... Ela (a formiga) foi se adaptando, foi se tornando mais forte pela necessidade de obter comida. Com o homem, não teria necessidade dessa força imensa de carregar... Então, é uma necessidade prá elas. Não é uma necessidade para o ser humano. Por isso elas são mais fortes. (...)*

As respostas dadas por Humberto às situações envolvendo aumento de tamanho apresentaram incoerências, uma vez que, em algumas delas, o peso foi considerado fator limitante para a manifestação da vida em grandes dimensões, enquanto que, em outras, não foi tomado como referencial teórico. O trecho transcrito a seguir retrata tal situação:

ENT. - *(...) se os insetos, com as dimensões aumentadas, poderiam andar pelas paredes e pelo teto... Você achou que não.*

HUMBERTO - *(...) com um peso maior, eu acho.... a aderência teria que aumentar muito, eu acho que até desproporcionalmente em relação ao corpo dele.*

ENT. - *(...) O que seria esse peso do qual você fala?*

HUMBERTO - *A atuação da gravidade.*

ENT. - *Você acha que ela seria diferente de acordo com o tamanho do organismo?*

HUMBERTO - *Não, não. A força mantém. Agora, a massa aumenta. Então, o peso dele aumenta. (...)*

HUMBERTO - *Se eles poderiam voar normalmente? (...) Teria que ter uma força bem maior prá vencer a força da gravidade.*

ENT. - *(...) se ele mantiver as mesmas características e for grande, você acha que ele teria essa força?*

HUMBERTO - *Ah! Eu acho que no caso das asas sim... Acho que sim. Nesse caso, eu acho que sim. Depende muito também da densidade do ar, né? Então, eu acho que, nesse caso, sim. No caso da aderência é diferente porque aí você já vai tá trabalhando não assim com a densidade do ar, que vai se manter, mas o peso dele que vai aumentar, só o peso, né? Agora no caso (do vôo) não vai depender da força (força de gravidade). (...) A densidade do ar seria mantida.*

Seu raciocínio sobre questões envolvendo a queda de lugares altos e o salto manifesta também tal incoerência:

ENT. - (...) *em relação aos animais grandes e pequenos, se eles se machucam igualmente, você achou que não. Em função da menor aceleração e impacto, os menores se machucam menos...*

HUMBERTO - *É, porque eles têm um peso menor (...)*

(...)

HUMBERTO - *Isso aí a gente vê: Você pega uma formiga e joga assim de um lugar alto... Em relação ao ser humano, se ele tivesse o tamanho de uma formiga e caísse aqui, eu acho que ele morreria. Agora, você pega uma formiga e joga aqui, você vê a formiga andando... (...) Tem a ver, eu acho também, com a estrutura do animal.*

(...)

ENT. - *E no caso de pulgas com dimensões maiores, se o pulo dela seria tão alto, você achou que...*

HUMBERTO - *Sim. É... A estrutura dela aumentaria. Ela conseguiria pular do jeito que ela pula.*

ENT. - *Ela teria uma estrutura apropriada para vencer o peso?*

HUMBERTO - *Aha. A estrutura dela seria propícia.*

Em alguns trechos da entrevista, Humberto explicita o quanto suas concepções são vistas como evidentes, óbvias:

HUMBERTO - *Eu acho que tudo iria aumentar proporcionalmente se ela aumentasse de tamanho. (...) por um processo muito demorado de seleção artificial, eu acredito que se pode obter uma formiga do tamanho de uma pessoa. Seria possível obter um animal maior, gradativamente. Eu acho que não há limite.*

ENT. - *Se as formigas tivessem suas dimensões aumentadas, será que as patas delas agüentariam o corpo delas do mesmo jeito?*

HUMBERTO - (...) *la aumentar o tamanho, a estrutura dela ia ser mantida, então ela conseguiria. Muito simples isso. (grifo nosso)*

A alteração de respostas escritas para que o discurso retomasse a coerência pode ser exemplificada pela seguinte situação:

ENT. - *Você respondeu que é importante as árvores maiores terem os troncos proporcionalmente mais grossos porque conferem maior resistência...*

HUMBERTO - *Mas aí, eu poderia modificar um pouco sim. Maior resistência, equilíbrio, que eu respondi. Eu acho que dentro do lugar onde a árvore está se desenvolvendo, ela não teria obstáculos. Ela iria crescendo, crescendo, crescendo... se isso fosse vantajoso prá ela. E poderia ser, se ela consegue sugar mais alimentos. Vai crescendo mais.*

A transposição, para pequenas dimensões, de aspectos de nosso mundo perceptivo parece decorrer da dificuldade dos alunos em imaginar a natureza e grau de influência das forças físicas que imperam em pequenas dimensões. É neste sentido que, ao raciocinarem sobre situações que envolvem redução de escala, baseiam-se numa lógica de atributos. O aumento das forças de adesão em pequenas dimensões, por exemplo, não é visto como uma possibilidade:

ENT. - *As pessoas andarem pelas paredes e sob o teto, se elas fossem pequenas, você achou que não...*

HUMBERTO - *É. Se não têm essa característica, não têm aderência prá andar no teto. Você poderia andar de quatro, mas você não teria aderência na mão.*

A aluna Walkyria forneceu respostas que indicam que suas concepções sobre os aspectos abordados têm pouca consistência, no sentido de que, em várias circunstâncias, ela manifestou dúvida em relação às suas idéias, modificando-as às vezes. Porém, mesmo nos casos em que houve mudanças, estas foram no sentido de recuperar a coerência entre as diversas respostas fornecidas. Na justificação de suas idéias, ela recorreu, com frequência, ao termo *força gravitacional*.

A constante desconfiança em relação à sua perspectiva pessoal, a busca de coerência entre as respostas e raciocínios envolvendo um maior nível de distanciamento em relação a aspectos óbvios derivados da percepção caracterizaram a maioria de suas respostas. O trecho transcrito a seguir ilustra esta retificação de uma resposta escrita, restituindo a coerência com as demais:

ENT. - *Quando eu perguntei se o inseto (com dimensões aumentadas) poderia andar pelas paredes e sob o teto, você achou que ele poderia se tivesse estruturas que permitissem, né? (...)*

WALKYRIA - *(...) eu acho que ele não andaria não.*

ENT. - *E por que você acha que ele não andaria?*

WALKYRIA - *Sei lá!... Eu acho que a atuação da força da gravidade seria bem maior. Eu acho que não.*

Uma das poucas situações em que não houve transposição para pequenas dimensões das propriedades dos seres vivos e que pareceu envolver um raciocínio em termos de forças em competição ocorreu no seguinte trecho da entrevista de Janiny:

ENT. - *(...) no caso da pulga com dimensões aumentadas, se ela poderia manter, proporcionalmente, a mesma altura de pulo. Você achou que não. Você achou que o pulo é proporcionalmente mais baixo quanto maior ou menor é o animal... (grifo nosso)*

JANINY - *Se ela fosse maior, ela não pularia. Senão, ela ia parar fora da Terra.*

ENT. - *Ela ia ter força prá pular?*

JANINY - *Eu acho que não. O peso tava bem maior, né?*

ENT. - *Se a gente fosse pequena, nosso pulo ia ser proporcionalmente igual ou a gente teria uma capacidade maior de pular? Você deu uma resposta interessante. Nós, pelo nosso peso...*

JANINY - *... poderia aumentar o pulo. (...) Por causa da gravidade. O peso ia diminuir. Ia ficar mais fácil prá vencer a gravidade.*

Até mesmo Janiny, que elaborou, em diversas de suas respostas, explicações em termos relacionais, distanciando-se da experiência imediata, manteve um raciocínio em termos de propriedades intrínsecas em outras situações:

- ENT. - *Em relação a tomar banho, você achou que poderia, em gotas d'água. Agora, é muito comum acontecer de um inseto cair num lugar que tem água e ele ter dificuldade de sair dali. Você já viu isso? Ele ficar "esperneando" lá dentro e não conseguir sair?*
- JANINY - *Já. A água parece que prende mais ele, né?*
- ENT. - *Você acha que isso não ia acontecer com a gente não?*
- JANINY - *Eu acho que ia ser igual uma piscina, né?*
- ENT. - *(...) Quer dizer que isso acontece com o inseto por causa das características dele?*
- JANINY - *Isso. (...) Agora, a mesma coisa se uma pessoa (com dimensões reduzidas) não sabe nadar. Coloca ela numa gota muito funda. Ai ela não ia.*
- ENT. - *Por que o inseto não sabe nadar...*
- JANINY - *Isso! Se tivesse aula de natação pro inseto... (risos)*

Em situações que envolviam redução de escala, a transposição de propriedades dos organismos para outras dimensões (raciocínio em termos de atributos) foi bem mais frequente que naquelas em que os alunos eram solicitados a raciocinar em termos de aumento de dimensões. Nestas últimas, predominaram considerações de escala, com referência à atuação de fatores físicos (raciocínio em termos relacionais), pelos alunos Juliana e Arcioli. Por exemplo:

- ENT. - *Se as pessoas tivessem as dimensões delas diminuídas, só pelo fato da gente ser pequeno, (...) você acha que iria aumentar a altura do nosso salto ou não iria alterar nada, ia continuar a mesma coisa?*
- JULIANA - *Eu acho que a mesma coisa. Prá proporção da gente pequeno. (...) Eu acho que mesmo você encolhendo, com as suas características continuando as mesmas, eu acho que você vai continuar fazendo coisas na proporção do seu tamanho.*
- ENT. - *E no caso da pulga, se ela tivesse suas dimensões aumentadas?*
- JULIANA - *(...) eu acho que até a nível de gravidade, que a gente tava conversando, eu acho que a dificuldade ia ser maior.*

A insegurança, decorrente da preocupação com a possibilidade de estar fornecendo respostas inconsistentes e incoerentes, e a explicitação constante da necessidade de ficar sabendo as respostas certas, caracterizaram a maior parte da entrevista do professor Tiago. De fato, a preocupação em mostrar erudição, a dificuldade de embasar teoricamente suas respostas e a percepção de que estava fornecendo respostas diferentes para situações que pareciam envolver uma explicação similar perpassaram a maior parte da entrevista. Os trechos transcritos abaixo retratam o reconhecimento pelo professor de tais dificuldades, que parecem ser decorrentes da concepção descritiva que ele dispõe do conhecimento biológico, mesmo quando tenta recorrer à anatomia e fisiologia comparadas para embasar suas respostas e à genética para legitimá-las como um conhecimento incontestável:

- ENT. - *(...) Eu questioneei por que existe uma diversidade de processos respiratórios entre os animais. Certos organismos muito pequenos, né?, muito simples, não têm nem mesmo um órgão respiratório, o transporte ocorre por difusão. (...) Então, se você se visse numa situação assim, como que você imagina, em termos conceituais mesmo, que poderia estar explicando? Por exemplo, por que uma minhoca pode respirar pela superfície corporal e um outro organismo não pode?*

TIAGO - Você acha.... Como que?...

ENT - *Por exemplo, um organismo muito grande geralmente tem uma respiração pulmonar, né?*

TIAGO - *É. Vamos dizer. É. Tá. Antes de chegar na pulmonar, por exemplo, uma respiração traqueal, no inseto, que não chegou a formar....Tá....Essa evolução.*

ENT. - *Outros não têm nem um órgão respiratório... têm uma respiração cutânea, né? Como você vê isso. Por que isso acontece?*

TIAGO. - *Pois então. Eu vejo assim. Olha como que... eu vou colocar o grau de dificuldade que a gente tá....quando você vê tamanho. Se você me perguntar as formas de evolução..., se eu mostrar para o aluno as formas de evolução... que poríferos, celenterados, platelmintos, asquelmintos não apresentam aparelho respiratório, né? Geralmente os parasitas anaeróbicos... Que a respiração cutânea da minhoca..., a troca no meio ambiente..., como é que é feita..., mostraria. A respiração traqueal..., como é que penetra... Como que aparece já nos moluscos..., que dentro daquela evolução triblásticos, protostômios, celomados, que estão no mesmo nível de evolução os anelídeos, artrópodes, moluscos. Mais o aspecto de evolução... na respiração... só da gente encontrar assim a respiração assim entre aspas pulmonar nos moluscos já seria uma forma de evolução..., de colocá-los num patamar, né? Ao mesmo tempo, o aparelho circulatório no anelídeo é muito mais evoluído que... Se você me perguntar nesse... de mostrar, de comparar morfológicamente, né? e o funcionamento, até que não é... Agora quando você me coloca numa situação dessa... eu me enrolo. (grifo nosso)*

ENT. - *(É retomada a questão) Uma minhoca, se ela fosse do nosso tamanho, ela poderia manter o mesmo tipo de respiração ou não?*

TIAGO - *Eu acho que não. Depois eu quero até sua resposta. Eu acho que ela ia criar mecanismos, dentro da evolução, prá distribuir melhor esse oxigênio pelo corpo, não sei, né? Por exemplo, eu considero a respiração traqueal mais evoluída do que a cutânea porque a distribuição, né?... Eu acho a filotraqueal mais evoluída que a traqueal, porque eu considero a filotraqueia já um esboço de pulmão, né? Dessa necessidade de levar... Agora eu quero até sua resposta! (grifo nosso)*

ENT. - *Então, se a gente compara um organismo pequeno com um grande, à medida em que ele aumenta, não aumenta também a superfície dele? Por que, então, haveria necessidade de uma estrutura especializada prá distribuir?*

TIAGO - ...

ENT. - *À medida que ele aumenta, aumenta a superfície do corpo também!*

TIAGO - ... *E mesmo porque você vai me dizer assim. Espera aí, agora mesmo nós vamos ter um mamífero muito pequeno aí, um réptil muito pequeno, com respiração pulmonar... E porque tem respiração pulmonar e não respiração cutânea?*

ENT. - *É. Tem camundongo de 4 gramas, né?*

TIAGO - *É. Vou passar a resposta prá você! Agora... mas essa respiração cutânea... mais ativa... não mas aí... (risos) (grifo nosso)*

ENT. - *Eu te apertei, né Tiago? (risos)*

TIAGO - *Apertou mesmo... apertou mesmo...Depois você vai me dar a resposta. (risos) (grifo nosso)*

(...)

ENT. - *Você achou que seria necessário um processo mais eficiente prá distribuir o ar. Mas quando eu contra-arguntei que a superfície também iria aumentar...*

TIAGO - *Eu fiquei sem saída... A verdade é essa.*

(...)

ENT. - *Por que será que elas (células) sofrem esse processo de divisão?*

TIAGO. - *Eu vou responder que a característica genética dela é daquilo ali.*

ENT. - *(...) Mas por que tem esse controle genético? Deve ter alguma vantagem adaptativa nisso.*

TIAGO. - *Eu sei que você vai chegar num ponto que você vai falar assim: e se ela crescesse mais? Ela ia manter todas as atividades? e tá, tá, tá...*

ENT. - *(...) Deve ter alguma importância, em termos de adaptação, ela (...) não ser muito grande...*

TIAGO - *Lógico.*

- ENT. - ... No processo evolutivo, seriam selecionadas células muito grandes e isso não acontece, né?
- TIAGO - *Eu acho que a minha opinião estaria dentro da capacidade. Da capacidade não. Dentro das características genéticas dela aí. (...)*
- ENT. - *Em termos de troca com o meio extracelular, haveria diferença? (...) Você disse que a minhoca, se ela aumentasse, (...) seria importante alguma estrutura prá distribuir, né? Aí eu questioneei: Mas a superfície dela também não ia aumentar?*
- TIAGO - *A pele vai aumentar, então aumentaria também a superfície.*
- ENT. - *Em termos de eficiência de trocas com o meio extracelular, a pequena e a grande teriam a mesma eficiência?*
- TIAGO - *Eu acho que não. Eu acho que esse controle obedece a uma...*
- ENT. - *Qual que teria maior eficiência? Uma pequena ou uma grande?*
- TIAGO - *Aí, no caso, eu acho que a pequena. Não! (...) Ela vai ter maior superfície, né?*
- ENT. - *A pequena?*
- TIAGO - *A grande. Seria (como) um intestino com maior vilosidade. Qual que tem maior capacidade de absorção? O de mais vilosidade. Maiores dobras. Dentro desse raciocínio, aquela lá (a grande) tem mais capacidade.*
- ENT. - *A grande tem maior capacidade porque tem uma superfície maior?*
- TIAGO - ***Olha como que você já está me enrolando!** (grifo nosso)*
- ENT. - *(...) Estou repetindo o que você falou. Você falou que a grande, por ter uma superfície maior, não é isso? ... vai ter maior eficiência de trocas.*
- TIAGO - *Nesse sentido, teria.*
- ENT. - *Nesse raciocínio, seria até melhor ter uma célula grande.*
- TIAGO - ***Eu tô contradizendo aqui. Eu estou contradizendo completamente o que eu afirmei no caso da minhoca** (...) Eu acho que ela (célula grande) perde essa capacidade porque o controle genético dela, dentro das características dela e tudo, ela perderia essa capacidade. Dentro da fisiologia dela, do funcionamento dela, ao que ela está predestinada, o papel que ela pretende desempenhar, ela vai perder essa capacidade, ou pelo menos vai reduzir essa capacidade. (grifo nosso)*
- ENT. - *Entendi. Você acha que, em termos absolutos, a capacidade de troca é maior?*
- TIAGO - *É*
- ENT. - *Só que deve ter alguma coisa, do ponto de vista genético, que limita essa maior eficiência dela?*
- TIAGO - *Na minha opinião.*

A dificuldade do professor Tiago em estabelecer vinculações entre as questões e seu esquema conceitual prévio, assim como a percepção de que suas idéias envolviam contradições, manifestaram-se, novamente, no trecho da entrevista transcrito a seguir. Nele, o professor também evidencia que concebe que o que falta no seu esquema cognitivo para responder a questão é a capacidade de mobilizar informações, e não a habilidade para estabelecer conexões entre conceitos e eventos. Ao consultar os quadros sintetizadores das idéias de seus alunos, o professor Tiago ficou surpreso ao constatar que, também eles, tiveram dificuldades de aplicar seus conhecimentos, referindo-se ao “esqueleto ósseo” e às “quatro patas” das formigas:

- TIAGO - ***Eu não tô conseguindo chegar a um raciocínio! Eu não tô conseguindo pegar informações prá responder não! É um negócio impressionante!** (...) Eu acho que ela tem essa capacidade no tamanho dela. Num tamanho maior, ela não teria, ela perderia essa capacidade ou, pelo menos, seria bem mais limitada. Você tá entendendo? (grifo nosso)*

- ENT. - *Entendi. Então você acha que não é ligado só à estrutura dela. Tem a ver com outros fatores.*
- TIAGO - *...Outros fatores! Inclusive, com o seu tamanho!*
- ENT. - *E por que o tamanho interfere?*
- TIAGO - *Por que que o tamanho interfere?... Ai... Eu acho que é aí que você tá querendo chegar... a sua resposta... É... Agora, por que o tamanho?... (tosse) (grifo nosso)*
- ENT. - *Se a formiga fosse com dimensões aumentadas? Ela poderia carregar materiais 14 vezes mais pesados que ela? (comentários sobre respostas dos alunos)*
- TIAGO - *Ai...meu... Eu acho que...é aquela história. Um animal que evoluiu prá aquela estrutura, suas características todas voltadas para aquilo ali, para aquele tamanho. E ele adquiriu essa capacidade. Se... se alterasse seu tamanho, de uma hora prá outra, sem o aspecto evolutivo, né? tudo... Eu acho que... eu acho que limitaria essa capacidade dele. Agora, por que o tama... Como que é? Volta de novo a pergunta.*
- ENT. - (repetição da pergunta)
- TIAGO - ...
- ENT. - *E a gente? Se nós fôssemos pequenos, do tamanho da formiga, a gente ia continuar pegando proporcionalmente o mesmo...*
- TIAGO - *Aí que você arrebenta!* (grifo nosso)
- ENT. - *... ou a gente ia poder carregar coisas proporcionalmente mais pesadas que a gente? A gente consegue carregar uma pessoa do nosso tamanho mais ou menos.*
- TIAGO - *Justamente. Então... Aí que você arrebenta. Aí, pô! Aí que você arrebenta. Quer dizer... Se o homem tivesse o tamanho da formiga, ele, fatalmente, dentro de suas características e tudo, ele iria carregar a mesma coisa. Você tá entendendo?* (grifo nosso)
- ENT. - *Mas a formiga, se fosse grande, não ia poder carregar a mesma coisa?*
- TIAGO - ...
- ENT. - *Entendeu a pergunta? Ou seja, você acha...*
- TIAGO - *Entendi, uai! Você me enrolou mais ainda!* (grifo nosso)
- ENT. - *(...) se a gente fosse pequenininho, a gente ia continuar carregando proporcionalmente igual, mas a formiga, se fosse grande, já não ia poder carregar igual mais, ia carregar menos, né?*
- TIAGO - *Lógico... É mesmo... coisa. Por que a minha... é... Eu não sei se você quer parar no final num aspecto evolutivo ou um aspecto... Você tem uma fonte que eu não estou buscando. Eu tô, às vezes, observando... na imaginação somente? Se eu tô pensando..., eu tô deixando todo o aspecto de conhecimento às vezes de lado, questionando isso... aspecto de evolução, né? ... da morfologia do animal. Eu não tô preocupado às vezes com isso. Preocupado... Agora, por exemplo, você me colocou dum jeito. Eu penso que ela grande, ela não carregaria, e penso que o homem, por exemplo, se ficasse pequeno, ele não... ele ia manter as características dele. É um contrasenso dentro do raciocínio! (...) Eu, sinceramente, eu não tenho a resposta...*

A transposição de aspectos ligados à nossa experiência imediata para outras dimensões e a percepção de incoerências no discurso também ocorreram no seguinte trecho:

- TIAGO - *A pergunta é... se a formiga com as dimensões aumentadas, se a pata agüentaria o seu peso?... Uma coisa gozada, mas eu vou falar! Eu acho que agüentaria, no caso, por que ela adquiriria maior resistência.*
- (...)
- ENT. - *(...) Uma árvore, à medida que ela cresce, ela não aumenta proporcionalmente. O tronco, a espessura dele, aumenta proporcionalmente mais que a altura. Por que isso acontece? Tendo como referência aquela resposta que você deu, das patas, então não deve ter a ver com a sustentação, já que, se aumentasse proporcionalmente, a sustentação seria a mesma.*

- TIAGO - Não. Não vamos... Como que eu falei lá? Que o inseto agüentaria o seu corpo porque as patas seriam mais resistentes, maiores, mais grossas...
- ENT. - Ia aumentar tudo por igual. Então, na árvore...
- TIAGO - ... ela cresce, mas o crescimento não é equivalente.
- ENT. - Isso. À medida que ela cresce, a espessura do tronco cresce proporcionalmente mais.
- TIAGO - É.
- ENT. - Então, por que isso acontece?
- TIAGO - Eu acho que...
- ENT. - Não teria a ver com a sustentação?... Teria outra explicação?...
- TIAGO - Não. Eu acho que tem a ver com a sustentação. (...) **Cai em contradição lá atrás** mas eu acho que tem a ver com a sustentação. Porque aí, no caso,... tem a ver com a sustentação. (grifo nosso)
- ENT. - E no caso de uma pessoa? Se ela ficasse gigante e aumentasse tudo por igual. As pernas iriam agüentar o corpo?
- TIAGO - Se aumentasse tudo por igual?... Eu acho que não. Por que, inclusive, nós temos exemplo disso. De homens de tamanho elevado que não conseguiam ficar muito tempo em pé. Tinham dificuldade e tudo.
- (...)
- ENT. - Por que que você acha, então, que a árvore maior tem (...) uma espessura maior? É a mesma coisa do gigante. O gigante teria que ter as pernas mais grossas prá agüentar o corpo. Por que será?
- TIAGO - (...) a copa manteria mais ou menos o mesmo peso?
- ENT. - É. Aumentando por igual, né?
- TIAGO - É. Periderme ali. É periderme que fala?... Eu acho que... quer dizer..., está realmente relacionado a uma característica das árvores. Você tá entendendo?
- (...)
- ENT. - No caso do gigante também você comentou que...
- TIAGO - Peraí!
- ENT. - ... que ele prá sustentar-se, ia precisar ter pernas mais grossas
- TIAGO - Dentro do meu raciocínio. Eu não cheguei a falar isso, mas deduz-se que eu quis dizer isso. Com a perna dele normal...
- (...)
- TIAGO - (...) tem que estar relacionado com a sustentação. Então eu questionaria: Se ela (a árvore grande) não tivesse esse tamanho (espessura), eu acho que também ela agüentaria. Tá entendendo?
- ENT. - Aha.
- TIAGO - Mas você colocando as duas situações. Porque eu assiste uma reportagem falando do homem mais alto do mundo, as dificuldades que ele tinha de se manter em pé, de sustentar o seu corpo. Ele tinha as pernas muito finas, um corpo fino, magro, mas não tinha capacidade. Ele tinha que andar tantas horas e parar. Eu penso até que isso é uma característica delas (das árvores), mas se elas tivessem... não. Mas aí... **Você está notando a minha preocupação de não cair em contradição?** (grifo nosso)
- ENT. - Aha.
- TIAGO - (...) Eu acho que, no homem, talvez ele precisasse de uma perna mais resistente. No caso do inseto, eu tive uma visão que a perna grossa (com aumento proporcional) agüentaria seu corpo, né?

O raciocínio em termos de transposição manteve-se no seguinte trecho da entrevista, quando o professor fez uso, como evidência para sua idéia, de uma analogia não apropriada, ao desconsiderar a ação da água na sustentação dos organismos aquáticos:

ENT. - (...) num inseto com as dimensões aumentadas, será que o exoesqueleto e o próprio processo de crescimento dele poderiam ser mantidos?

TIAGO - Eu acho que poderia porque nós temos outros exemplos de animais que são maiores que os insetos e têm exoesqueleto. Lagosta, por exemplo, não é? (...) Eu tô dizendo dentro até do mesmo filo, né? Eu acho que teria condição.

A desconfiança em relação à consistência e coerência de suas idéias, por parte do professor e alunos do nível C, representa um avanço em relação à dogmatização que prevaleceu entre os demais professores e alunos. No entanto, ao comparar as reações aos questionamentos do professor e alunos deste nível de ensino, verifiquei que os alunos manifestam maior espontaneidade e flexibilidade de pensamento, ao buscarem resguardar a coerência entre suas idéias.

Durante a realização das entrevistas, fiquei surpresa com a indiferença dos professores em relação às concepções dos alunos, que estavam disponíveis para que sobre elas fossem emitidos comentários. A professora Denise analisou algumas idéias dos alunos, julgando-as não científicas e, logo a seguir, reconheceu que talvez ela é que estivesse enganada. O professor Tiago reconheceu a dificuldade dos alunos em aplicar seus conhecimentos prévios ao responderem as questões.

Dos três professores, apenas Tiago manifestou ter consciência das limitações de suas idéias e sentir necessidade de mudança. Porém, para ele, o reconhecimento explícito de que não sabe foi substituído por expressões como "*eu me enrolo*", "*eu não tô conseguindo*", "*você me enrola mais ainda*", "*eu não tenho a resposta*", "*você tem uma fonte que eu não estou buscando*", etc.

Márcia, embora apresente suas idéias como se elas fossem óbvias, não necessitando de justificações, sentiu-se mais à vontade para manifestar suas dúvidas e dizer "*não sei*". Quanto a Denise, sua tendência a transpor, com alto nível de coerência, aspectos da percepção imediata para outras dimensões e a conceber o organismo como uma unidade biológica que não interage com aspectos físicos do ambiente é um exemplo concreto da ineficiência do ensino memorístico e compartimentalizado em disciplinas estanques na promoção de uma aprendizagem significativa e funcional.

O estudo das relações entre Tamanho e Vida, segundo um enfoque que requer a realização de transformações imaginativas pelos alunos e a aprendizagem de modelos explicativos a elas relacionados, poderá ser frutífero no desenvolvimento do pensamento lógico, na associação da aprendizagem de conceitos à de regras lógico-matemáticas e, principalmente, em mostrar aos alunos que a aprendizagem e aplicação dos conhecimentos de ciências e matemática pode ser prazerosa e gratificante.

O estudo das idéias e formas de raciocinar dos professores sobre as relações entre Tamanho e Vida reforça a necessidade da escola reconhecer, recuperar e, se necessário, ajudar o aluno a retificar e superar aquelas concepções que são obstáculos ao seu avanço cognitivo e à relativização dos diversos saberes. Também nos faz refletir sobre a relevância de se pensar o currículo não apenas na perspectiva dos alunos, mas também tendo como referência o professor, que é também **sujeito da aprendizagem**.

CAPÍTULO IV

SUBSÍDIOS NORTEADORES PARA A ABORDAGEM DAS RELACÕES ENTRE TAMANHO E VIDA NO ENSINO DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA

O estudo dos processos epistemológicos de construção conceitual nos fornece uma série de contribuições para a organização da dinâmica das aulas de Ciências e Biologia no que se refere à consideração da diversidade de pontos de vista dos alunos sobre as relações entre Tamanho e Vida e às possibilidades de criação de situações de confronto de opiniões divergentes.

Propomos a abordagem pelos professores da relação entre área e volume como noção unificadora na aprendizagem de conceitos científicos que envolvem as relações entre Tamanho e Vida, tendo em vista que sua compreensão pelos alunos pode facilitar a aprendizagem subsequente de conteúdos ligados à diversidade morfofisiológica existente entre os seres vivos.

Consideramos relevante a articulação do currículo escolar em torno de eixos temáticos para a ruptura com a abordagem compartimentalizada dos conteúdos disciplinares. Neste sentido, propomos a possibilidade de organização de atividades de ensino em torno do tema Tamanho e Vida, que permite a convergência das Ciências Físicas e Biológicas com a Matemática. Esse enfoque exige que nós professores mudemos nossa postura em relação ao conhecimento para que possamos incorporar no currículo temas que, sem romper com a existência das disciplinas, requerem que elas sejam ultrapassadas por uma abordagem integrada do conhecimento.

Julgamos conveniente que os professores busquem identificar, previamente à instrução, as idéias subjacentes dos alunos que influenciam a construção de conceitos e significados científicos sobre as relações entre Tamanho e Vida e, a seguir, proponham situações de ensino que permitam aos alunos diferenciar estas concepções quanto à sua

natureza e tomar contato com evidências e argumentos que possam convencê-los progressivamente da plausibilidade das concepções científicas.

É comum os professores acreditarem que a aprendizagem pelo aluno se dá, desde que ele esteja predisposto a aprender. Porém, como nos alertam Giordan e De Vecchi (1988) *"a motivação não pode explicar por si só, a construção de novos conhecimentos. Ela deve apoiar-se também em outros parâmetros"* (p. 81). Assim, considero que um outro aspecto que deve ser levado em conta no ensino é que *"conceitos individuais não ocorrem em um vácuo, mas em uma área complexa de conceitos, emoções, valores e crenças interrelacionados."* (BLOOM, 1990, p. 559). O professor deve, portanto, buscar conhecê-los, reconhecendo que *"nem sempre é possível desmontar as idéias (dos alunos), pois sua familiaridade as faz resistir a qualquer prova, inclusive quando proporcionamos a resposta correta e que nos parece evidente."* (GIORDAN & DE VECCHI, 1988, p. 83).

Portanto, o desenvolvimento de atividades visando a aprendizagem dos conceitos científicos deve envolver a valorização sistemática dos conhecimentos prévios e das experiências dos alunos e a necessidade de se abordar os conteúdos tendo em vista a possibilidade de elaboração própria do conhecimento por eles, buscando-se sempre a articulação entre os conhecimentos cotidiano e científico. A aprendizagem é vista, neste contexto, como a elaboração de representações pessoais sobre o conteúdo, objeto de aprendizagem, através de um processo ativo de atribuição de significados em que os alunos estabelecem relações substantivas (não-arbitrárias) entre seus conhecimentos prévios e os conteúdos escolares.

A elaboração conceitual requer que o ensino das ciências não se volte exclusivamente para o aspecto lógico do conhecimento (exposição de teorias, leis e princípios), como se faz tradicionalmente, mas que os professores se preocupem também com o plano das evidências. Esta exigência é especialmente séria na abordagem de temas que se distanciam de nossa percepção imediata. Por outro lado, requer que a evidência empírica não seja considerada objetiva, já que é também uma construção social. Isto significa que a aprendizagem das ciências pelos alunos não se dá somente a partir da experiência perceptiva, mas também por meio da apropriação de recursos discursivos próprios da ciência para descrever tal experiência e da compreensão dos critérios que conduzem à legitimação ou não de diferentes explicações.

A evidência empírica não é a única forma de legitimar o conhecimento. Há formas alternativas como o uso de analogias, a opinião majoritária, a autoridade dos que

“sabem mais”, a argumentação, o convencimento e o consenso do grupo. Mais importante que a experimentação é a promoção de debates sobre as diversas alternativas explicativas de determinado fenômeno natural, gerar conflitos cognitivos, desenvolver as capacidades de explicação e argumentação dos alunos, propiciar a relativização de pontos de vista (CANDELA, 1997).

A preocupação em tomar como referência para o ensino situações problematizadoras de interesse dos alunos, que representem desafios e os despertem para a dimensão estética do conhecimento é importante. Neste caso, é relevante levar em conta que não só os temas próximos, ligados à vivência cotidiana, intrigam e despertam a curiosidade dos alunos, mas também os desconhecidos, os que estão muito além de sua percepção imediata, cuja abordagem pode contribuir para que eles adquiram novos modos de ver e explicar.

Optamos por privilegiar um enfoque qualitativo na elaboração das possibilidades de abordagem das relações entre Tamanho e Vida sugeridas por acreditarmos que ele permite aos alunos se envolverem na reflexão sobre as situações apresentadas e na busca de soluções, não restringindo sua atividade à operação mecânica de descobrir a resposta certa, o que caracteriza a didática habitual de resolução de problemas, discutida por Carvalho e Pérez (1993). Segundo estes autores, na didática habitual de resolução de problemas, falta a *reflexão qualitativa da situação, uma idéia motivadora da tarefa, a emissão de hipóteses, a explicitação de possíveis estratégias de resolução e a análise das perspectivas abertas pela pesquisa*, resumindo-se a um operativismo mecânico, carente de significado e funcionalidade. Envolve um tratamento superficial que não se detém no esclarecimento dos conceitos e na análise dos resultados.

Propomos situações que enfatizam a apresentação de perguntas abertas e incitativas aos alunos que são aquelas que, segundo Giordan e De Vecchi (1988), permitem a emergência das concepções dos alunos; a tomada de consciência da existência de contradições; a possibilidade de confrontação de opiniões diferentes e, ainda, a incitação à busca, ao aprofundamento de argumentos e à ação. Envolve algo que nos intriga, surpreende, levanta problema. Privilegiar estes tipos de pergunta significa que não se tem necessariamente de antemão a pergunta, a(s) resposta(s) e nem mesmo o como abordar o problema, o que permite resgatar o caráter lúdico e prazeroso do ensino-aprendizagem em Ciências. Por outro lado, exige do professor abertura para o imprevisível, para a novidade.

A busca de contextualização dos conteúdos de aprendizagem pode se dar por meio da apresentação das novas informações aos alunos em termos funcionais e em situações e

contextos de solução de problemas próximos da vida cotidiana, de forma que eles percebam sua relevância e pertinência. O papel do professor neste processo é de: a) criar situações perturbadoras que incitem a curiosidade, o raciocínio e a busca de respostas pelos alunos; b) decodificar os conceitos científicos abordáveis, a partir das perguntas formuladas pelos alunos; c) saber transformar as perguntas em função da motivação, do nível de conceitualização, dos quadros de referência e do nível semântico dos alunos e, ainda, d) construir o contexto para que a atividade mental dos alunos ocorra em determinado nível, ajudando-os nesse processo (GIORDAN & DE VECCHI, 1988). Para assumir todas essas tarefas com êxito, é importante que o professor incorpore uma postura inovadora, investigativa e criativa, envolvendo-se em um processo de formação permanente.

Tendo em vista que os conhecimentos prévios dos alunos têm caráter implícito, o professor pode facilitar sua explicitação solicitando aos alunos que manifestem suas opiniões sobre determinado problema, antecipem situações e solucionem problemas. A situação de conflito cognitivo, que ocorre quando o aluno percebe contradições internas entre suas idéias ou contradições entre as suas idéias e as de seus colegas, pode favorecer esta explicitação.

Pérez & Carrascosa (1985) consideram que o modelo de mudança conceitual é incompleto por se restringir a considerar que as dificuldades para a aprendizagem científica estão ligadas aos esquemas conceituais alternativos dos alunos. Sugerem que o principal obstáculo é a metodologia da superficialidade, baseada em aspectos óbvios da percepção, que está na origem de tais esquemas. Portanto, a metodologia adotada pelos professores não deve se preocupar apenas com o conteúdo das idéias dos alunos, mas também com a natureza de seus raciocínios ao analisarem situações envolvendo as relações entre Tamanho e Vida.

Relações entre Tamanho e Vida - Possibilidades de Problematização e Abordagem

A abordagem das relações entre Tamanho e Vida pode ter como recurso desencadeador da explicitação das idéias dos alunos o levantamento de filmes e histórias infantis que envolvem mudanças de tamanho conhecidos por eles e a exposição de trechos selecionados desses filmes e leitura dessas histórias, seguidas de discussão sobre a plausibilidade de situações neles apresentadas que consideram e as que desconsideram as implicações físicas e biológicas das mudanças de dimensões. A análise de situações cotidianas e a discussão de histórias imaginárias criadas pelos próprios alunos também pode ser um recurso

para incitá-los a expressar suas idéias. A sistematização do conhecimento, por outro lado, pode ser auxiliada pelo uso de filmes educativos que abordam conceitos, princípios e teorias envolvidos na compreensão do tema²⁷.

Através de histórias em quadrinhos, da ficção científica, da arte e da imaginação, penetramos num mundo simbólico em que o sujeito encontra em si mesmo os critérios de validade do conhecimento. O ensino das ciências não deve eliminar nem o imaginário e nem a poesia, da sala de aula, substituindo-os por uma abordagem exclusivamente racional do mundo, uma vez que a atividade científica também envolve imaginação, afetividade e irracionalidade. Assim como a produção artística, a produção científica também se afasta da realidade ao penetrar em outras dimensões nas quais as nossas representações cotidianas do mundo não se aplicam (REEVES et al., 1994). Se, por um lado, as produções dos alunos podem indicar aspectos do seu raciocínio que são obstáculos epistemológicos à compreensão do conhecimento científico, por envolverem a idéia de que não há limites físicos para as mudanças de dimensões, por outro, nos fazem ver que não há obstáculos para a imaginação, mesmo quando buscamos simplificar o mundo por meio de idéias racionais e unificadoras.

Daí a importância da escola incorporar em suas práticas uma concepção de interdisciplinaridade que ultrapasse o contexto das ciências naturais. O senso comum, a arte, a poesia, a ficção científica e a ciência são fios que se entrelaçam continuamente. É importante que os alunos compreendam as naturezas, processos de construção, bases de justificação e contextos em que são úteis essas diferentes produções culturais.

O que propomos é que os professores vivenciem com seus alunos uma abordagem interdisciplinar das relações entre Tamanho e Vida que permita a superação do ensino descritivo dos seres vivos e a aquisição pelos alunos de uma visão mais abrangente e unificada do conhecimento.

A interpretação das mudanças de proporções e de aspectos da fisiologia dos organismos que acompanham as alterações de tamanho, tendo por referência as idéias evolucionistas, pode contribuir para que os alunos percebam a importância da busca de explicações unificadoras, através da elaboração teórica, para uma grande diversidade de fatos. Também é importante que entendam que a elaboração teórica parte do pressuposto de que,

²⁷ Sugerimos os programas de vídeo educativos "*Observando a Natureza*" e "*Pela Trilha de Arquimedes*" (Produção: Centro de Comunicação da UNICAMP; Coordenação: Profª Sueli Rodrigues Costa - IMECC/UNICAMP; Financiamento: PADCT/SPEC/CAPES), Embora ainda não estejam sendo comercializados, 300 cópias foram distribuídas para instituições de apoio ao ensino, visando sua divulgação. (Informação verbal fornecida pela Profª Maria Alice Grou, que participou da produção de ambos os vídeos).

apesar da diversidade existente na natureza, esta comporta regularidades, inclusive nos tamanhos e formas dos seres vivos. A abordagem do tema, por outro lado, pode contribuir para que os alunos ampliem sua compreensão das idéias evolucionistas, ao perceberem que as formas e tamanhos dos seres vivos não são selecionados exclusivamente por forças externas, mas que também resultam da necessidade de coerência interna do próprio organismo

O professor, ao planejar suas atividades de ensino, deve ter por principal referência a diversidade das idéias explicitadas pelos alunos durante a problematização do tema, utilizando critérios para selecionar, dentro do conjunto de possibilidades de abordagem aqui apresentadas, o que é mais relevante de acordo com o processo de ensino-aprendizagem em curso na sala de aula, buscando articulação entre os conceitos e, especialmente, criando novas possibilidades. Por isso, não julgamos conveniente apresentar nestes subsídios atividades muito estruturadas e sequenciadas para justamente preservar a possibilidade de respeito ao processo de construção do conhecimento pelos alunos e à autonomia e criatividade do professor na organização do ensino.

Coll (1994) sugere que a intervenção educativa do professor seja orientada pelo *princípio de ajuste da ajuda pedagógica*. Uma das implicações desta concepção do papel do professor refere-se à natureza dos planejamentos curriculares. A individualização do ensino, promovida pelo ajuste da intervenção do professor de forma contingente ao processo de elaboração conceitual em curso pelos alunos, requer que tais planejamentos sejam abertos e flexíveis. Uma orientação prescritiva nesses subsídios torna-se, portanto, incompatível pois a adequação dos métodos de ensino vincula-se justamente ao ajuste da ajuda pedagógica que eles oportunizam. Podemos concluir que as possibilidades de abordagem do tema Tamanho e Vida propostas só se tornarão inovadoras e levarão à aprendizagem significativa de professores e alunos se forem incorporadas de forma criativa aos planejamentos de ensino.

Para favorecer a elaboração conceitual pelos alunos, os professores podem utilizar, no processo de avaliação, estratégias metacognitivas, orientando deliberadamente a atenção dos alunos para o conteúdo e forma de seu próprio pensamento (HEWSON & THORLEY, 1989). Tendo em vista a provisoriedade do conhecimento, também é importante que os professores busquem desenvolver nos alunos uma aprendizagem funcional, de forma que eles tenham versatilidade para aplicar os conhecimentos aprendidos em novos contextos.

Organizador Prévio - Relação entre Área Superficial e Volume

A relação entre área superficial e volume pode ser abordada previamente a outras noções como *organizador prévio* à introdução de outros conceitos por ser uma noção integradora que contribui para a compreensão de situações envolvendo as relações entre Tamanho e Vida.

O termo *organizador prévio* foi proposto por Ausubel para designar conhecimentos mais gerais e inclusivos do que o material de aprendizagem subsequente, que têm como principal função atuar como ponte cognitiva, ou seja, “preencher o hiato entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber antes que possa aprender, com sucesso, a tarefa com que se defronta” (AUSUBEL, citado por NOVAK, 1981, p. 61).

Nesta perspectiva, o ensino deve ser organizado de forma a destacar as continuidades entre as idéias dos alunos (subsunçores) e as idéias científicas, estabelecendo pontes cognitivas, quando necessário, para aproximá-las. Desta forma, os novos conhecimentos devem interagir com idéias ou proposições relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA & MASINI, 1982; SANTOS, 1991).

Se, por um lado, devemos organizar o ensino de modo a destacar tais continuidades, é importante, por outro, planejarmos atividades que permitam aos alunos avançar em direção a outras formas de pensar e interpretar o mundo, estendendo sua experiência tão longe quanto possível a partir da esfera de seu cotidiano. Isto é especialmente relevante ao abordarmos temas que, como as relações entre Tamanho e Vida, envolvem a construção de esquemas conceituais a partir de evidências distantes de nossa percepção imediata.

As experiências imediatas constituem fonte de *obstáculos epistemológicos* à aprendizagem científica. É por esse motivo que Bachelard (1971) situa as causas de estagnação ou recuos no processo de construção conceitual no próprio ato de conhecer. Portanto, as idéias dos alunos devem ser levadas em conta na organização do ensino, porém este deve ressaltar não apenas as continuidades, mas também as discontinuidades existentes entre as idéias alternativas dos alunos e as idéias científicas.

Com base na pesquisa desenvolvida, durante a qual constatamos que professores e alunos dos três níveis de ensino estudados têm maior dificuldade de imaginar situações que envolvem redução de escala, explicando-as por meio da transposição de aspectos de nossa percepção imediata, recomendamos que o tratamento do tema se inicie por questões problematizadoras que envolvam aumento de tamanho. Nossa expectativa é de que as propostas de abordagem sugeridas possam contribuir para que alunos e professores superem o

principal obstáculo à aprendizagem do tema Tamanho e Vida, que corresponde à dificuldade de empregar o raciocínio hipotético para explicar situações não experienciadas diretamente por eles.

A seguir, propomos algumas *possibilidades de problematização* e de *abordagem*, assim como *noções e princípios científicos*²⁸ relativos à relação entre área superficial e volume, que foi por nós selecionada como noção unificadora e organizador prévio na construção do conhecimento sobre Tamanho e Vida. Sugestões semelhantes são apresentadas em relação aos cinco temas sobre os quais foram analisadas as tendências de pensamento de professores e alunos, no capítulo anterior, que são os seguintes: locomoção, sustentação, troca de materiais através de superfícies, taxas metabólicas e comportamentos²⁹.

²⁸ As noções e princípios científicos relacionados às possibilidades de problematização sugeridas são apresentados de forma resumida neste capítulo. Sua abordagem mais aprofundada, envolvendo aspectos históricos de sua elaboração, foi realizada no Capítulo II.

²⁹ Algumas das sugestões apresentadas de abordagem do tema Tamanho e Vida foram baseadas nas propostas de atividades da obra: PROJETO NUFFIELD. *Biologia. Forma e função: Movimentos*. São Paulo : EDART, 1974., na qual aparecem com maior nível de detalhamento.

a) Relação entre Área Superficial e Volume

Possibilidades de Problematização

Descascamos mais rapidamente 1 kg de batatas pequenas ou grandes?

O que cozinha mais depressa: 1 ou 2 kg de carne? 1 kg de carne inteira ou moída?

Qual a importância da mastigação no processo de digestão dos alimentos?

O que demora mais para dissolver na água: o sal cristalizado na forma de cubos ou triturado (cominuído) em minúsculas partículas?

À medida que aumenta o tamanho de um objeto ou ser vivo, o aumento de sua superfície se dá na mesma proporção que o aumento do seu espaço interno (volume)?

Que organismos têm maior superfície em relação ao volume, os de corpo compacto ou os de corpo ramificado?

Quais as vantagens adaptativas da forma ramificada das plantas ou da presença de expansões em certos animais?

Noções e Princípios Científicos Envolvidos

Em objetos grandes, a área superficial é proporcionalmente menor que em objetos pequenos.

Qualquer objeto ou ser que cresce, conservando inalterada sua forma, sofre um decréscimo contínuo de superfície relativa. Seu volume aumenta proporcionalmente ao cubo das dimensões lineares enquanto que a área superficial cresce proporcionalmente ao quadrado de tais dimensões.

A razão entre área superficial e volume é maior em objetos e organismos com ramificações ou expansões.

A grande superfície relativa das plantas e de certos animais lhes confere vantagens adaptativas.





Por que os planetas/estrelas e as bolhas de sabão são esféricos?



Os planetas e as bolhas de sabão adquirem a forma esférica porque a força de gravidade, no primeiro caso, e a tensão superficial, no segundo, atuam no sentido de que eles tenham a forma geométrica mais compacta possível.



Algumas Possibilidades de Abordagem

Comparar, qualitativamente, as áreas superficiais e volumes de 4 cubos com 2, 4, 8 e 16 cm de aresta, construídos com cartolina.

A comparação das áreas pode se dar por sobreposição dos cubos antes que suas faces sejam coladas. Assim, será fácil constatar que a área superficial do cubo com 4 cm de aresta é 4 vezes maior que a área superficial do cubo com 2 cm de aresta. O mesmo se constatará ao se comparar as áreas superficiais de outros cubos cujas arestas foram duplicadas.

A comparação dos volumes pode ser feita enchendo-se o cubo de 2 cm de aresta com areia ou bolinhas pequenas de isopor e verificando-se quantos destes cubos serão necessários para encher o cubo de 4 cm de aresta. Os alunos poderão constatar que são necessários 8 cubos pequenos para preencher o espaço correspondente ao cubo imediatamente maior, concluindo que o volume do cubo de 4 cm de aresta é 8 vezes maior que o volume do cubo de 2 cm de aresta. O mesmo se constatará ao se comparar os volumes de outros cubos cujas arestas foram duplicadas. Os alunos constatarão, portanto, que, à medida que o tamanho de um cubo aumenta, sua área superficial cresce proporcionalmente à aresta menos que o seu volume interno relacionado à mesma aresta. A pesagem da areia ou bolinhas de isopor nas diversas situações, usando-se uma balança de mola, permitirá constatar que o peso aumenta proporcionalmente ao volume.





Em níveis escolares mais avançados, após a abordagem qualitativa do tema, pode-se comparar quantitativamente e expressar graficamente a relação/razão entre as áreas superficiais e os volumes dos diversos cubos. O mesmo estudo pode ser feito com o uso de caixas com diferentes tamanhos e formas (ex: caixa de camisa, caixa de sapato, caixa de fósforos, etc.).

Comparar a razão área superficial-volume de diferentes organismos (por exemplo: camundongo, gato, cachorro, ser humano adulto, criança). A área superficial pode ser obtida, de maneira aproximada, revestindo-se de papel as partes do corpo e medindo-se suas áreas, após desenrolá-los. Em relação à espécie humana, GUYTON (1986) apresenta um tabela que permite estimar a área da superfície corporal, a partir do peso e altura das pessoas. No caso de plantas, devem ser consideradas ambas as superfícies foliares.

Comparar a razão área superficial-volume de sólidos com mesmo peso/volume e formas geométricas diferentes para constatar que a forma esférica é a mais compacta possível, ou seja, que tem menor relação área superficial-volume.

Aplicar os conceitos de isometria e alometria na interpretação das proporções de objetos e de organismos. Buscar explicar porque, em certos casos, são necessárias distorções de escala com o aumento do tamanho (ex: os pregos mais compridos são relativamente mais finos que os mais curtos).

Reconhecer que o tamanho pode alterar as propriedades dos materiais, através da pesquisa da relação existente entre o tamanho/natureza das partículas componentes do solo, sua capacidade de retenção de umidade e a lixiviação.

Pesquisar a forma que gotas de água, colocadas sobre superfícies impermeáveis, adquirem de acordo com o seu tamanho, relacionando com a interação entre tensão superficial e gravidade (e entre área superficial e volume).





Pesquisar o aspecto e o tamanho de gotas produzidas por conta-gotas com orifícios de tamanhos variáveis, buscando relacionar o tamanho da gota produzida quando a tensão superficial se rompe e o perímetro do orifício.

Comparar a velocidade de sublimação de esferas de naftalina ou de tabletes de cânfora, de diferentes tamanhos, assim como a velocidade de dissolução na boca de balas inteiras e divididas em partes menores, relacionando os resultados obtidos à razão área superficial-volume.

Aplicar o conhecimento de que a superfície relativa é maior em materiais com pequenas dimensões explicando por que certas substâncias são usualmente utilizadas na forma pulverizada (ex: inseticidas, pimenta do reino, rapé, substâncias que absorvem a umidade do ar (higroscópicas), substâncias usadas em máscaras que atuam adsorvendo substâncias tóxicas.

Pesquisar o papel e a forma das aletas presentes nos motores e colméias presentes nos radiadores, buscando relacioná-los.

Construir montinhos de areia de diferentes granulometrias e geometrias das partículas, comparando os ângulos de talude obtidos. O ângulo de talude é o formado no vértice correspondente ao ápice do montículo. Relacionar as diferenças de angulações obtidas com as razões entre as áreas superficiais e os volumes das partículas. Também pode ser comparado o ângulo de talude formado por jabuticabas, limões, laranjas e melões amontoados.

Preparar leitos filtrantes de carvão ativado de diferentes granulometrias e percolar através deles um mesmo líquido colorido ou odorizado. Relacionar os diferentes graus de descoloração e desodorização do percolato com o tamanho das partículas de carvão ativado. Pesquisar aplicações de adsorção de gases e de sólidos em superfícies sólidas finamente divididas, com vistas à descoloração de líquidos, à desodorização ou odorização de ambientes (ex: geladeira, freezer, guarda-roupas) e à retenção de toxinas e de gases, por pastilhas de carvão, no trato intestinal.

Pesquisar o papel dos coadjuvantes de filtração (terra diatomácea, terra de formigueiro queimado, conchas de moluscos moídas, etc.) no tempo de filtração de volumes idênticos de suspensão de argila em água. Relacionar o tamanho/quantidade/origem/geometria das partículas constituintes dos coadjuvantes de filtração ao tempo de filtração e/ou ao grau de compactação do leito filtrante.





Pesquisar por que, na produção de medicamentos, é empregado o processo de compactação de substâncias finamente divididas, sob a forma farmacêutica de comprimidos.

Pesquisar a influência da granulometria na percepção sensorial humana de sabores, odores, cores, sons e texturas das substâncias.

Pesquisar por que o uso de aeradores em aquários, reatores biológicos e estações de tratamento de esgotos favorece a oxigenação da água. Desenvolver um experimento que permita relacionar o tamanho (e razão área superficial-volume) das bolhas produzidas ao grau de oxigenação alcançado. Discutir os danos ambientais provocados pela poluição de corpos d'água por agentes tensoativos e água aquecida, que têm o efeito de reduzir a tensão superficial provocando a coalescência das bolhas de ar.

Em condições normais, água e óleo são imiscíveis, separando-se em fases. Porém, em certas circunstâncias (ex: produção de sorvete, maionese, margarina, cosméticos) pode-se obter emulsões a partir deles, através da dispersão do óleo na água ou vice-versa, na forma de pequenas gotículas. Pesquisar os processos físicos e químicos envolvidos na produção das emulsões, buscando explicar a relação existente entre sua estabilidade e o tamanho das partículas nelas dispersas.

Pesquisar por que o processo de homogeneização, envolvido na produção de emulsões, também pode ser usado para aumentar a estabilidade de emulsões naturais (ex: retarda a formação de nata no leite) e para realçar o sabor dos alimentos.

Pesquisar por que são utilizados suportes porosos ou esféricos para imobilizar (fixar) enzimas e microrganismos em processos industriais.

Pesquisar por que os favos de mel têm forma hexagonal e os utensílios de cozinha têm, em geral, forma cilíndrica.

b) Tamanho e Locomoção dos Seres Vivos

Possibilidades de Problematização

Se existisse um inseto do nosso tamanho, ele poderia andar pelas paredes e sob o teto?

Se os seres humanos fossem do tamanho dos insetos, eles poderiam se deslocar por paredes e sob o teto?

Por que certos insetos pequenos podem pousar sobre a água? Que adaptações morfológicas a esse comportamento eles apresentam? Por que não se molham?

Se insetos que pousam sobre a água ficassem grandes, eles poderiam manter esse comportamento?

Se existissem pessoas do tamanho dos insetos, elas também poderiam andar sobre a água?

Por que os animais grandes mantêm os membros relativamente mais retos quando estão em pé ou andando? Por que, ao correrem, sua coluna vertebral flexiona-se menos e as patas traseiras fazem um ângulo menor com o corpo?

Noções e Princípios Científicos Envolvidos

Certos animais pequenos podem andar pelas paredes e sob o teto porque, além de disporem de adaptações morfológicas, nessas dimensões as forças de adesão superam a força gravitacional.

A tensão superficial da água permite que pequenos animais pousem sobre sua superfície.

Um animal se apóia sobre a água quando tem um pequeno volume/peso que se apóia sobre um perímetro grande. A presença de patas finas e longas favorece essa estabilidade. A quitina que reveste o corpo e pêlos aveludados nas patas impedem o umedecimento.

A maior rigidez das patas e da coluna vertebral dos animais grandes lhes confere estabilidade para suportar as cargas determinadas pela inércia e pela gravidade.





Por que as aves e os peixes que se locomovem rapidamente tendem a uma forma (aero)hidrodinâmica?



Há relação entre a forma e tamanho dos seres vivos e a resistência da água ou ar ao seu deslocamento.

Animais aquáticos e terrestres rápidos apresentam forma (aero)hidrodinâmica que ajuda a reduzir a resistência que a água e o ar oferecem ao deslocamento.

Por que as grandes aves conseguem se manter no ar planando enquanto que insetos e aves pequenas têm que bater continuamente suas asas?



As grandes aves podem planar porque se valem das forças inerciais. Para elas, o bater contínuo das asas exigiria muito esforço.

Animais pequenos nunca podem parar de impulsionar seu corpo devido à baixa velocidade de deslocamento e à grande resistência do fluido decorrente de sua grande superfície relativa.

Por que muitos insetos têm que manter-se distantes das correntes de ar para não serem arrastados?



Por que vários artrópodes minúsculos podem se valer das correntes de ar para se deslocarem?

Devido ao seu pequeno peso e maior resistência do ar sobre eles, animais muito pequenos podem beneficiar-se da difusão para se deslocarem.





Por que a forma (aero)hidrodinâmica não é vantajosa para seres unicelulares, insetos (ex: mosca) e animais aquáticos muito pequenos que se deslocam ativamente?

Os animais pequenos enfrentam problemas de locomoção que derivam de sua superfície relativamente grande.

A forma (aero)hidrodinâmica não é vantajosa para animais pequenos que se locomovem ativamente porque aumentaria ainda mais sua superfície relativa, intensificando a resistência do fluido ao deslocamento.



O plâncton marinho é constituído de minúsculos organismos flutuantes, mais densos que a água e desprovidos de mecanismos de locomoção ou que se locomovem com pouco esforço. Apesar disso, permanecem próximos à superfície, sendo levados pelas correntes de água. De que maneira o tamanho corporal favorece seu deslocamento? Qual a forma corporal mais provável destes organismos, mais ou menos compacta, com ou sem apêndices?

Para os animais que se valem das correntes de ar/água para se deslocarem, um corpo menos compacto e com apêndices é mais vantajoso.

Para que um organismo possa controlar seu deslocamento deve ser suficientemente grande para superar o choque desordenado provocado pelo movimento de átomos e moléculas vizinhas.



Vários organismos microscópicos nadadores dispõem de cílios para se deslocarem. Por que essas estruturas são eficientes na locomoção em pequenas dimensões?

Devido à reversibilidade do fluxo dos fluidos em pequena escala, estruturas rígidas não possibilitam o deslocamento. Os cílios, por serem flexíveis, permitem o avanço desses organismos no fluido.





Uma pulga pode pular até 100 vezes o seu próprio peso. Se existisse uma pulga do nosso tamanho, você acha que ela poderia dar pulos tão altos assim?

A resistência do ar durante o salto é maior nos animais grandes ou pequenos?

Além da resistência do ar, que fatores podem limitar o salto?

Devido à sua maior superfície relativa, a resistência do ar durante o salto é maior nos animais pequenos. Porém, diferenças nos rendimentos do salto são devidas também a outros fatores como peso e trabalho muscular.

A força exercida por um músculo é proporcional à área de sua seção transversal enquanto que o trabalho exercido por ele é proporcional à área de sua seção transversal e ao seu comprimento.

Por que um elefante não pode saltar?

Por que a maioria dos animais que são bons saltadores ou corredores têm pernas relativamente longas e, portanto, músculos longos?

Os animais grandes têm pernas curtas e grossas em relação ao corpo, por motivos de sustentação, o que os impede de saltar. A força de seus músculos não atua a uma distância muito grande, ou seja, o trabalho muscular é pequeno.

Por que os nadadores profissionais têm a prática de se depilar antes das competições?

Por que os peixes que se locomovem rapidamente têm a superfície lisa e revestida por um muco?

A presença de pêlos e outros apêndices na superfície corporal intensifica a resistência do fluido ao deslocamento enquanto que a presença de muco a reduz.





Por que os espermatozoides têm um grande gasto energético para se locomoverem?

Uma baleia em miniatura poderia se deslocar normalmente?

Uma águia poderia se deslocar se fosse reduzida ao tamanho de um mosquito? E o mosquito, se adquirisse o tamanho de uma águia?

A grande superfície relativa dos espermatozoides e organismos pequenos determina uma grande resistência do fluido ao deslocamento e a necessidade de nunca pararem seu "motor", uma vez que percorrem somente uma pequena distância, após deixarem de impulsionar seu corpo. As forças inerciais, por outro lado, contribuem para a locomoção em grandes dimensões.



Por que será que pessoas que se encontram deitadas, ao se sentarem ou se levantarem bruscamente, podem se sentir tontas?

Animais grandes, ao contrário dos pequenos, não podem permanecer imóveis por muito tempo ou mudar de postura bruscamente pois podem desmaiar. Por isso, os elefantes dormem em pé. Por que isto acontece?

Por que os animais grandes (ex: girafa) têm pressão arterial mais alta que os pequenos?

Devido ao efeito da gravidade, a imobilidade ou a mudança brusca de postura dos animais grandes podem provocar a falta momentânea de fluxo de sangue ao cérebro, com conseqüente diminuição da pressão arterial na cabeça.





Algumas Possibilidades de Abordagem

Observar uma grande variedade de animais, relacionando sua forma, habitat e modos de vida ao tamanho corporal.

Comparar as formas de animais aquáticos e terrestres (voadores e não-voadores).

Observar as formas de objetos (projéteis, automóveis, aeronaves, etc.) e seres vivos que se locomovem em alta velocidade.

Comparar as resistências oferecidas pela água a objetos com mesmo peso e constituição, mas com formas diferentes (cubo, paralelepípedo, esfera, torpedo, cone, etc.), medindo a velocidade com que mergulham na água. Verificar se a presença de apêndices nos objetos comparados altera a resistência da água ao deslocamento, relacionando com a presença, forma e natureza do revestimento (liso, áspero, com pêlos, etc.) dos apêndices (ex: patas) dos animais.

Pesquisar o papel na locomoção de expansões existentes nos membros de certos animais (esquilo voador, morcego, pato, etc.), buscando explicar porque sua presença em animais muito pequenos não é vantajosa.

Comparar a posição das patas e arqueamento do dorso durante a corrida e o salto em animais grandes e pequenos.

Pesquisar as posturas características de diferentes animais, relacionando-as à influência da força gravitacional em diferentes dimensões.





Investigar as propriedades dos músculos, usando-se modelos de elástico para determinar a influência da área de seção transversal e do comprimento:

Comparação da força necessária para distender feixes de elásticos, com número de elásticos variável, em $\frac{1}{4}$ de seu comprimento, construindo tabelas e/ou gráficos. Permitirá concluir que a força exercida por um músculo é proporcional à área de sua seção transversal.

Comparação da força necessária para distender elásticos de 10, 20, 30 e 40 cm de comprimento, com mesma espessura, em $\frac{1}{4}$ de seu comprimento. Informar aos alunos que a força necessária para distender os elásticos equivale à força exercida pelo músculo quando se contrai. A observação de que é necessária a mesma força para distendê-los permitirá concluir que um músculo mais comprido não exerce maior força do que um curto. O experimento permitirá, ainda, verificar que, embora seja empregada a mesma força para distender os elásticos em $\frac{1}{4}$ de seu comprimento, a mesma força é capaz de distender proporcionalmente mais o elástico maior, ou seja, o trabalho muscular é proporcionalmente maior no músculo longo.

Observar gravuras que permitam visualizar os tamanhos extremos dentre os quais os seres vivos se encontram.

Observar organismos microscópicos e macroscópicos (pequenos e grandes) comparando-os quanto aos aspectos morfológico e comportamental.

Investigar os aspectos da estrutura celular dos espermatozóides que lhes possibilitam o alto gasto energético empregado na locomoção.

Constatar a existência de forças de superfície a partir da observação de minúsculas bolinhas de isopor “coladas” à mão ou a um plástico; da visualização de finas lâminas de plástico coladas umas às outras e da verificação da propriedade do plástico de PVC e de substâncias particuladas (ex: talco, purpurina, etc.) de colarem sobre as superfícies.

Buscar informações sobre o uso de modelos no processo industrial (ex: construção de carros, aviões, barcos), buscando identificar as diferenças físicas/dinâmicas entre o modelo e o objeto em tamanho natural, assim como as modificações de escala que visam compensá-las.





Pesquisar as adaptações ao transporte pelo vento, que envolvem a ampliação da superfície relativa, presentes em objetos, estruturas orgânicas (ex: sementes) e seres vivos.

Construir miniaturas de determinados objetos, buscando comparar as propriedades das miniaturas e dos objetos com dimensões normais.

Diferenciar as propriedades/características que são próprias dos seres grandes daquelas que são típicas dos pequenos e microscópicos, a partir de pesquisa bibliográfica e observação ao microscópio, buscando contribuir para que os alunos estendam a noção de ser vivo àqueles organismos cuja aparência não coincide com as concepções que resultam de nossa experiência imediata.

Pesquisar o tamanho de gotas obtidas com o uso de um mesmo conta-gotas, usando-se água fria e água quente. Relacionar o experimento com a ação da temperatura sobre a tensão superficial: Gotas de água quente caem da extremidade do conta-gotas menores (com uma maior relação superfície-volume) pois a tensão superficial é reduzida pela ação da temperatura. Realizar o mesmo experimento com o uso de água com e sem substâncias tensoativas (ex: detergente) e ela misturadas.

Verificar a ação da tensão superficial em pequenas dimensões recortando-se papel alumínio na forma de um barquinho de 3 cm de comprimento, colocando-o sobre a água e inserindo, em uma reentrância na popa, um pedacinho de cânfora, que corresponde a uma substância tensoativa. Como as forças de tensão superficial sobre a proa serão maiores, o barco será puxado para a frente.

Pesquisar a estabilidade de materiais sobre a superfície da água de acordo com a relação entre seu perímetro e volume, com o uso de quadrados de papel alumínio de diferentes tamanhos. Verificar o número de feijões que eles suportam sem afundar, relacionando com o seu perímetro.

Pesquisar a viscosidade relativa de diferentes líquidos (mel, glicerina, água) de acordo com o tamanho e forma de objetos que neles se deslocam. Relacionar os resultados com a maior superfície relativa de objetos pequenos e de objetos com forma aerodinâmica.

c) Tamanho e Sustentação dos Seres Vivos

Possibilidades de Problematização

Varetas curtas e longas, com a mesma espessura e constituição, quebram-se com a mesma facilidade?

Se os pés de uma cadeira tivessem o dobro do comprimento, mas mantivessem a mesma espessura, sua resistência seria a mesma?

Se as patas do elefante fossem mais compridas, mas tivessem a mesma espessura e constituição, elas manteriam a mesma resistência?

Há relações entre a existência de um limite máximo de tamanho para os seres vivos e sua capacidade de sustentação?

Por que os animais terrestres pequenos são graciosos e ágeis, enquanto os grandes são robustos?

Noções e Princípios Científicos Envolvidos

A resistência (capacidade de suportar peso) de estruturas de suporte, inclusive dos ossos, é inversamente proporcional ao comprimento e depende da natureza do material que as constitui.

Uma das dificuldades que os seres vivos terrestres grandes enfrentam é a de sustentação do corpo, o que determina a existência de um limite máximo para o seu tamanho.

Nos animais terrestres, o esqueleto tende a ser proporcionalmente mais desenvolvido nos animais maiores (4% do peso corporal, no musurango; 13 a 14%, no cachorro; 17 a 18%, no homem; 20%, no elefante).





Por que certos animais aquáticos podem alcançar tamanhos superiores aos verificados entre os animais terrestres?

Por que, nos animais aquáticos, o peso do esqueleto é proporcionalmente pequeno em relação ao peso do animal e mantém a mesma proporcionalidade independente do tamanho do animal?

Há relação entre o empuxo exercido pela água e as dimensões e natureza das estruturas de suporte dos animais aquáticos.



Uma haste de madeira ou a prateleira de um armário é mais frágil na região mediana ou nos extremos? Que forma elas deveriam ter para que fossem igualmente resistentes em toda a sua extensão?

Por que os ossos ligados à sustentação (ex: fêmur) não mantêm a mesma espessura em toda a sua extensão?

Os ossos ligados à sustentação não têm um diâmetro uniforme em toda a sua extensão. Eles são mais espessos na região mediana pois é ela que suporta maior peso e que primeiro entraria em colapso se os ossos, submetidos a um peso excessivo, fossem uniformes.



Por que os animais terrestres, com poucas exceções, andam sobre quatro patas? Qual a posição das patas que confere maior estabilidade?

Por que a coluna vertebral dos animais maiores tende a ser na forma de um arco?

De que forma os bípedes distribuem o peso sobre uma base maior, para ganhar estabilidade?

A presença de quatro patas e o arqueamento permitem a distribuição do peso corporal sobre uma base maior, contribuindo para a estabilidade dos animais.





Se um gato ficasse do tamanho de um elefante e mantivesse as mesmas proporções entre as partes do corpo e a mesma estrutura de suas patas, estas teriam capacidade de suportar o seu peso?

Se uma pessoa se tornasse gigante, suas pernas suportariam seu peso?

Por que as árvores precisam ter troncos grossos, rígidos e resistentes, enquanto as plantas herbáceas têm caules mais finos e flexíveis?

Por que, à medida que uma árvore cresce, seu tronco fica proporcionalmente mais grosso?

Os dinossauros poderiam ter tido tamanhos superiores aos que possuíam?

Se existisse uma formiga do nosso tamanho, seu exoesqueleto seria suficiente para sustentar o seu peso? Ela poderia passar pelo processo de ecdise?

Por que não existem animais invertebrados muito grandes?

A resistência das estruturas de suporte (ex: ossos, troncos) aumenta apenas com o quadrado das dimensões lineares, sendo diretamente proporcional às áreas de suas seções transversais. Por outro lado, o peso de um organismo aumenta com o cubo das mesmas dimensões. Por isso, à medida que aumenta o tamanho do organismo, o diâmetro dessas estruturas deve aumentar mais depressa que as demais dimensões.

No curso da evolução, a manutenção da eficiência das funções orgânicas (entre elas, a sustentação do corpo), em organismos de diferentes tamanhos, requer alterações alométricas.

Animais grandes apresentam coluna vertebral, que lhes dá sustentação, enquanto que animais pequenos podem prescindir da sua presença.





Por que a coluna vertebral e os ossos dos membros dos vertebrados, assim como o caule de certas plantas, apresentam uma estrutura tubular e oca?

Qual a vantagem proporcionada pela estrutura microscópica dos ossos em tubos concêntricos ocas?



Estruturas tubulares e ocas, além de possibilitarem a economia de material, conferem grande resistência à ruptura.

A quantidade e a resistência do material utilizado para a sustentação de um edifício de três andares são proporcionalmente as mesmas que as verificadas no material empregado ao se construir um edifício de quinze andares?



As propriedades dos materiais mudam em função do seu tamanho, o que exige a mudança de proporções e/ou o emprego de materiais mais resistentes nas construções maiores.

Os seres vivos não podem crescer acima de um certo tamanho, conservando as mesmas proporções ou empregando os mesmos materiais nas estruturas de suporte.

Por que as plantas que crescem com estacas de apoio têm um crescimento do caule inferior ao que normalmente teriam?



O engrossamento do caule deve-se à ação de hormônios, cuja produção é estimulada em resposta às necessidades de sustentação.

Por que as células conseguem se manter unidas umas às outras, dando sustentação aos tecidos que constituem os seres vivos, sem a necessidade de estruturas rígidas?



Em dimensões microscópicas, as forças de superfície são suficientes para manter as membranas celulares aderidas umas às outras.





Algumas Possibilidades de Abordagem

Comparar o peso suportado por cilindros feitos com folhas de papel com mesma altura e diâmetros diferentes para verificar que a capacidade de suportar peso depende da área da seção transversal. Ao duplicar o diâmetro do cilindro, os alunos constatarão que ele suportará um peso quatro vezes maior. Isto acontece porque no cilindro maior há quatro vezes mais massa a ser comprimida que no cilindro menor.

Comparar a pressão suportada por cilindros de massa de modelar com comprimento e diâmetro de 1, 2, 3 e 4 cm, colocados sobre uma balança de mola, para verificar que a capacidade de sustentação aumenta proporcionalmente menos que o peso. Isto será evidenciado pela alteração mais fácil da forma dos cilindros maiores quando comprimidos no prato da balança.

Comparar a capacidade de suportar peso de canudos de plástico de diferentes comprimentos e mesma área da seção transversal, evidenciada através de sua resistência ao dobramento na região mediana, quando uma carga crescente é nela aplicada.

Demonstrar a relação entre tamanho e sustentação, através da comparação do volume, peso, área da seção transversal e resistência à compressão de cubos de massa de modelagem, com dimensões lineares de 1 cm, 2 cm, 4 cm e 8 cm.

Relacionar a altura e a grossura das patas de diferentes animais, com o uso de fotografias.

Pesquisar a relação existente entre o diâmetro/área da seção transversal de caules, medido(a) a uma determinada distância do solo, e a altura da planta.

Comparar a constituição e as proporções das estruturas de suporte de animais aquáticos e terrestres de diferentes dimensões.





Apresentar aos alunos ossos semelhantes (por ex: fêmur) de diferentes animais, sem identificação, para que façam medidas do comprimento e diâmetro, buscando estimar o tamanho/peso do animal.

Comparar o diâmetro do fêmur de boi, em toda a sua extensão, o que permitirá verificar que ele é maior na região mediana. Observar que, quando um feixe de canudos de plástico, colocado na posição vertical, é golpeado na extremidade superior, os canudos se doblam na região mediana. Estudar o efeito do espessamento na região mediana comparando a carga suportada por cilindros de papel simples e por cilindros de papel com mesma espessura mas reforçados na região mediana.

Observar exoesqueletos de animais, por exemplo, uma coleção de conchas, buscando relacionar sua espessura com o tamanho dos animais.

Comparar a estabilidade conferida a uma base de madeira quadrada, por 4 hastes colocadas sob cada extremidade, em diferentes posições (verticalmente, deslocadas obliquamente para fora, deslocadas para um dos lados, deslocadas para o centro), e relacionar com a posição das patas sob o corpo e a estabilidade por elas conferida a diferentes animais.

Relacionar a forma arqueada da estrutura de sustentação de pontes, torres, etc. com a disposição da coluna vertebral dos mamíferos. Comparar a capacidade de sustentação de uma haste de madeira reta e outra arqueada, ambas com as mesmas dimensões, ao serem pendurados materiais na sua região mediana.

Discutir situações envolvendo extremos de tamanho, como o caso de Robert Wadlow, a pessoa que até hoje atingiu a maior altura (2,75 metros) e que morreu aos 22 anos em decorrência de uma infecção adquirida devido ao uso de um suporte no tornozelo para que conseguisse ficar em pé.

Discutir situações presentes na ficção científica como, por exemplo, as retratadas no livro "A Metamorfose" (KAFKA, 1991) e no filme "A Mosca", em que os protagonistas mantêm o mesmo tamanho mas adquirem características de insetos, inclusive a sustentação por um exoesqueleto.





Verificar se esferas com volumes diferentes e mesma constituição, mantidas flutuando na superfície da água pela ação do empuxo, mantêm uma proporcionalidade em relação às áreas e aos volumes imersos.

Investigar se a resistência proporcionalmente maior das estruturas de sustentação dos animais maiores também é verificada em carapaças de caracóis, exoesqueletos de artrópodes e cascas de ovos.

Pesquisar os componentes químicos e forças que atuam na adesão das células, comparando-os com os mecanismos de sustentação de estruturas com outras dimensões.

Entrevistar pessoas ligadas à construção civil (pedreiros, engenheiros, etc.) buscando conhecer os materiais empregados nas estruturas de suporte das construções de diferentes tamanhos e adquirir informações sobre a pesquisa de novos materiais, mais resistentes.

Pesquisar o desenvolvimento humano, buscando identificar situações em que há aumento de determinada dimensão ou parte do corpo de um organismo numa taxa diferente em relação a outras (ex: a cabeça de fetos e crianças é proporcionalmente maior que a dos adultos; os braços das crianças são proporcionalmente mais curtos que os dos adultos; à medida que as pessoas envelhecem, suas orelhas crescem proporcionalmente mais) ou há variação de uma propriedade fisiológica de acordo com o tamanho corporal (ex: a frequência cardíaca das crianças é maior que a dos adultos). O estudo pode ser feito através de observação e comparação de fotografias; observação de aspectos morfofisiológicos; realização de medidas de partes do corpo humano, relacionando-as; e, estudo da antropometria e de sua utilidade. Pesquisar outros animais buscando identificar situações em que há crescimento alométrico durante a ontogenia.

Entrevistar pessoas muito pequenas e muito grandes buscando identificar dificuldades que encontram no seu dia-a-dia em função da padronização do tamanho de roupas, objetos, móveis, etc.

d) Tamanho e Troca de Materiais através de Superfícies

Possibilidades de Problematização

A extensão da superfície exposta tem relação com a velocidade de secagem das roupas?

A extensão da superfície corporal influi na capacidade de retenção de água pelos organismos?

Por que certos insetos conseguem sobreviver sem nunca beber água e apenas consumindo alimentos secos, como, por exemplo, o besouro do amendoim (*Tenebrio molitor*), se têm uma superfície relativa que favorece a perda de água?

Todas as plantas perdem água por evaporação na mesma velocidade? As plantas de regiões áridas apresentam adaptações estruturais para evitar a perda excessiva de água?

Noções e Princípios Científicos Envolvidos

Os animais pequenos, por terem grande superfície relativa, experienciam dificuldades ligadas à retenção de água no organismo.

Os animais pequenos protegem-se da perda excessiva de água por meio de processos de impermeabilização, vivendo constantemente em lugares úmidos e abrigados ou consumindo a água que condensa sobre sua superfície.

A forma das folhas possibilita a captação da luz solar em quantidade apropriada para a atividade fotossintética. Porém, acarreta maior taxa de evaporação da água. Esta é evitada em certas plantas, por meio de adaptações estruturais/fisiológicas.



Por que a minhoca é capaz de sobreviver respirando apenas através da pele?

Se a minhoca tivesse suas dimensões aumentadas, ela poderia manter o processo de respiração cutânea?

Se os insetos fossem do nosso tamanho, eles poderiam manter a respiração por traquéias?

Qual a vantagem da respiração pulmonar em relação aos outros tipos?

Os organismos pluricelulares grandes possuem células maiores ou em maior número que os organismos pluricelulares pequenos?

Por que as células se dividem, ao atingirem um determinado tamanho, ao invés de continuarem crescendo?

Por que o desenvolvimento de órgãos internos foi necessário durante a evolução de espécies de animais com grandes dimensões?



Certas formas e tamanhos corporais são mais adequados para determinados organismos que vivem sob condições específicas.

O aumento do tamanho, quando não acompanhado por mudanças estruturais, faz com que os organismos passem a ter superfícies de trocas de substâncias relativamente menores.



Há um limite máximo ao tamanho das células. Em maiores dimensões, haveria limitações à difusão de substâncias e a outros aspectos do metabolismo celular, em decorrência da menor superfície relativa.



Os órgãos internos proporcionam o aumento das superfícies de trocas de nutrientes, excretas e gases, permitindo suprir as necessidades decorrentes da pequena superfície relativa dos animais grandes.





Que vantagem adaptativa a grande superfície relativa proporcionada pela forma das folhas confere às plantas?



A ampliação das superfícies de trocas pode se dar através da forma ramificada (ex: folhas) ou pela presença de dobramentos (ex: alvéolos pulmonares, (micro)vilosidades intestinais).



Algumas Possibilidades de Abordagem

Comparar o tempo necessário para a secagem de 4 lenços molhados em água, sendo que um deles é mantido aberto e os demais são dobrados 1, 2 e 3 vezes, respectivamente. Determinar a relação entre superfície exposta e velocidade de evaporação.

Comparar a velocidade de evaporação da água colocada, em volumes idênticos, em frascos com superfície exposta variável. Realizar o estudo quantitativo, através da pesagem dos frascos em intervalos regulares de tempo. Repetir o experimento, colocando uma película de óleo sobre a água. Verificar sua influência sobre a evaporação, relacionando os resultados com a presença, nos animais de climas frios, de uma camada de gordura sob a pele, e nos insetos e plantas, de substâncias impermeabilizantes.

Elaborar explicações para o costume de se colocar bacias largas cheias de água e de se estender toalhas molhadas nas casas, em cidades com baixos teores de umidade relativa do ar.

Pesquisar substâncias que têm ação impermeabilizante, impedindo a evaporação.

Pesquisar processos industriais (serpentina) e orgânicos (presença de órgãos internos; válvula espiral dos tubarões; (micro)vilosidades intestinais; ramificação dos vasos sanguíneos em capilares) que aumentam as superfícies de trocas.



Desenvolver estudos sobre as células, visando seu reconhecimento não apenas como unidades estruturais dos seres vivos, mas também como unidades funcionais, por estarem implicadas diretamente no metabolismo. Tal reconhecimento é necessário para que os alunos passem a atribuir o crescimento corporal à proliferação celular e possam compreender a existência de limites ao tamanho celular.

Discutir e pesquisar por que certos animais pequenos conseguem sobreviver sem nunca tomar água (ex: ácaro, carrapato, pulga, etc.), se têm uma grande superfície relativa que favorece a desidratação.

No processo de envelhecimento de bebidas alcoólicas, são usados, preferencialmente, tonéis pequenos feitos de madeira que apresenta porosidade, sendo que, para acelerá-lo, de forma fraudulenta, certos produtores adicionam aos tonéis cavacos de madeira ou pó de serragem. Elaborar explicações para tais procedimentos, relacionando-os com a maior razão área superficial-volume obtida.

Comparar a intensidade da coloração e do sabor do chá, extraído de folhas inteiras ou em pedaços, e do café, obtido a partir do pó de café com granulometrias diferentes, utilizando-se água com a mesma temperatura. Relacionar os resultados com a razão área superficial-volume das folhas e partículas, respectivamente.

Pesquisar a relação entre a extensão da superfície foliar de variedades de determinada planta (ex: milho, cana de açúcar) e suas taxas fotossintéticas (produção de glicose).

Estudar a importância da extensa ramificação do sistema radicular das plantas aquáticas, em especial do aguapé, que é empregado na limpeza de água poluída e na extração de ouro e de outros metais de corpos d'água.

Elaborar explicações para o fato de os fabricantes de rações para bovinos acrescentarem às mesmas substâncias sem valor nutritivo.

Analisar os efeitos do aumento do tamanho sobre as trocas de substâncias no organismo, apresentados na "História do Cavalo Poliplóide", reproduzida no capítulo II.

e) Tamanho e Taxas Metabólicas

Possibilidades de Problematização

Por que os alimentos esfriam e esquentam mais depressa quando os dividimos em partes menores?

Qual a função da serpentina em um aquecedor de água ou no congelador da geladeira?

Qual a importância das grandes orelhas dos elefantes e coelhos na termorregulação?

A natureza e extensão da superfície corporal influencia a regulação térmica dos organismos?

Como os animais endotérmicos pequenos evitam a perda de calor quando submetidos ao frio intenso?

Por que o menor beija-flor existente, que tem 5 cm de comprimento, só pode viver em regiões quentes?

Noções e Princípios Científicos Envolvidos

Quanto maior a superfície relativa de um objeto, maior sua capacidade de absorver ou perder calor.

A relação entre área superficial e volume se altera, por exemplo, quando a superfície apresenta projeções ou dobras.

Os animais grandes apresentam adaptações que favorecem a perda de calor pela ampliação da superfície corporal.

Os animais dependem da extensão e natureza da superfície corporal para manter sua temperatura. Aqueles que têm grande superfície relativa experienciam dificuldades ligadas à retenção de calor no organismo, enquanto que os que possuem pequena superfície relativa têm dificuldade de dissipar calor.

Os animais endotérmicos muito pequenos são mais comuns nas regiões quentes. Aqueles que vivem em regiões frias são forçados a comer praticamente o tempo todo e a explorar as diferenças de temperatura entre os microclimas disponíveis, de modo a manter suas altas taxas metabólicas.





Os animais ectotérmicos (aqueles cuja fonte de calor é externa), que habitam diferentes regiões (ex: tropical, temperada, ártica), têm o mesmo tamanho?

Os animais ectotérmicos também dependem da extensão e natureza da superfície corporal pois é através dela que absorvem calor do meio ambiente. Aqueles que vivem em clima frio tendem a ser menores para garantir uma resposta rápida em termos de aquecimento ou resfriamento corporal.

Por que a evaporação da água não é um mecanismo eficiente de dissipação de calor para os animais pequenos?

Por que os animais endotérmicos grandes resistem melhor a temperaturas altas e baixas do que os endotérmicos pequenos?

Que vantagens em relação à termorregulação a pequena superfície relativa confere aos ectotérmicos grandes?

Os animais perdem calor através da superfície corporal, enquanto que a capacidade de produzi-lo está relacionada ao volume. Quanto maior o animal, maior é a produção de calor em relação à sua perda.

Porque será que, em espécies de animais endotérmicos que manifestam variação geográfica, os indivíduos que vivem nas áreas mais frias tendem a ser maiores, esféricos ou com extremidades curtas, enquanto os que vivem nas áreas mais quentes tendem a ser menores, longilíneos ou com extremidades mais compridas e finas.

Quanto menor o animal endotérmico, maior o resfriamento que ocorre pela superfície, de forma que aqueles que vivem em regiões frias tendem a ser maiores e mais compactos do que aqueles que vivem em climas quentes.

O tamanho e a forma de um organismo não tem relação apenas com a temperatura ambiental mas também com a disponibilidade de alimentos e/ou com vantagens adaptativas que podem propiciar, em detrimento das desvantagens na termorregulação.





Do ponto de vista da produtividade de alimentos para a espécie humana, é mais vantajoso criar animais endotérmicos grandes (ex: boi, porco) ou pequenos (ex: frango, coelho)?



Economicamente, é mais vantajoso utilizar como fonte de alimento animais endotérmicos pequenos porque, como eles têm uma taxa metabólica proporcionalmente maior, convertem uma mesma quantidade de alimento em uma mesma quantidade de biomassa, de forma mais rápida que os grandes.

Do ponto de vista da produtividade de alimentos para a espécie humana, é mais vantajoso criar animais endotérmicos ou ectotérmicos (peixes, rãs)?



Economicamente, é mais vantajoso utilizar como fonte de alimento animais ectotérmicos pois eles apresentam uma taxa metabólica 10 vezes mais baixa que animais endotérmicos de tamanho correspondente. Entre eles, também é mais vantajoso criar animais pequenos devido à maior velocidade de conversão de alimento em biomassa.

Por que os animais ectotérmicos resistem por mais tempo à falta de alimento que os endotérmicos?



Os animais ectotérmicos têm baixas necessidades energéticas porque não produzem calor para a regulação da temperatura corporal. Por isso, podem ter taxas metabólicas relativamente mais baixas.

Quando, em populações naturais, a disponibilidade de alimentos diminui, que organismos resistem por mais tempo ao jejum, os mamíferos grandes ou os pequenos?



Os animais grandes podem subsistir com alimentos de qualidade inferior em termos energéticos, podendo ser menos seletivos que os animais pequenos. Por que isso acontece?

Os mamíferos pequenos degradam maior quantidade de energia química em calor por unidade de tempo que igual massa de mamíferos grandes, de forma que suas reservas energéticas são metabolizadas mais rapidamente quando há redução da oferta alimentar nos ambientes em que vivem.





Por que os bebês precisam ser mantidos em temperatura razoavelmente quente e ser mais agasalhados que os adultos? Por que se alimentam com maior frequência que os adultos?

Por que os mamíferos mergulhadores grandes podem ficar submersos por até 2 horas, enquanto que os muito pequenos não podem exceder 30 segundos?

O que pode explicar o fato dos animais pequenos terem maior densidade de capilares sanguíneos nos tecidos?

Por que as crianças têm frequências cardíacas e respiratórias mais altas que as apresentadas pelos adultos?

Por que os animais pequenos têm frequências cardíacas e respiratórias mais altas que os grandes?

No elefante, a frequência cardíaca é de 25 pulsações por minuto; no homem, é de 70 pulsações por minuto e, no musuranho, é de 800 pulsações por minuto. O que poderia explicar essas diferenças?

Por que os animais pequenos têm maior consumo de oxigênio nos tecidos, maior velocidade de dissociação do oxigênio da hemoglobina e maior taxa de difusão de gases nos pulmões e tecidos que os grandes?

Os mamíferos pequenos necessitam de um alto suprimento de oxigênio e de alimento nos tecidos para manter sua intensa taxa metabólica e altos níveis de atividade.

A variação alométrica da taxa metabólica com o tamanho corporal tem implicações em uma série de aspectos da fisiologia animal.



Por que os animais menores são tão ativos, comem praticamente sem parar e proporcionalmente mais que os grandes?

Que relação há entre as altas taxas metabólicas de aves e mamíferos e a existência de um limite mínimo e máximo para o seu tamanho?

Por que os seres unicelulares e os animais vertebrados ectotérmicos podem atingir pequenos tamanhos não verificados entre os animais endotérmicos?

Por que os animais pequenos têm uma duração de vida menor?

Os animais pequenos têm taxas metabólicas mais elevadas que os grandes, o que exige que comam proporcionalmente mais.

Animais endotérmicos muito grandes enfrentam problemas vinculados à dissipação de calor, enquanto que os muito pequenos têm dificuldades de retê-lo.

Os animais vertebrados ectotérmicos podem atingir um limite mínimo de tamanho (0,3 g) dez vezes menor que os endotérmicos (3 g). Isto ocorre porque os ectotérmicos têm necessidades energéticas dez vezes menores que endotérmicos de tamanhos supostamente correspondentes.

Os seres unicelulares têm taxas metabólicas 6 a 10 vezes menores que as de animais ectotérmicos de tamanhos supostamente correspondentes, o que permite que eles tenham pequeno tamanho.

Devido ao tempo requerido para a multiplicação e diferenciação celular, os animais grandes têm um ciclo de vida mais longo. Porém, do ponto de vista metabólico, animais pequenos e grandes vivem por um mesmo tempo.



Algumas Possibilidades de Abordagem

Investigar a perda de calor por objetos de volumes diferentes e mesma constituição, como, por exemplo, batatas pequenas e grandes, comparando o tempo que levam para esfriar e relacionando os resultados obtidos com sua superfície relativa.

Comparar a velocidade de resfriamento da água quase fervendo, colocada para resfriar em 1 frasco de 500 cm³, com a temperatura do mesmo volume de água, distribuído em 5 frascos de 100 cm³, ou, então, comparar a velocidade de resfriamento da água, colocada em uma lata grande, com a velocidade de resfriamento do mesmo volume de água, distribuído em latas pequenas, buscando relacionar a perda de calor às áreas das superfícies expostas e às áreas das paredes dos recipientes através das quais ocorre a transferência de calor.

Comparar, em intervalos de tempo regulares, a temperatura da água quase fervendo, colocada para resfriar em 2 balões de vidro, um de 100 cm³ (área superficial = 115 cm²) e outro de 500 cm³ (área superficial = 330 cm²), construindo tabelas e/ou gráficos para expressar os dados obtidos. Relacionar o tempo requerido, em ambos os casos, para o resfriamento com a quantidade de calor perdida por animais de vários tamanhos.

Pesquisar a queima da madeira nas formas de “briquetes”, de varetas e de serragem, comparando os respectivos tempos e calores de combustão. Relacionar os resultados com as razões áreas superficiais-volumes, nas três formas apresentadas pela madeira.

Comparar o tempo necessário para o cozimento de ovos pequenos e grandes, relacionando os resultados com as razões entre suas áreas superficiais e volumes.

Investigar o tempo de cozimento do macarrão filado, com diferentes diâmetros, relacionando-o às razões áreas superficiais-volumes. Buscar explicar por que algumas variedades são apresentadas na forma tubular oca.





Pesquisar a utilização da “atomização” da água em torres de refrigeração, com vistas à otimização do seu resfriamento, relacionando o abaixamento da temperatura ao tamanho das partículas produzidas por bocais atomizadores de diferentes tamanhos. Pesquisar também processos análogos utilizados na obtenção de leite e sucos em pó por “spray drier” (secador por atomização) e na produção de bebidas gaseificadas através da dissolução de gás carbônico.

Estudar o processo de calefação, buscando explicar por que os líquidos, ao entrarem em contato com superfícies superaquecidas, assumem formas esféricas. Investigar como os joalheiros fabricam jóias de metais preciosos com formato esférico, bem como a forma assumida pelo mercúrio quando colocado em superfícies planas.

Investigar a ação de penas e pêlos na retenção do calor corporal, revestindo com estas estruturas frascos contendo água quase fervendo, colocada para resfriar, e comparando o tempo requerido para seu resfriamento nestes frascos com o requerido em um experimento-controle.

Comparar as áreas de dois cilindros de mesmo diâmetro, em que um tem a superfície lisa e o outro apresenta superfície pregueada. Relacionar com o papel desempenhado na captação e/ou dissipação de calor por dobras na pele (ex: orelhas nos elefantes) e por projeções corporais apresentadas por certos animais.

Para combater bactérias patogênicas presentes no trato intestinal podem ser empregados *probióticos*, que correspondem a microrganismos benéficos que competem com os patogênicos pelo substrato. Pesquisar por que os probióticos inibem a multiplicação das bactérias patogênicas, ressaltando dentre outros aspectos, a influência do tamanho, taxas metabólicas, tempos de geração e velocidades específicas de crescimento dos microrganismos.

Pesquisar as adaptações apresentadas pelos animais pequenos que lhes permitem sobreviver quando ocorre a redução da oferta alimentar nos ambientes em que vivem.





Pesquisar os animais ectotérmicos e endotérmicos de diferentes regiões, comparando seus tamanhos, assim como as adaptações fisiológicas e comportamentais envolvidas na regulação da temperatura corporal.

Pesquisar a relação entre a duração do ciclo de vida de animais de diferentes tamanhos e alguns períodos de tempo fisiológicos como, por exemplo, o número de batimentos cardíacos e de ciclos respiratórios ao longo da vida, reconhecendo que, do ponto de vista fisiológico, todos vivem um mesmo tempo.

Pesquisar mecanismos de manutenção da temperatura corporal em diferentes animais, comparando os que ocorrem em seres grandes e pequenos.

Pesquisar componentes do metabolismo animal que variam de acordo com o tamanho corporal.

Identificar, na "História do Cavalo Poliplóide", reproduzida no capítulo II, alguns limites metabólicos ao grande tamanho dos animais.

Questionar a limitação da terminologia *animais homeotérmicos* e *pecilotérmicos*, analisando com os alunos casos como o dos insetos e animais pecilotérmicos grandes, que têm homeotermia funcional, e dos animais homeotérmicos pequenos que, ao hibernarem, acompanham a temperatura ambiental.

Pesquisar o papel dos animais pequenos e grandes nos ecossistemas, estudando as relações tróficas que estabelecem e seus padrões reprodutivos, relacionados à oferta de recursos.

f) Tamanho Corporal e Comportamentos

Possibilidades de Problematização

Por que os animais grandes não podem subir em lugares altos com rapidez e têm maior risco que os pequenos de se machucarem ou morrerem quando caem?

As crianças e os adultos machucam-se igualmente ao caírem de lugares proporcionalmente altos em relação ao seu tamanho?

Por que será que as crianças muitas vezes não se machucam quando caem de grandes alturas?

Se as pessoas fossem do tamanho das formigas, você acha que elas se machucariam se caíssem de lugares altos? E se as formigas fossem do nosso tamanho, elas se machucariam?

Por que uma formiga pode carregar em torno de 14 vezes o seu próprio peso, enquanto que o homem tem dificuldade de sustentar um peso superior ao seu?

Se existisse uma formiga do nosso tamanho, ela poderia carregar materiais 14 vezes mais pesados que ela própria? Se os seres humanos ficassem do tamanho das formigas, eles poderiam?

Noções e Princípios Científicos Envolvidos

Devido ao menor efeito da gravidade e das forças inerciais e à maior influência das forças que atuam sobre as superfícies (forças de viscosidade, forças de coesão molecular, forças de aderência, difusão, etc.), em pequenas dimensões, os animais podem apresentar comportamentos não permitidos aos animais grandes.





Uma mosca, ao cair na água, tem facilidade de se mover e dela sair?



Animais pequenos ficam presos na água devido à sua grande superfície relativa. Os fluidos são percebidos por eles como sendo mais viscosos do que são percebidos por animais grandes.

A quantidade de água que fica retida sobre o corpo e nas asas de uma mosca molhada é proporcionalmente menor, igual ou maior à quantidade de água retida sobre nossa pele quando nos molhamos?



O peso da água transportada por um animal molhado torna-se significativo quando ele tem grande superfície relativa, isto é, tem pequeno tamanho.

Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam tomar banho em pequenos chuveiros ou em algumas gotas de água?



Devido à tensão superficial, não seria possível obter gotas proporcionais ao tamanho de uma formiga. A grande superfície relativa do corpo e a tensão superficial fariam com que pessoas de pequenas dimensões ficassem presas nas gotas de água.

Como os insetos protegem-se de umedecimentos que poderiam ser fatais em decorrência de sua grande superfície relativa?



Animais pequenos, dotados de grande superfície relativa, apresentam revestimentos que repelem a água (por ex: o exoesqueleto com quitina dos insetos).





Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam pensar?



A capacidade mental humana não seria mantida em pequenas dimensões pois teríamos poucos neurônios.

Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam produzir e ler pequenos livros proporcionais ao seu tamanho?



Produzir livros proporcionais ao tamanho de uma formiga seria impossível pois as folhas grudariam umas às outras, devido às forças intermoleculares que prevalecem em pequenas dimensões. Haveria inadequação da estrutura do olho (acuidade visual e poder de resolução) para a percepção de caracteres que fossem proporcionais ao tamanho da formiga.

Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam utilizar o fogo? Poderiam fazer fogueiras proporcionais ao seu tamanho?



Em dimensões muito pequenas, não é possível obter chamas estáveis.



Algumas Possibilidades de Abordagem

Comparar a estrutura e fisiologia dos órgãos sensoriais e do sistema nervoso nos diferentes grupos animais.

Comparar a quantidade de glacê necessária para cobrir um bolo pequeno e um bolo grande, relacionando com a quantidade de água que fica retida sobre o corpo de animais pequenos e grandes quando estes se molham.





Investigar o volume de água retida pela superfície de cubos com 1, 2 e 3 cm de aresta, revestidos com feltro. Realizar a mesma experimentação, após revestir os cubos cobertos com feltro com uma substância que repele a água. Comparar e interpretar os resultados.

Comparar a quantidade de calda necessária para revestir 2 kg de maçã, ao produzir “maçã do amor”, e 2 kg de uva, ao produzir “uva do amor”.

Observar como minúsculas partículas de poeira suspensas no ar ou na água se deslocam de forma desordenada, relacionando o observado com o deslocamento de organismos muito pequenos.

Comparar a velocidade de difusão de 10 g de açúcar nas formas de tablete e refinado, através do estudo da pressão osmótica. Pesquisar a influência da temperatura da água na velocidade de difusão do açúcar.

Investigar se objetos com semelhança geométrica, ou seja, de diferentes dimensões e de mesma constituição e forma, danificam-se igualmente, ao caírem de lugares proporcionalmente altos em relação ao seu tamanho, e sofrem a mesma resistência do ar durante a queda.

As plantas que vivem em climas frios têm adaptações para resistir ao congelamento, dentre elas a condução da seiva através de tubos muito finos. Pesquisar a temperatura de congelamento da água em tubos com diferentes diâmetros, buscando explicar por que ela não se solidifica em tubos capilares. Relacionar o estudo realizado às razões entre as áreas superficiais e volumes dos diferentes tubos.

Comparar a velocidade de queda livre, no vácuo e no ar, de esferas de isopor que apresentam diferentes tamanhos. Relacionar os resultados com as razões entre as áreas de suas projeções circulares e seus volumes/massas. Pesquisar também suas velocidades-limite.

Investigar o tempo de sedimentação (decantação) de suspensões de argila, areia e outros materiais de diferentes granulometrias/geometrias, em água, relacionando os resultados às razões entre as áreas superficiais das partículas e seus respectivos volumes/massa. Observar o aspecto das diferentes camadas formadas após a sedimentação. Relacionar o aspecto observado com a disposição de camadas de diferentes materiais e granulometrias em filtros biológicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões às quais chegamos a partir deste estudo podem ter algumas implicações, ou pelo menos nos conduzir a certas reflexões, sobre as experiências de inovação curricular e de formação de professores de Ciências e Biologia. Em relação às primeiras, podemos dizer que, em geral, carecem da explicitação consistente dos pressupostos e dos conflitos envolvidos em sua elaboração, assim como da justificação das escolhas em termos de organização e seqüenciação de conteúdos. A maior parte das escolhas envolvidas ainda não se baseiam em resultados de pesquisa.

Espero que este trabalho possa contribuir para aumentar a consciência dos professores acerca das dificuldades que podem encontrar ao ensinarem o tema Tamanho e Vida e lhes indicar possíveis perspectivas para sua inserção fundamentada nos currículos. Para isso, outros estudos que envolvam a investigação de manifestações das idéias dos alunos e professores em contexto de sala de aula e de estratégias instrucionais mais efetivas para a aprendizagem do tema se fazem necessários. Portanto, ao invés de ter caráter conclusivo, esta dissertação abre novas perspectivas de pesquisa.

Em relação aos cursos de formação de professores de Ciências e Biologia, é necessário que envolvam os licenciandos e professores no exercício do magistério em experiências que evidenciem a complexidade do processo de ensino-aprendizagem e que articulem os conhecimentos específicos e os de natureza didático-pedagógica, através da pesquisa de situações específicas de ensino-aprendizagem em Ciências e Biologia.

A ênfase na aquisição de conhecimentos específicos dos cursos de formação inicial de professores contribui para reforçar entre eles a concepção de que o domínio de tais conhecimentos é o principal determinante da aprendizagem dos alunos. A constatação posterior de que as interpretações dos alunos de suas bem preparadas lições podem ser bastante diferentes das esperadas é um sinal incômodo de que os conhecimentos cotidianos têm que ser incorporados às aulas de Ciências e Biologia. Essa incorporação requer que os professores sejam orientados a prestar mais atenção às idéias explicitadas pelos alunos e às reações destes quando novos conceitos são apresentados.

Requer, ainda, que os professores sejam preparados para prover oportunidades para que seus alunos se expressem, para diversificar as maneiras de ensinar de forma sincronizada com o processo de elaboração conceitual em curso, para tomar decisões fundamentadas, para lidar com situações conflituosas, para perceber vinculações de sua disciplina com as demais e com a realidade concreta, para levantar hipóteses sobre seu trabalho, para elaborar planejamentos flexíveis e, principalmente, para **apre(e)nder** permanentemente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, R. M. *The encyclopedia of animal biology*. New York : Facts on File Publications, 1987.
- ALVES, R. *Filosofia da ciência. Introdução ao jogo e suas regras*. São Paulo : Ars Poetica, 1996.
- ANDRÉ, M. E. D. A. Os estudos etnográficos e a reconstrução do saber didático. *Revista da Associação Nacional de Educação*, (19):17-21, 1993.
- ARAGÃO, R. M. R. de. Reflexões sobre ensino, aprendizagem, conhecimento... *Revista de Ciência & Tecnologia*, (3):07-12, 1993.
- ARCÀ, M. & GUIDINI, P. Modelos infantiles e modelos científicos sobre la morfología de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2):162-67, 1989.
- ASIMOV, I. *O melhor da ficção científica do século XIX*. São Paulo : Melhoramentos, 1988.
- ASTOLFI, J. & DEVELAY, M. *A didática das ciências*. Campinas : Papirus, 1990.
- AZANHA, J. M. P. *Uma idéia de pesquisa educacional*. São Paulo : EDUSP, 1992.
- BACHELARD, G. *A epistemologia*. Lisboa : Edições 70, 1971.
- BARBERÁ, O. El papel que desempeñan las teorías en la Biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(1): 32-6, 1992.
- BARROS, H. L. & ESQUEVEL, D. M. S. Bactérias magnéticas. *Revista Ciência Hoje das Crianças*, (32), 1993.
- BATESON, G. *Mente e natureza. A unidade necessária*. Rio de Janeiro : Francisco Alves, 1986.
- BATSCHELET, E. *Introdução à matemática para biocientistas*. Rio de Janeiro/São Paulo : Interciência/EDUSP, 1984.
- BEGON, M.; HARPER, J. & TOWNSEND, C. R. *Ecology: individuals, populations and communities*. London : Blackwell Scientific Publications, 1986.
- BENLLOCH, M. *Por un aprendizaje constructivista de las ciencias*. Madrid : Visor Libros, 1984.
- BLOOM, J. W. Contexts of meaning: young children's understanding of biological phenomena. *International Journal of Science Education*, 12(5): 549-61, 1990.

- BOMBASSARO, L. C. *As fronteiras da epistemologia. Como se produz o conhecimento: Uma introdução ao problema da racionalidade e da historicidade do conhecimento.* Petrópolis : Vozes, 1992.
- BOORSTIN, D. J. *Os descobridores. De como o homem procurou conhecer-se a si mesmo e aos outros.* Lisboa : Gradiva, 1987.
- CABALLER, M. J. & GIMÉNEZ, J. Las ideas de los alumnos e alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2): 172-80, 1992.
- CANDELA, A. El discurso de la ciencia en el aula. *Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências.* Faculdade de Educação, UFMG. Belo Horizonte, 1997. 17 p. (texto mimeo.)
- CARRAHER, T. N. *O método clínico: Usando os exames de Piaget.* São Paulo : Cortez, 1989.
- CARNEIRO, F. L. Galileu e os efeitos do tamanho. *Ciência Hoje.* 9(50): 31-9, 1989.
- CARVALHO, A. M. P. & PÉREZ, D. G. *Formação de professores de Ciências: tendências e inovações.* São Paulo : Cortez, 1993.
- CHALMERS, A. F. *O que é ciência afinal?* São Paulo : Brasiliense, 1993.
- CHAVES, S. N. *Evolução das idéias e idéias de evolução. A evolução dos seres vivos na ótica de aluno e professor de Biologia do ensino secundário.* Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, UNICAMP, 1993.
- COLL, C. Constructivismo e intervención educativa: como ensinar lo que se ha de construir? *Congresso Internacional de Psicología y Intervención Educativa*, Madrid, 1991. 31 p. (texto mimeo.)
- _____. *Psicología y currículum. Una aproximación psicopedagógica a la elaboración del currículum escolar.* Barcelona : Ediciones Paidós, 1992.
- _____. *Aprendizagem escolar e construção do conhecimento.* Porto Alegre : Artes Médicas, 1994.
- DOBZHANSKY, T. et al. *Evolución.* Barcelona : Ediciones Omega, 1988.
- DOLLE, J. M. *Para compreender Jean Piaget.* Rio de Janeiro : Guanabara, 1987.
- DRIVER, R. Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11(5): 481-90, 1989.
- EZPELETA, J. & ROCKWELL, E. *Pesquisa participante.* 2. ed. São Paulo : Cortez e Autores Associados, 1989.

- FLANNERY, M. C. (1989) Small, medium or large: why is size so important? *The American Biology Teacher*, 51(2): 122-5, 1989.
- FOLEY, R. *Apenas mais uma espécie única: Padrões da ecologia evolutiva humana*. São Paulo : EDUSP, 1993.
- FRACALANZA, H.; AMARAL, I. A. & GOUVEIA, M. S. F. *O ensino de ciências no 1º grau*. 5. ed. São Paulo : Atual, 1986.
- FUTUYMA, D. J. *Biologia evolutiva*. 2. ed. Ribeirão Preto : BGG/CNPq, 1992.
- GALILEI, G. *Dois novas ciências. Incluindo: da força de percussão*. São Paulo : Nova Stella, 1988.
- GASC, J. P. *A aventura prodigiosa do nosso corpo*. Lisboa : Edições 70, 1981.
- GIORDAN, A. & DE VECCHI, G. *Los Orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla : Diada, 1988.
- GOULARD, I. B. *Piaget. Experiências básicas para utilização pelo professor*. 6. ed. Petrópolis : Vozes, 1990.
- GOULD, S. J. Tamanho e forma, de igrejas a cérebros e planetas. *Darwin e os grandes enigmas da vida*. São Paulo: Martins Fontes, 1987. p. 165-95.
- _____. *Quando as galinhas tiverem dentes*. Lisboa : Gradiva, 1989.
- _____. *Viva o brontossauro: Reflexões sobre história natural*. São Paulo : Companhia das Letras, 1992.
- _____. Os tempos de vida que nos couberam em sorte. *O Polegar do panda: Reflexões sobre história natural*. Lisboa : Gradiva, s/d. p. 335-42.
- _____. Atração natural: as bactérias, os pássaros e as abelhas. *O Polegar do panda: Reflexões sobre história natural*. Lisboa : Gradiva, s/d. p. 343-53.
- GUYTON, A. C. *Fisiologia humana*. Rio de Janeiro : Guanabara, 1986.
- HALDANE, J. B. S. On being the right size. In: HUTCHINS, R. M. & ADLER, M. J. Gateway to the great books. Natural Science. *Encyclopaedia Britannica*, 8, 147-54, 1963.
- HARDY, R. N. *Temperatura e vida animal*. São Paulo : EPU/EDUSP, 1981.
- HARLEN, W. *The teaching of science*. London : David Fulton Publishers, 1992.
- HEWSON, P. W. & THORNLEY, R. The conditions of conceptual change in the classroom. *International Journal of Science Education*, 11(5): 541-53, 1989.

- HUNTLEY, H. E. *A divina proporção. Um ensaio sobre a beleza na matemática*. Brasília : Editora da Universidade de Brasília, 1985.
- JACOB, F. *A lógica da vida*. 2. ed. Lisboa : Dom Quixote, 1985.
- KAFKA, F. *A metamorfose*. 10. ed. São Paulo : Brasiliense, 1991.
- KRASILCHIK, M. *O professor e o currículo das ciências*. São Paulo : EPU/EDUSP, 1987.
- . Uma análise comparativa das propostas curriculares vigentes no Brasil. In: *Coletânea do III Encontro "Perspectivas do ensino de Biologia"*. São Paulo : Faculdade de Educação, USP, 1988. p. 1-18.
- LOBATO, M. *A reforma da natureza*. São Paulo : Círculo do Livro, 1992a.
- . *A chave do tamanho*. São Paulo : Círculo do Livro, 1992b.
- LOVELL, K. *O desenvolvimento dos conceitos matemáticos e científicos na criança*. Porto Alegre : Artes Médicas, 1988.
- LUDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em educação: Abordagens qualitativas*. São Paulo : EPU, 1986.
- MACHADO, A. M. *Bem do seu tamanho*. 12. ed. Rio de Janeiro : Salamandra, 1991.
- MATURANA, H. & VARELA, F. *El árbol del conocimiento*. Santiago : Editorial Universitaria, 1990.
- MAYR, E. *Populações, espécies e evolução*. São Paulo : Companhia Editora Nacional/EDUSP, 1977.
- McMAHON, T. A. & BONNER, J. T. *Tamaño y vida*. Barcelona : Editorial Labor, 1986.
- MEDAWAR, P. B. & MEDAWAR, J. S. *Dicionário de Biologia. De Aristóteles a zoo. Idéias e conceitos de Biologia*. Lisboa : Dom Quixote, 1989.
- MINKOFF, E. C. *Evolutionary biology*. Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Company, 1984.
- MONTEIRO, R. C. A pesquisa qualitativa como opção metodológica. *Pro-posições*, 2(2): 27-35, 1991.
- MOREIRA, M. A. & MASINI, E. F. S. *Aprendizagem significativa. A teoria de David Ausubel*. São Paulo : Moraes, 1982.
- MORRISON, P. & MORRISON, P. *Potencias de diez. Sobre el tamaño relativo de los objetos del universo*. Barcelona : Prensa Científica, 1984.
- NOËL, É. (Org.) *As ciências da forma hoje*. Papirus : Campinas, 1996.

- NOVAK, J. D. *Uma teoria de educação*. São Paulo : Pioneira, 1981.
- NUSSBAUM, J. Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11(5): 530-40, 1989.
- OKUNO, E. et al. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. Harbra : São Paulo, 1986.
- OLIVEIRA, M. K. *Vygotsky. Aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico*. Scipione : São Paulo, 1993.
- ORR, R. T. *Biologia dos vertebrados*. 5. ed. São Paulo : Roca, 1986.
- PÉREZ, D. G. & CARRASCOSA, J. Science learning as a conceptual and methodological change. *European Journal of Science Education*, 7(3): 231-6, 1985.
- PETERS, R. H. *The ecological implications of body size*. Cambridge : Cambridge University Press, 1989.
- PFUNDT, H. & DUIT, R. *Bibliography. Students' alternative frameworks and science education*. 3. ed. Kiel : IPN/Institute for Science Education, 1991.
- PIAGET, J. & INHELDER, B. *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança*. 2. ed. Rio de Janeiro : Zahar, 1975.
- POPPEL, E. *Fronteiras da consciência. A realidade e a experiência do mundo*. Lisboa : Edições 70, 1975.
- POUGH, F. H.; HEISER, J. B. & McFARLAND, W. N. *A Vida dos vertebrados*. São Paulo : Atheneu, 1993.
- POZO, J. I. et al. Conocimientos previos y aprendizaje escolar. *Cuadernos de Pedagogía*, (188): 12-4, 1991.
- PRETTO, N. D. L. *A ciência nos livros didáticos*. Salvador/Campinas : UFBA/UNICAMP, 1985.
- PROJETO NUFFIELD. *Biologia. Forma e função: Movimentos*. São Paulo : EDART, 1974.
- REEVES, H. et al. *A ciência e o imaginário*. Brasília : UnB, 1994.
- RUFFIÉ, J. *Tratado do ser vivo. A história natural e as populações*. Lisboa : Editorial Fragmentos, 1988a.
- . *Tratado do ser vivo. O polimorfismo das populações*. Lisboa : Editorial Fragmentos, 1988b.
- SANTOS, M. E. V. M. dos. *Mudança conceitual na sala de aula. Um desafio pedagógico*. Lisboa : Livros Horizonte, 1991.

- SCHMIDT-NIELSEN, K. *Cómo funcionan los animales*. Barcelona : Ediciones Omega, 1976.
- . *Animal Physiology: adaptation and environment*. 3. ed. Cambridge : Cambridge University Press, 1985.
- . *Fisiologia animal*. São Paulo : Edgard Blücher, 1988.
- SCHNETZLER, R. Do ensino como transmissão para um ensino como promoção de mudança conceitual nos alunos: um processo (e um desafio) para a formação de professores de Química. *16ª Reunião Anual da ANPED*. Caxambu, 1993. (texto mimeo.)
- STOCKTON, F. R.. Uma história de gravidade negativa. In: *O melhor da ficção científica do século XIX*. São Paulo : Melhoramentos, 1988. p. 157-77.
- STOREY, R. D. Textbook errors & misconceptions in Biology: cell structure. *The American Biology Teacher*, 52(4): 213-8, 1990.
- SUSAL, D. W. & SUSAL, C. S. Young children learn to restructure personal ideas about growth in trees. *School Science and Mathematics*, 91(7): 314-7, 1991.
- TAYLOR, C. Why big animals? *The Cornell Veterinarian*, 67: 155-75, 1977.
- THOMPSON, D'A. W. *On growth and form*. Cambridge : Cambridge University Press, 1987.
- TONHASCA, A. Tamanho: A chave do sucesso. *Ciência Hoje*, 13(73): 64-6, 1991.
- TORRES, R. M. *Que (e como) é necessário aprender?: Necessidades básicas de aprendizagem e conteúdos curriculares*. Campinas : Papyrus, 1994.
- TOWNSEND, C. R. & CALOW, P. *Physiological ecology: an evolutionary approach to resource use*. Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1981.
- TRIVIÑOS, A. N. S. *Introdução à pesquisa em ciências sociais. A pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo : Atlas, 1987.
- VILLEE, C. A. et al. *Zoologia geral*. 6. ed. Rio de Janeiro : Interamericana, 1985.
- VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente O desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. 3. ed. São Paulo : Martins Fontes, 1989.
- WILSON, E. O. *Diversidade da vida*. São Paulo : Companhia das Letras, 1994.
- WOODS, P. *La escuela por dentro. La etnografía en la investigación educativa*. Barcelona : Ediciones Paidós, 1987.

ANEXOS

ANEXO 1 – QUESTIONÁRIO RESPONDIDO POR ALUNOS DOS TRÊS NÍVEIS DE ENSINO SOBRE SITUAÇÕES ENVOLVENDO AS RELAÇÕES ENTRE TAMANHO E VIDA

Questão incitativa do processo de explicitação de idéias pelos alunos:

Muitos filmes e livros de ficção científica apresentam situações em que as pessoas aumentam ou diminuem de tamanho, sendo que o mesmo é verificado em relação a outros animais. Você já assistiu algum filme ou leu algum livro deste tipo? Qual(is)?

Questão 1:

Se existisse um inseto do nosso tamanho, você acha que ele poderia andar pelas paredes e sob o teto? Por quê?

Questão 2:

Se existissem seres humanos do tamanho de uma formiga, você acha que eles poderiam andar pelas paredes e sob o teto como fazem as formigas? Por quê?

Questão 3:

Se existisse um inseto do nosso tamanho, ele poderia voar normalmente? Por quê?

Questão 4:

Muitos insetos pequenos podem andar sobre a água. Estes mesmos insetos, se fossem grandes, poderiam continuar com este comportamento? Por quê?

Questão 5:

Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam andar sobre a água como fazem certos insetos? Por quê?

Questão 6:

Se uma baleia fosse reduzida ao tamanho de um espermatozóide, ela poderia se deslocar normalmente? Justifique sua resposta.

Questão 7:

Muitos organismos nadadores microscópicos usam um sistema de locomoção chamado de "remo flexível", por meio de cílios e flagelos. Você acha que esses organismos poderiam mover-se utilizando "remos" não flexíveis como os usados em barcos? Justifique sua resposta.

Questão 8:

Se as pessoas ficassem gigantes, como aconteceu com Helena na história "Bem do Seu Tamanho", você acha que as pernas delas conseguiriam sustentar o seu peso? (2ª série do ensino fundamental)

Se um gato fosse do tamanho de um elefante e mantivesse as mesmas proporções entre as partes do corpo e a mesma estrutura de suas patas, ele conseguiria ficar em pé normalmente? Suas patas iriam agüentar o seu peso? (6ª série do ensino fundamental)

Se uma formiga ficasse do tamanho de um ser humano e mantivesse as mesmas proporções entre as partes de seu corpo e a mesma estrutura de suas patas, ela conseguiria ficar em pé normalmente? Suas patas iriam agüentar o seu peso? (2ª série do ensino médio)

Questão 9:

As árvores mais altas têm os troncos proporcionalmente mais grossos do que as de menor tamanho. Qual será a vantagem evolutiva desta mudança de proporção à medida que a árvore cresce?

Questão 10:

Se existisse uma formiga do nosso tamanho, será que o esqueleto que ela possui em volta do corpo conseguiria sustentar o seu peso? (2ª série do ensino fundamental)

Os insetos apresentam um esqueleto externo para sua sustentação. Este esqueleto tem que ser trocado periodicamente para que o inseto possa crescer. O crescimento se dá durante o período em que o inseto está sem o esqueleto. Se os insetos fossem do nosso tamanho, eles conseguiriam sustentar seu corpo com este esqueleto externo e manter o mesmo processo de crescimento? (demais séries)

Questão 11:

Se existisse uma formiga do nosso tamanho, você acha que ela poderia cair de lugares muito altos para ela sem que se machucasse ou morresse? Por quê? (2ª série do ensino fundamental)

Sabemos que os animais podem se machucar quando caem de grandes alturas. Os animais grandes e pequenos machucam-se igualmente ao caírem de locais que podemos considerar altos em relação ao seu tamanho? (demais séries)

Questão 12:

Os animais pequenos podem cair de lugares altos sem se machucarem. Por que será que eles não se machucam como os animais grandes? (2ª série do ensino fundamental)

Por que será que as crianças, ao contrário dos adultos, muitas vezes não se machucam quando caem de grandes alturas? (demais séries)

Questão 13:

Se fosse possível diminuir o tamanho das pessoas, o que você acha que aconteceria com elas caso caíssem de lugares muito altos para elas?

Questão 14:

Se existisse uma pulga do nosso tamanho, você acha que ela poderia dar pulos tão altos quanto os que normalmente dá? Por quê? (2ª série do ensino fundamental)

Leia o texto abaixo, extraído do livro *A Reforma da Natureza*, de Monteiro Lobato, e, em seguida, responda a pergunta formulada.

" (...)

- *E de que tamanho será o pulo que elas dão? - quis saber Emília.*

- *Muito fácil fazer a conta - respondeu o Visconde tomando o lápis. - Pelo que você me diz, essa pulga tem o tamanho de uma anta.*

- *De uma anta grande - confirmou Emília.*

- *Muito bem. Uma pulga de cachorro pesará um miligrama, e uma anta grande pesará aí uns duzentos quilos. Ora, como duzentos quilos correspondem a duzentos milhões de miligramas, a 'nossa' pulga é duzentos milhões de vezes mais pesada que a pulga comum. E como uma pulga comum dá pulos de um palmo, a nossa pulga poderá dar pulos de duzentos milhões de palmos, ou seja, quarenta e quatro mil quilômetros, ou mais de uma volta inteira ao redor da Terra!*

Emília riu-se.

- *Que absurdo Visconde! O pulo não pode estar em relação com o peso. Por muito favor estará em relação com o tamanho.*

- *Neste caso - disse o Visconde -, temos de fazer outra conta. A pulga comum tem dois milímetros de comprimento. A anta grande terá dois metros, ou seja dois mil milímetros. Logo a anta é mil vezes maior do que a pulga comum. E como a "nossa" pulga tem o tamanho de uma anta, pulará mil vezes mais do que a pulga comum. Pulará, portanto, mil palmos, ou seja, duzentos e vinte metros.*

- *Bem, isso já está mais razoável - disse Emília, concordando com a segunda matemática do Visconde.*

Emília concordou com o segundo raciocínio do Visconde, achando que o pulo da pulga de 2 metros seria proporcional ao seu comprimento e não ao seu peso. O que você acha? O pulo seria proporcional ao peso, ao comprimento, ou a nenhum dos dois? Por que você pensa assim? (6ª série do ensino fundamental e 2ª série do ensino médio)

Questão 15:

Se existissem seres humanos do tamanho de uma formiga, você acha que eles poderiam saltar grandes alturas em relação ao seu tamanho, como fazem certos insetos? (Observação: Uma pulga pode pular até 100 vezes o seu próprio comprimento)

Questão 16:

Por que as formigas podem carregar materiais muito mais pesados do que elas próprias (até catorze vezes mais pesados) e nós não podemos?

Questão 17:

Se as formigas fossem do nosso tamanho, você acha que elas conseguiriam carregar materiais até catorze vezes mais pesados que elas? Justifique sua resposta:

Questão 18:

Por que as células, ao atingirem um determinado tamanho, se dividem, ao invés de continuarem crescendo?

Questão 19:

Os organismos usam processos distintos de respiração de acordo com seu tamanho corporal. Assim, por exemplo, a minhoca respira pela pele (respiração cutânea), os insetos por traquéias (respiração traqueal) e o homem por pulmões (respiração pulmonar). Por que será que, em geral, organismos de tamanhos diferentes, têm formas diferentes de respirar?

Questão 20:

Se a minhoca fosse do nosso tamanho, ela poderia respirar pela superfície corporal? Justifique sua resposta.

Questão 21:

Por que os animais pequenos comem praticamente sem parar e são tão ativos?

Questão 22:

Do ponto de vista da produtividade de alimentos, é mais conveniente e lucrativo criar animais grandes ou pequenos? Por quê?

Questão 23:

Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam pensar?

Questão 24:

Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam tomar banho em pequenos chuveiros ou em algumas gotas de água?

Questão 25:

Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam produzir pequenos livros proporcionais ao seu tamanho?

Questão 26:

Se existissem pessoas do tamanho de uma formiga, elas poderiam utilizar o fogo? Poderiam fazer fogueiras proporcionais ao seu tamanho?

OBSERVAÇÃO: Todas as questões foram respondidas pelos alunos das três turmas, com exceção das questões 6, 7, 9, 18, 19, 20, 21 e 22 que não foram apresentadas aos alunos da 2ª série do ensino fundamental, por envolverem um maior nível de abstração. Algumas questões receberam formulações diferentes ao serem aplicadas nas diferentes turmas. A questão incitativa inicial foi respondida oralmente pelos alunos da 2ª série do ensino fundamental. Durante a aplicação das questões em classe, foram respondidas, num primeiro momento, as questões que envolviam **redução de tamanho** e, posteriormente, as que envolviam **aumento de tamanho**, sendo que na turma de 2º série elas foram introduzidas após serem contadas as histórias "A Chave do Tamanho" e "Bem do Seu Tamanho", respectivamente. Nas demais turmas, as questões foram introduzidas após uma conversa sobre filmes de ficção científica que envolvem alterações de tamanho.

ANEXO 2 - EXEMPLOS DE FIGURAS UTILIZADAS DURANTE A APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS E A REALIZAÇÃO DAS ENTREVISTAS COM ALUNOS DOS TRÊS NÍVEIS DE ENSINO¹

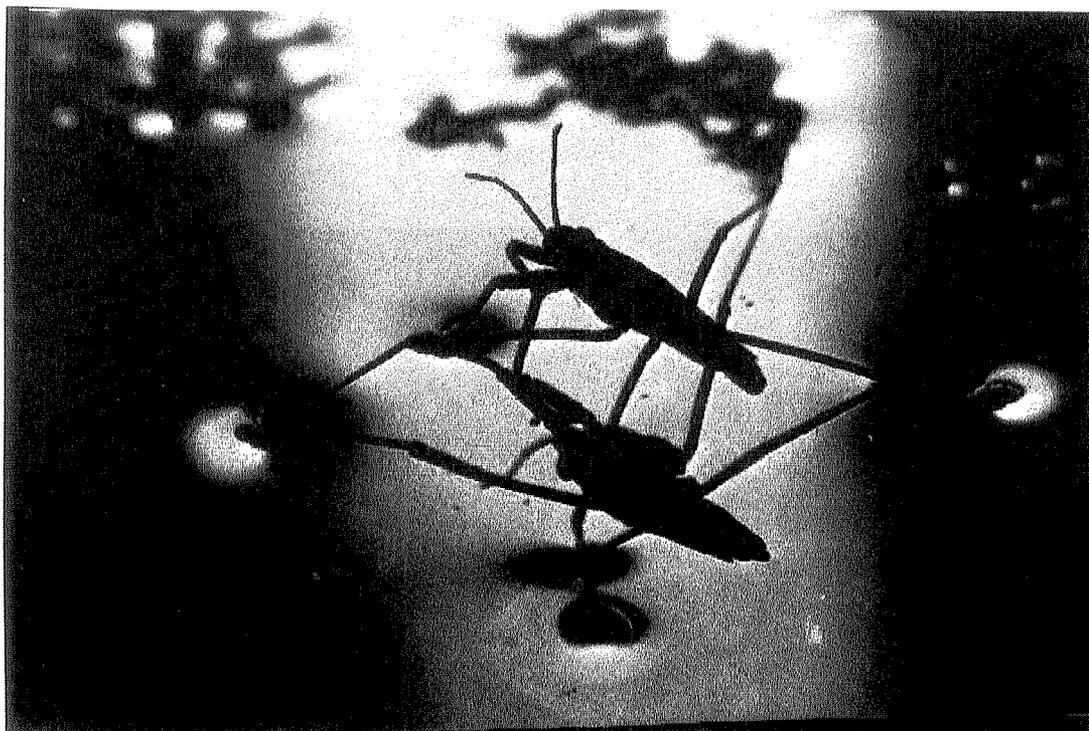


Figura 1 - Apoio de animais pequenos sobre a água.

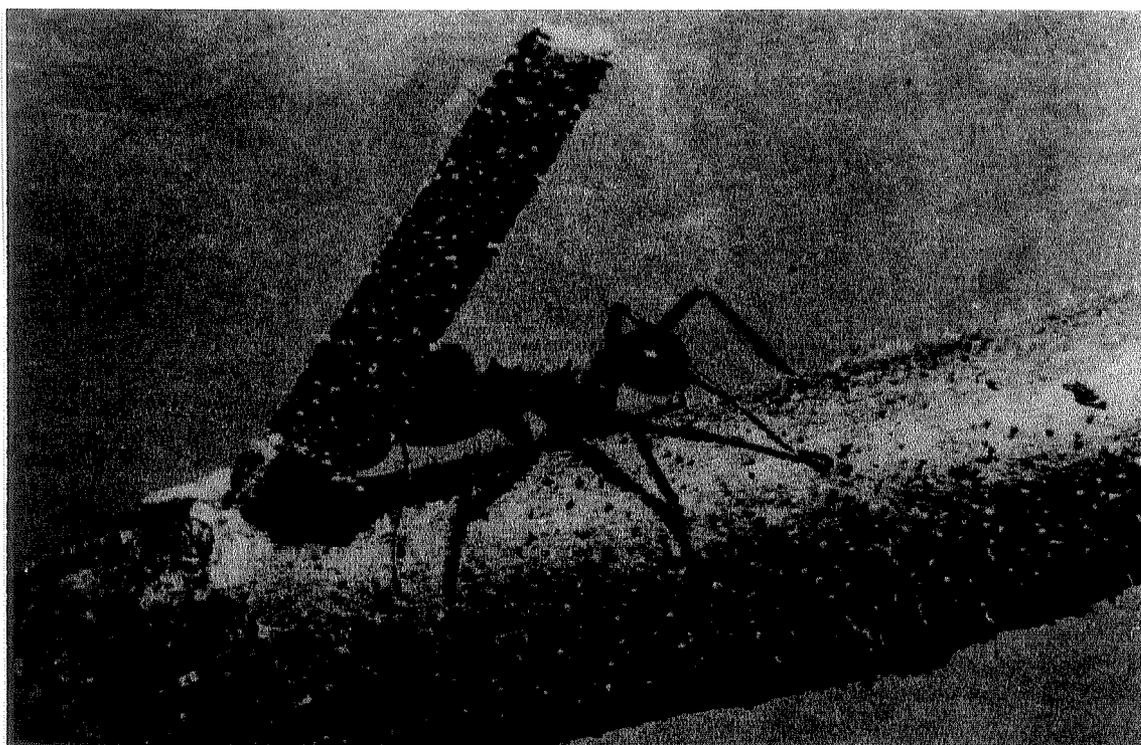


Figura 2 - Transporte de materiais.

¹ Fonte: McMahon & Bonner (1986): figuras numeradas de 1 a 3 e figura 5; Alexander (1987): figura 4.

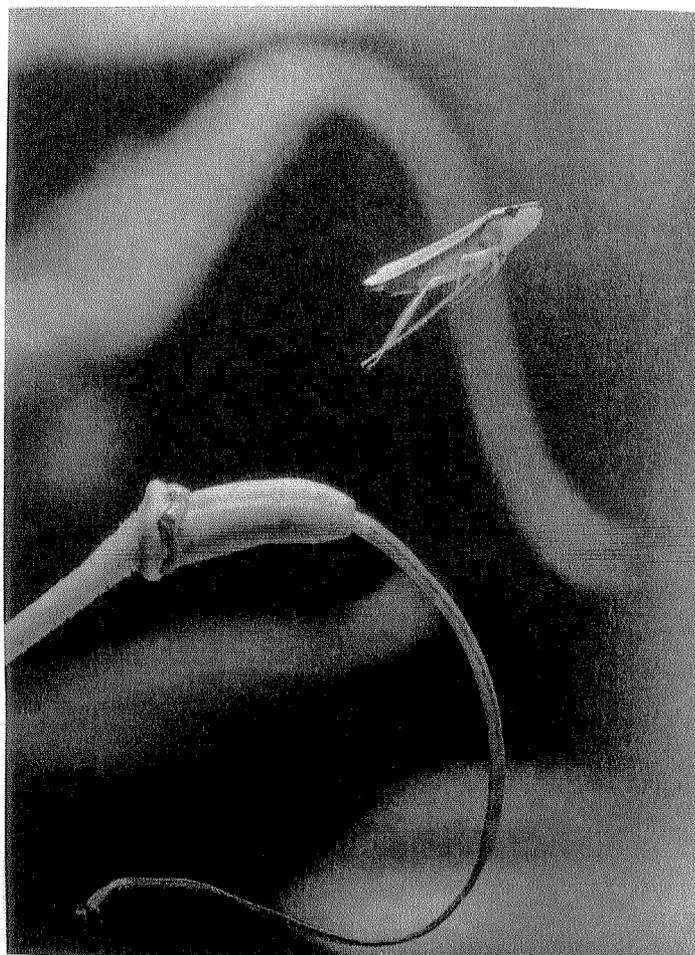


Figura 3 - Salto e queda de grandes alturas.

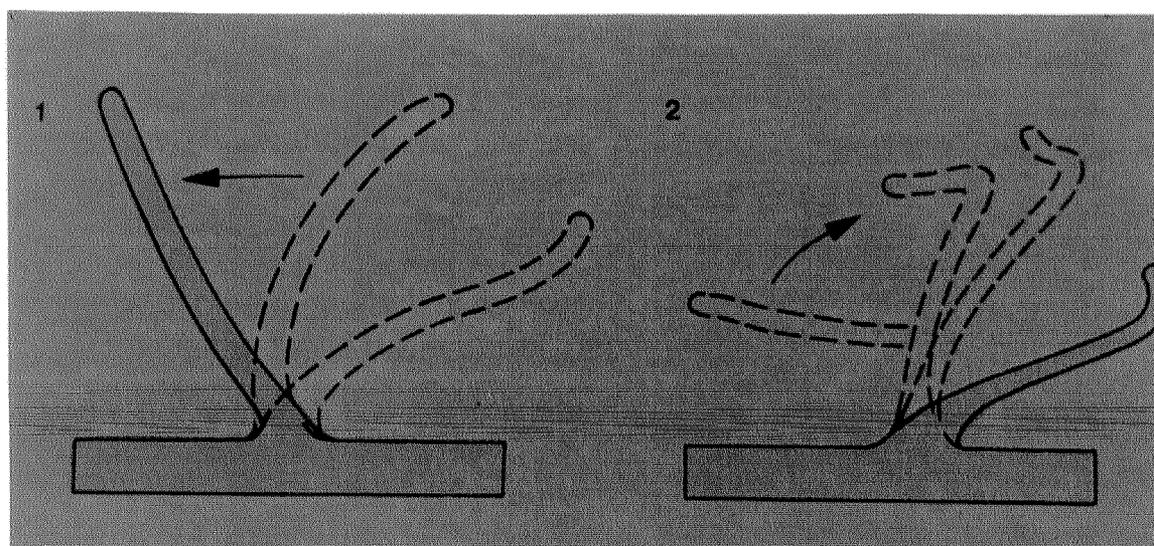


Figura 4 - Reversibilidade do fluxo em pequenas dimensões.



Figura 5 – Sustentação.

ANEXO 3 - HISTÓRIAS INFANTIS DESENCADEADORAS DA
EXPLICITAÇÃO DE IDÉIAS PELOS ALUNOS
DA 2ª SÉRIE DO ENSINO FUNDAMENTAL

Vamos ler, atenciosamente, a história abaixo que nos conta algumas das aventuras de Emília, a bonequinha de pano do Sítio do Pica-Pau Amarelo, que num belo dia virou gente e passou a preocupar todo mundo com suas idéias e travessuras.

A Chave do Tamanho

O Sítio do Pica-Pau Amarelo estava muito triste porque a guerra, que já durava vários anos, continuava destruindo cidades e matando muita gente. Emília estava preocupada com toda aquela tristeza e prometeu acabar com a guerra. Ela planejou e realizou uma grande aventura que por pouco poderia ter acabado com a humanidade inteira. Emília resolveu cheirar uma pitada do superpó fabricado pelo Visconde e assim poder voar até o Fim do Mundo e descobrir a Casa das Chaves. A Casa das Chaves tem chaves que regulam todas as coisas do mundo, assim como as chaves de eletricidade regulam todas as lâmpadas de uma casa. E aí, bastaria ela desligar a chave da guerra!

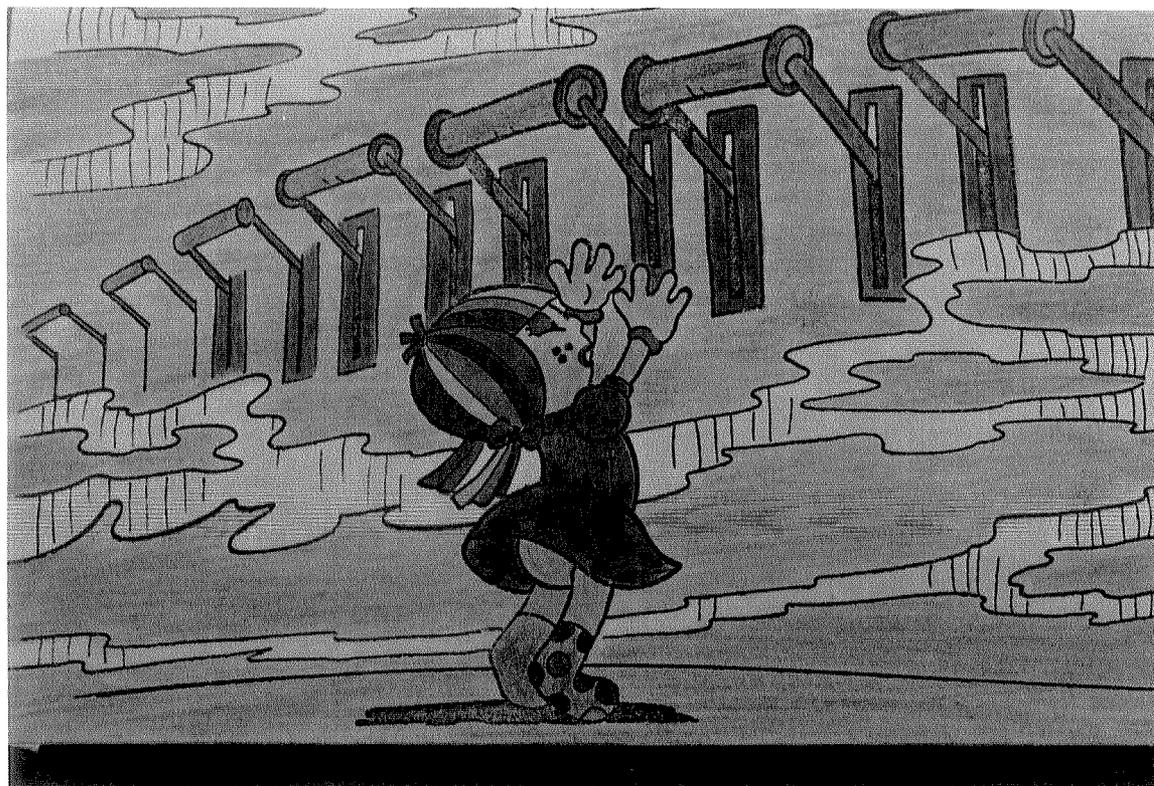
Emília entrou pé ante pé no laboratório do Visconde e remexeu tudo até encontrar, numa pequena caixa de fósforos, uma substância parecida com cinza. "Deve ser isso mesmo", disse ela, e corajosamente tomou uma pitada. *Fiunnn!!!*

Quando Emília abriu os olhos e foi lentamente voltando da tonteira, viu que estava numa sala. Não havia coisas lá dentro, objeto nenhum, nem máquinas. Só um nevoeiro e, numa parede, uma fileira de chaves como as antigas chaves de eletricidade, todas erguidas para cima. Emília pulou de alegria!

–"São as chaves que regulam todas as coisas do mundo! Uma delas abre e fecha as guerras. Mas qual?"

As chaves não tinham letras, nem números, e eram todas iguaizinhas! Emília segurou o queixo, a refletir. Pensou com toda a força. Ela viu que a única solução era ir mexendo nas chaves, uma a uma, até dar com a da guerra. Mas Emília, aquela criaturinha de apenas dois palmos de altura, teve que recorrer novamente ao superpó para alcançar uma das chaves. Ela

pendurou-se na chave e nem precisou fazer força. O seu próprio peso fez com que a chave descesse até o fim.



Mas o que aconteceu foi a coisa mais imprevista do mundo! Tudo se transformou diante de seus olhos. Um pano enorme, como um toldo de um circo, desabou sobre ela. Emília sentiu-se rodeada de pano. Era pano, pano e mais pano. Até o chão era de pano! E com o peso de tanto pano ela nem podia ficar em pé. Ficou deitadinha por um tempo e depois começou a engatinhar para tentar sair dali, porque já estava começando a sentir falta de ar. As dobras eram muitas de forma que Emília teve a impressão de ter passado um século naquele labirinto.

Por fim, Emília viu uma claridade e se arrastou na sua direção. Já quase sem fôlego e encharcada de suor, ela se desvencilhou daquele maldito pano e caiu exausta no chão, com um *Uf!* Ficou algum tempo deitada de costas, os braços estendidos, sem pensar em coisa alguma. Primeiro descansar, depois o resto. Ergueu os olhos para as chaves da parede. Não viu na parede chave nenhuma. "Que história é essa? Será que as chaves desapareceram?"

Quando firmou a vista, Emília viu que não. As chaves estavam lá, mas em um ponto muitíssimo mais alto. A parede tinha aumentado tanto que parecia não ter fim. Ela percebeu também que estava sobre uma coisa nova, que não existia antes: um pedestal atapetado de papel amarelo. Olhando o seu corpinho, verificou que estava nua.

– "Que história é essa? Eu, nua que nem minhoca, em cima desse pedestal amarelo cheio de riscos pretos, ao lado duma montanha de pano... E as chaves lá em cima... E tudo enormíssimo... Será que estou sonhando?"

Emília pôs-se a pensar com toda a força. Examinou o tapete do pedestal. Viu que os riscos do pedestal eram letras e teve de ficar de pé e andar para ler cada uma delas. A primeira era um F, a segunda era um O e a terceira, um S...

– "FÓSFOROS! Será possível que estou em cima da maior caixa de fósforos que jamais houve no mundo?"

Quando espiou dentro da caixa, Emília viu uma espécie de areia grossa, da cor do superpó. Nesse momento um raio iluminou-lhe o cérebro. Emília se deu conta de que ela é que poderia ter diminuído e concluiu que a chave que desceu deveria regular o tamanho das criaturas vivas ou, então, pelo menos o das criaturas humanas, pois se existisse uma chave para cada pessoa aquela sala estaria abarrotada de tanta chave.

Emília sentiu um friozinho no coração. Naquele momento, o mundo inteiro deveria estar na maior atrapalhão. Ah! Mas, em compensação, a humanidade estava impedida de fazer guerras!

– "Uf! Acabei com a guerra! Viva! Viva!..." Pequeninos como eu, o máximo que os homens poderão fazer é cutucar-se com espinhos ou alfinetes!

Emília resolveu calcular seu tamanho por comparação com a letra F da palavra "fósforo" e descobriu que havia diminuído de quarenta centímetros para um centímetro apenas.

Emília pensava...pensava...

–"O que fazer agora? Deixo tudo como está ou levanto novamente a chave e deixo as coisas como eram?"

Ela resolveu tentar subir a chave, pois se tentasse voltar para o sítio daquele tamanho era bem capaz de nem conseguir atravessar o terreiro. O pinto Sura não sai de lá e iria devorá-la como se ela fosse uma formiga.

Mas a chave estava quarenta vezes mais no alto do que antes! Então, Emília pegou um grãozinho do superpó e o aspirou, mas sua forcinha, diminuída tantas vezes, já não dava mais para nada. Além disso, não dava nem para segurar na chave de tão grande que ela estava!

Emília sentou-se na chave quietinha pois sabia que uma queda daquela altura seria fatal. Ela pensou...pensou... Por fim resolveu:

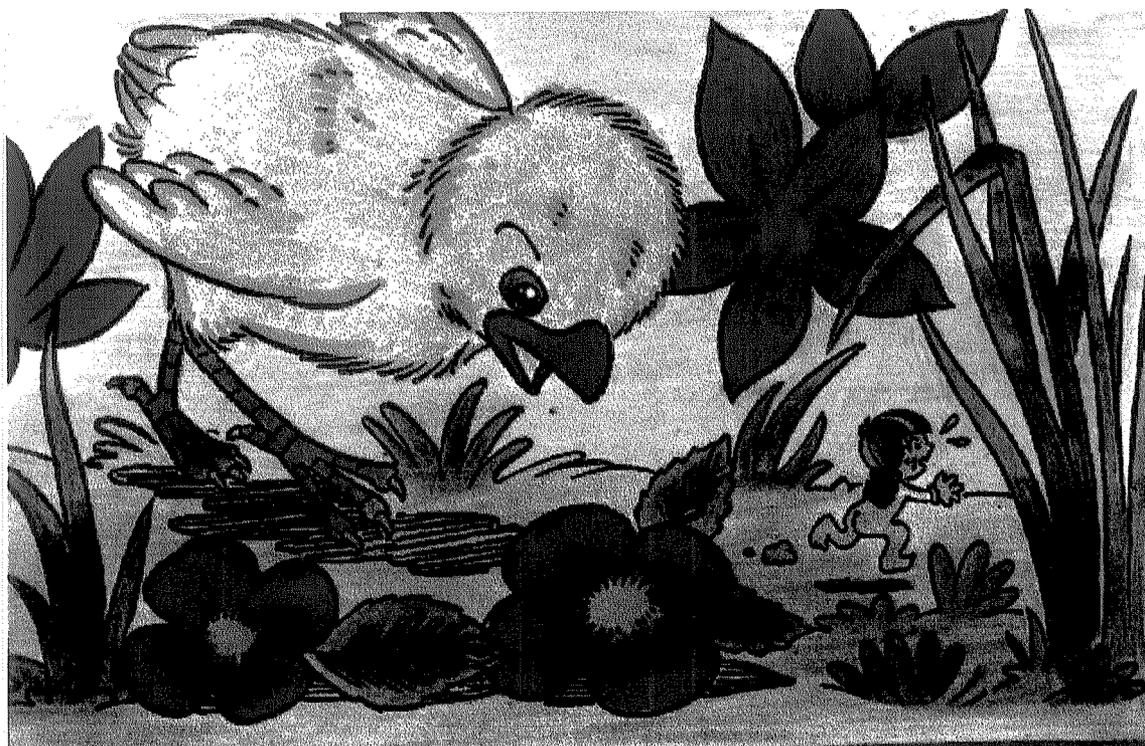
– "Vou atirar-me. Meu peso deve estar igual ao de uma formiga saúva e, portanto, se me atirar, devo cair com a leveza de um cisquinho!"

E assim fez. Atirou-se sobre a montanha de pano. Enquanto caía, Emília percebeu que todo aquele pano não era nada mais do que o seu vestido de flores coloridas largado no chão.

Depois, Emília resolveu tentar voltar para o sítio cheirando mais um grãozinho do superpó. Lá, ela estudaria a situação antes de tentar resolvê-la pois tudo era tão novo que suas idéias já não serviam mais. A "idéia de leão" era a de um terrível e perigosíssimo animal e a "idéia de pinto" era a de um bichinho inofensivo. Agora é o contrário. O perigoso é o pinto. Só naquele momento, Emília passou a compreender o que Dona Benta queria dizer quando explicava que "*nossas idéias são filhas de nossa experiência*"

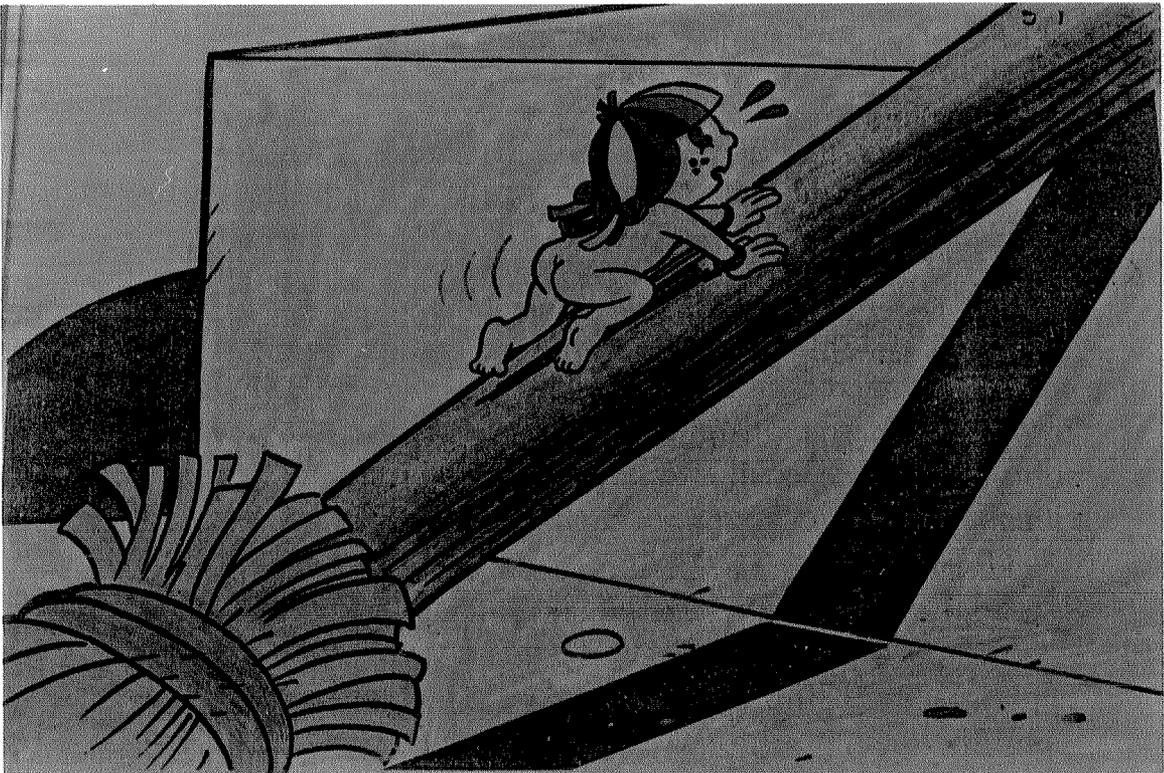
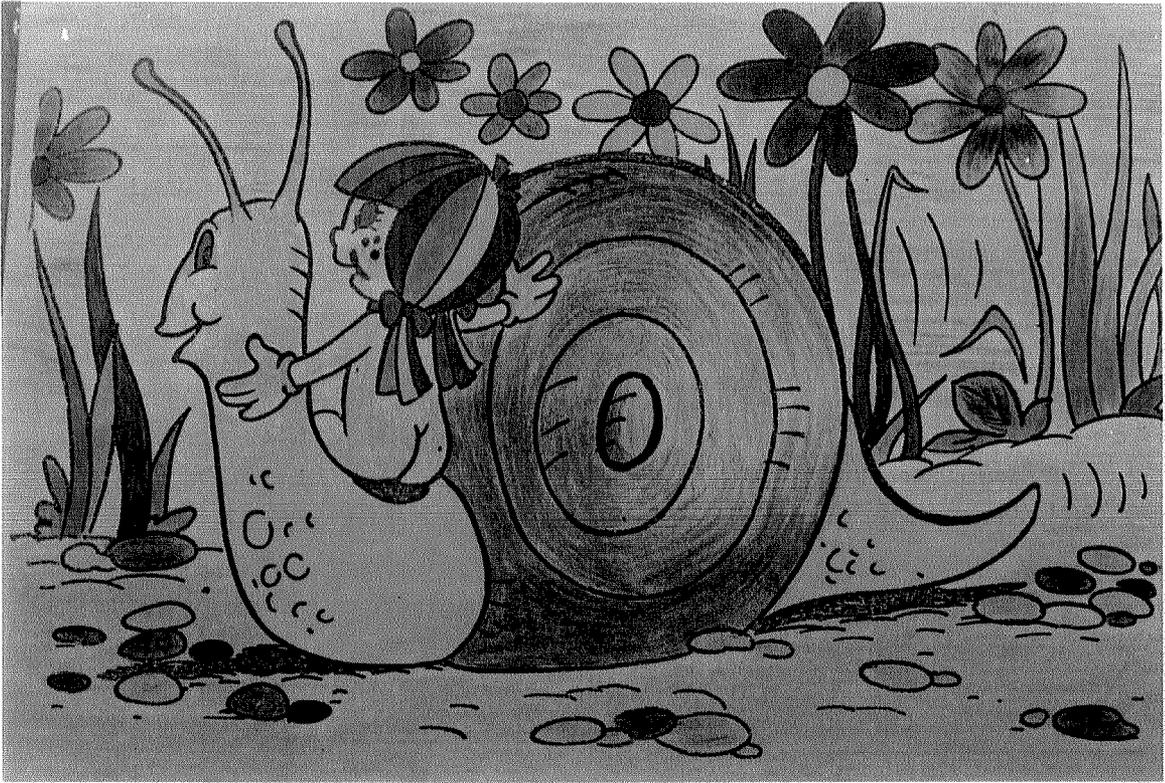
Emília aspirou o grãozinho de pó - *Fiunnn!*... e lá se foi pelos ares, de volta ao sítio de Dona Benta. Mas, antes de chegar lá, vivenciou muitas aventuras....

(Adaptado do livro *A Chave do Tamanho*,
de Monteiro Lobato²)



² As fotografias anexadas foram produzidas a partir de cartazes utilizados durante o desenvolvimento das atividades em classe, preparados através da ampliação e pintura de desenhos presentes em Lobato (1992b).





Bem do Seu Tamanho

Helena não era uma menina deste tamaninho. Mas também não era uma menina deste tamanhão. Era uma menina bem do seu tamanho. E, muitas vezes, ela tinha vontade de saber que tamanho era esse, afinal de contas. Porque tinha dias que a mãe dela dizia:

– Helena, você já está muito grande para fazer uma coisa dessas. Onde já se viu uma menina do seu tamanho chegar em casa assim tão suja de ficar brincando na lama?

Então ela achava que já era bem grande.

Mas, às vezes, também, o pai dela dizia assim:

– Helena, você ainda é muito pequenininha para fazer uma coisa dessas. Onde já se viu uma menina do seu tamanho ficar brincando num galho de árvore tão alto assim? Desça já daí, senão você pode cair.

Aí, então, Helena achava que ela era mesmo um bebezinho que não podia fazer nada sozinha.

E era sempre assim. Na hora de ir ajudar no trabalho da roça, ela já era bem grande. Na hora de ir tomar banho no rio e nadar no lugar mais fundo, ela ainda era muito pequena. No hora em que os adultos ficavam de noite conversando no terreiro, até tarde, ela era pequena e tinha que ir dormir. Na hora em que espetava o pé com um espinho e queria ficar chorando no colo de alguém, só com dengo e carinho, sempre diziam que ela já estava muito grandinha para ficar fazendo manha. Helena pensava que era mesmo bem engraçado isso de dizer *grandinho*. Alguém diz *pequenão*? Como é que pode ser *grande* e *inho* ao mesmo tempo? *Inho* não é só para coisas pequeninas?

Se Helena tivesse um espelho mágico, bem que podia perguntar:

– Espelho meu, espelho meu, que tamanho tenho eu?

Mas até mesmo espelho sem ser mágico, não era fácil. Na casa dela só tinha um, pequeno e muito no alto, em cima da pia. Só dava para se ver um pouquinho de cada vez. E, mesmo assim, só quando alguém punha no colo. Via o pescoço, o rosto, as mãos. Mas joelho, pé, canela, isso só via mesmo olhando para baixo, fora do espelho. E as costas, não via nunca.

Helena sentou-se na rede do quintal para descansar, sempre pensando nas coisas que os adultos têm mania de dizer sobre o seu tamanho. Mas não conseguiu descobrir muita coisa porque para ela, naquela hora, maior que tudo era o sono.

Mas quando Helena acordou...



(Adaptado do livro *Bem do Seu Tamanho*,
de Ana Maria Machado³)

O que vocês acham que aconteceu com Helena? O que será que Helena não poderá mais fazer após aumentar de tamanho e o que poderá fazer que não fazia antes?

³ A fotografia anexada foi utilizada na mesma circunstância e obtida pelo mesmo processo descrito na nota de rodapé anterior.

**ANEXO 4 - FILMES E LIVROS QUE ENVOLVEM AUMENTO OU
REDUÇÃO DE DIMENSÕES, CITADOS PELOS ALUNOS
DOS TRÊS NÍVEIS DE ENSINO**

Os alunos do nível A foram solicitados a citar oralmente os filmes e livros que envolvem mudanças de tamanho conhecidos por eles, assim como a contar o contexto em que se dão tais alterações. Foram citados os seguintes filmes/livros: Querida, Encolhi as Crianças; A Mulher que Encolheu; Pé Grande; Hary, O Hóspede do Barulho; Tartarugas Ninja; A Volta das Formigas III; abertura do programa Faustão; abertura da novela Mapa da Mina; uma história em quadrinhos do Tio Patinhas; A Volta dos Monstrinhos; Pica-Pau; A Terra dos Gigantes. Vários alunos lembraram trechos de filmes, mas não se recordavam dos nomes.

Entre os alunos do nível B, apenas um respondeu não conhecer nenhum filme/livro de ficção científica em que pessoas ou outros animais aumentam ou diminuem de tamanho. Os demais alunos citaram filmes/livros em um número variável: 9 alunos citaram apenas 1; 6 alunos citaram 2; 2 alunos citaram 3; 4 alunos citaram 4; 4 alunos citaram 5; 1aluno citou 7; e 1 aluno citou 12.

Os nomes dos filmes/livros são apresentados, a seguir, em ordem decrescente de número de vezes em que foram citados: Querida, Estiquei o Bebê (12), A Mosca (8), Querida, Encolhi as Crianças (6), As Aranhas Gigantes (6), King-Kong (4), O Incrível Hulk (3), Olha Quem Está Falando Também (3), A Incrível Mulher que Encolheu (3), The Flash (2), A Mulher que Encolheu (2), A Invasão das Formigas Gigantes (2), Aranha Assassina (2), Formigas Gigantes (2), Hércules (2), A Invasão das Aranhas Gigantes (1), A Planta Carnívora (1), Querida, Encolheram as Crianças (1), Querida, As Crianças Encolheram (1), A Mosca II (1), The Hich (1), Olha Quem Está Falando (1), Batman (1), O Ataque das Formigas Gigantes (1), Jornada nas Estrelas (1), A Coisa (1), A Terra dos Gigantes (1), Minha Mulher Encolheu (1), As Mil Faces de D. Lom (1), Estiquei o Bebê (1), O Exterminador do Futuro (1), Enigma do Outro Mundo (1), Piranhas (1), Tartarugas Ninja (1), Super Vik (1), Os Gigantes nas Terras dos Anões (1), O Ataque das Aranhas Gigantes (1) e O Pequeno Polegar (1).

Não foi possível entender o nome de um dos filmes citados por um dos alunos.

O aluno que citou o filme Super Vik esclareceu que Super Vik é uma menima robô que tem pensamentos e uma força de 100 cavalos. Este esclarecimento permite perceber

que este filme não corresponde à situação especificada na pergunta cujas respostas estão sendo apresentadas no momento.

Um dos alunos que citou o filme Hércules comentou que, no filme, a personagem aumentava de tamanho.

Um aluno descreveu a situação de um filme em que ocorre a alteração de tamanho, já que não se recorda mais do nome do filme: *"É um filme em que as formigas tomam uma substância que vaza de alguns latões. Aí, as formigas ficam maiores que as pessoas"*.

Os alunos do Nível C citaram os seguintes filmes/livros, apresentados em ordem decrescente de frequência em que foram citados: Querida, Encolhi as Crianças (27), A Mosca (7), Querida, Estiquei o Bebê (7), Viagem Insólita (3), O Pequeno Polegar (3), Formigas Gigantes (2), A Incrível Mulher que Encolheu (1), Digbi (1), Tomates Assassinos (1), O Homem Borracha (1), King-Kong (1) e Alice no País das Maravilhas (1). Um aluno descreveu o filme em que se dá a alteração de tamanho: *"um desenho animado em que o elefante fica do tamanho de um gato"*. Apenas um aluno não respondeu esta questão.

A grande diversidade e frequência de citações indicam que os alunos assistem, regularmente, filmes que envolvem mudanças de tamanho dos seres vivos.

ANEXO 5 - EXEMPLO DE QUADRO SINTETIZADOR
DAS IDÉIAS DOS ALUNOS

UM INSETO COM DIMENSÕES AUMENTADAS PODERIA VOAR?

