

**QUESTÕES EPISTEMOLÓGICAS NAS ICONICIDADES DE  
REPRESENTAÇÕES VISUAIS EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA**  
(**Epistemological issues in the iconisms of visual representations in physics textbooks**)

**Alexandre Medeiros**

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
med@hotlink.com.br

**Cleide Medeiros**

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
cfmed@hotlink.com.br

### **Resumo**

Neste artigo analisamos um certo tipo de mensagem filosófica a respeito da natureza da ciência comunicada de forma tácita por algumas representações visuais contidas em livros didáticos de Física. Nosso intento, entretanto, não é fazer uma análise das representações visuais existentes nos livros didáticos em todas as suas características, mas apenas apontar um certo tipo de uso daquelas representações que veicula mensagens ingênuas a respeito da produção do conhecimento científico. Para fazer esta análise, construímos um referencial teórico que enfoca a questão das representações visuais, das idealizações, dos experimentos e do realismo na ciência. Com o objetivo de corporificar tais considerações teóricas, três exemplos de figuras, retiradas de três influentes livros didáticos, são analisados do ponto vista histórico e epistemológico. As conclusões a que chegamos podem servir como um alerta para aqueles empenhados em elaborar textos de Física que além de ricamente ilustrados, pretendam também passar uma visão mais cuidadosa da natureza da ciência.

### **Abstract**

This article analyses a certain kind of philosophical message about the nature of science, tacitly conveyed by some visual representation presented by textbooks of physics. However, our purpose is not strictly to analyse all the existing visual representation in textbooks in all their characteristics, but only to point out a certain kind of usage of those representation which conveys some naive messages about the production of scientific knowledge. A theoretical background is constructed in order to perform this analysis. Such a background discusses the role played by visual representation, idealization, experiments and realism in science. Aiming to exemplify these theoretical consideration, three examples of such pictures, taken from three influential textbooks, are considered and analysed from a historical and epistemological point of view. The conclusions we drew from this analysis may be useful to make those who intend to write textbooks aware of the necessity not only of producing books full of beautiful pictures, but which could also communicate a more precise image about the very nature of science.

### **Introdução**

Nas últimas décadas, vários pesquisadores têm dedicado-se a estudar questões relacionadas às representações visuais utilizadas nas ciências e no seu ensino, em um arco que abrange desde o potencial comunicativo até questões epistemológicas e históricas de tais imagens. Filipatou & Pumfrey (1996), por exemplo, apresentam resultados de estudos sobre os efeitos de gravuras e/ou títulos sobre a leitura e a compreensão de textos impressos contínuos. Já em 1979, Fleming

apontava importantes avanços na esfera dos estudos sobre gravuras nos contextos educacionais e fora deles. Por outro lado, o *efeito da superioridade das gravuras* - onde as mesmas são consideradas como intensificadoras da aprendizagem a partir do texto - tem sido examinado sistematicamente desde a última década, sendo apontado como mais duvidoso do que até então costumava-se acreditar (Reid, 1990).

Focalizando a dimensão histórico-epistemológica da produção científica, por seu lado, Amador (1998) apresenta a evolução da Geologia, como dependente do desenvolvimento de formas de representações visuais mais adequadas.

Carneiro (1997) analisa as representações visuais em livros didáticos de Biologia e aponta que “*a presença excessiva de imagens nos livros didáticos e a sua alta densidade por página parece encontrar suporte na falsa idéia de que as ilustrações traduzem por si só os conhecimentos. Se considerarmos que uma imagem é também uma forma de linguagem, a relação imagem-texto deve estar em harmonia. Nesta perspectiva a ‘cumplicidade’ entre os elementos verbais e os elementos icônicos de um texto didático passa a desempenhar um importante papel no processo de ensino e aprendizagem e não deve ser negligenciada no momento da concepção ou escolha de uma imagem*” (p. 372). Martins (1997) relata uma certa exploração realizada acerca de algumas funções de representações visuais. Solaz-Portoléz (1996) defende a importância da utilização de diagramas no ensino da Ciência enquanto White & Tisher (1986) apontam que as ilustrações menos efetivas na aprendizagem das ciências são aquelas que mais se aproximam do mundo real.

No âmbito das pesquisas educacionais relativas à Física, estudos recentes envolvendo aspectos histórico-epistemológicos foram realizados por Medeiros, Lima Jr & Monteiro Jr (2000) e Carmo, Medeiros & Medeiros (2000) mostrando que certos aspectos fundamentais do funcionamento de alguns instrumentos científicos, como o eletróforo e o calorímetro de Joule, por exemplo, são negligenciados nas suas imagens dos mesmos contidas em livros didáticos.

Um outro ponto importante de ser estudado e que é aqui focalizado é a relação de iconicidade existente entre as representações visuais presentes nos livros didáticos e as idéias que as mesmas pretendiam representar. Seria de se argüir até que ponto tais representações efetivamente guardam semelhanças com os objetos epistemológicos da Física ou apenas com os objetos da realidade concreta. Dada a dimensão filosófica contida em tal questionamento, desenvolvemos neste texto uma discussão teórica que permite investigar esta questão enquanto um problema de pesquisa. Para corporificar uma tal investigação, acrescemos a esse estudo teórico a análise de três exemplos de imagens, retiradas de influentes livros didáticos de Física (Alvarenga & Máximo, 2000; Penteado, 1998; Ramalho, Nicolau & Toledo, 1999). A questão investigada é o estudo do relacionamento icônico entre certas imagens utilizadas por tais livros no estudo do movimento e as idéias que elas estariam tentando descrever.

## **Metodologia**

O referencial teórico, exibido a seguir, discute alguns problemas epistemológicos envolvidos na criação das idéias científicas e nas suas representações imagéticas. Breves incursões históricas são feitas relacionadas aos trabalhos desenvolvidos pioneiramente por Galileu, no sentido de embasar tais considerações filosóficas. A questão semiótica da representação (signo-símbolo-ícone) é brevemente revista, neste contexto, e seguida de uma discussão sobre o *realismo crítico* na ciência vinculado às imagens produzidas nas representações científicas. O referencial teórico e filosófico utilizado incorpora um arco histórico que se inicia nos trabalhos de Galileu, incluindo idéias de Husserl (1970) e Bachelard (1985) e incluindo as contribuições mais recentes de Searle (1995).

Munidos deste referencial, lançamo-nos à análise de três casos exemplares do tipo de relacionamento icônico descrito acima. Para tal, analisamos apenas figuras contidas em três influentes e recentes livros de Física. Tais análises não se pretendem, contudo, representativas da totalidade das mensagens imagéticas contidas em tais livros e muito menos visam possíveis generalizações em relação a outros livros existentes. O intento de tais análises é tão somente o de corporificar os argumentos desenvolvidos na fundamentação teórica, atribuindo a tais argumentos

filosóficos algumas peças de evidência relevantes. Certamente, trabalhos mais extensos poderiam enveredar por análises que envolvessem uma maior quantidade de livros ou de temas estudados segundo a abordagem aqui exemplificada. O objetivo nosso é, portanto, apenas, levantar neste artigo um novo prisma de análise ainda não trilhado nos estudos sobre as imagens nos livros didáticos, na extensão em que a nossa pesquisa bibliográfica pode apurar.

Partindo do paradigma qualitativo de pesquisa, a análise das representações visuais buscou encontrar os relacionamentos icônicos contidos nas figuras apresentadas. Munidos do referencial teórico apresentado, desenvolvemos considerações que se pretendem uma hermenêutica das imagens. Tomando as imagens enquanto *textos*, buscamos encontrar os sentidos que poderiam estar fundamentando os seus usos e os sentidos que poderiam ser atribuídos às mesmas numa abordagem histórico-filosófica mais rigorosa. Esse esforço permitiu-nos entrar em linha de consideração com as mensagens dos conteúdos físicos ali contidos, sendo necessário, por vezes, comparações com peças de evidências históricas. Finalmente, utilizamos nessa hermenêutica, inclusive, textos históricos, como trechos do próprio Galileu enquanto termos de referência em relação ao material imagético analisado. Uma leitura atenta do referencial teórico que se segue e das análises das representações visuais selecionadas esclarecerá melhor a forma como uma tal hermenêutica teve lugar.

### **As Imagens nos Livros Didáticos de Física e o Problema dos seus Referentes Icônicos**

O nosso propósito não é o de analisar os livros didáticos diretamente, no sentido de atribuir aos mesmos um certo juízo de valor. O foco do nosso estudo está em evidenciar um certo tipo de uso das imagens feitos por livros didáticos de Física, ao menos os mais recentes e graficamente bem apresentados. Este tipo de uso vem se tornando cada vez mais freqüente mercê, principalmente, de dois fatores. O primeiro, é a qualidade gráfica cada vez mais aprimorada dos livros didáticos, com imagens em número crescente e cada vez mais coloridas e tecnicamente bem trabalhadas. O segundo fator é a crença também, cada vez mais atual, na necessidade de aproximar o ensino da Física à realidade cotidiana. Fruto destes dois fatores nasce uma postura que se apresenta como muito moderna, mas que de fato padece, por vezes, de uma certa ingenuidade epistemológica. A questão é que esses dois fatores em conjunto têm levado os autores dos livros mais recentes a esmerarem-se no uso de belas imagens de objetos que se assemelham da melhor maneira possível aos objetos reais. Os autores, presumivelmente, desejam colocar assim possíveis apelos motivacionais para um público mais jovem. Tudo bem, se isso funcionar de tal maneira. O problema, no entanto, está no ato de concentrar-se excessivamente nestes possíveis aspectos atrativos de tais imagens, ocasionando, como discutiremos, possíveis e graves problemas de comunicação devido a questões epistemológicas envolvidas que têm passado de forma despercebida.

A questão envolve a própria concepção do realismo crítico a respeito da criação científica. O ponto central é que os fatos científicos descritos são idealizações, construções mentais socialmente compartilhadas e não, exatamente, fatos brutos da realidade concreta. Os verdadeiros objetos da Física são objetos idealizados, produtos de um ato intencional de despir a realidade concreta da sua complexidade inerente. Se assim não fosse, a moderna ciência galileana não poderia ao menos ter sido construída. Insistir em que as afirmações da ciência são descrições exatas da realidade concreta é cair em um realismo ingênuo e assumir, em verdade, uma postura aristotélica de há muito já superada.

Situemos brevemente, então, a questão do tipo da representação imagética possível de ser estabelecida e da força da relação entre os referentes (representação e objeto representado) para podermos colocar nossa crítica também numa perspectiva semiótica.

As representações imagéticas são *signos*, coisas colocadas no lugar de outras coisas para representá-las sob algum ou vários de seus aspectos. Há, conforme a intenção da representação, um determinado tipo de relação estabelecida entre os referentes. Quando a ênfase no tipo de relação estabelecida é na *semelhança* entre os referentes, temos o *ícone*; quando a ênfase na relação é em

*causa e efeito*, temos o *índice* e, finalmente, quando a ênfase da relação é na *arbitrariedade*, o *símbolo* (Peirce, 1998).

No caso do presente trabalho, analisamos algumas representações imagéticas utilizadas em livros didáticos e focalizamos, exclusivamente, a adequação da iconicidade das mesmas com relação aos objetos da Física a que se referem. É fundamental atentarmos que os objetos da Física, na verdade, não são ‘ícones’ dos objetos e situações reais, mas ‘símbolos’ dos mesmos, dada a intencionalidade do corte epistemológico realizado para construí-los.

## **O Realismo Crítico e o Problema das Imagens na Ciência**

Para compreendermos melhor a questão filosófica envolvida nesta crítica desenvolvamos um pouco a questão do realismo na ciência e das suas ligações com as formas de representar a realidade. Podemos, certamente, acreditar na existência de fatos que fazem o mundo ser da forma que é e com alguns desses fatos possíveis de serem conhecidos em um alto grau de probabilidade. Podemos, porém, acreditar, também, que muito do conhecimento humano relaciona-se a fatos que são socialmente construídos. Entretanto, a forma como encaramos essa construção social da realidade afasta-se dos modos de alguns filósofos pós-modernistas que ao sustentarem, igualmente, a construção social da realidade recaem, entretanto, em um relativismo filosófico.

Se entendermos um *fato*, em um sentido lato, não necessariamente referindo-nos ao seu status epistemológico como verdadeiro ou não; mas, simplesmente como um acontecimento ocorrido ou algo que esteja realmente acontecendo, podemos adotar como Searle (1995) uma postura epistemológica realista crítica caracterizada pela defesa de que existe um mundo real que inclui fatos objetivos que podem ser classificados em duas categorias. Primeiro, aqueles fatos que podem ser denominados *fatos brutos*, os quais têm uma existência independente daquilo que os seres humanos possam pensar a seu respeito. Segundo, aqueles fatos que podem ser denominados *fatos sociais* cuja existência é dependente do pensamento humano sobre eles. Os *fatos brutos* incluem não apenas fatos físicos (de natureza concreta captada pelos sentidos); mas, também, fatos mentais. Anteriormente ao surgimento do homem já havia *fatos brutos físicos* e quando eventualmente o estado de consciência surgiu no homem, isto é, o estado de alerta sobre as coisas do mundo e do seu próprio corpo, passaram a existir também os *fatos brutos mentais*.

Os *fatos sociais* são uma espécie de justaposição em relação aos *fatos brutos*, pois são construídos a partir dos mesmos, enquanto que os *fatos brutos* poderiam existir sem os primeiros. Por exemplo, objetos materiais – como pedras, rios ou montanhas - poderiam continuar existindo sem que existisse um certo país no qual estivessem localizados. Os bebês, por seu turno, são bebês, independentemente de os chamarmos por certos nomes ou mesmo denominá-los ‘bebês’. O acordo de selecionar grupos de estrelas e dar-lhes nomes, como à constelação do *Cruzeiro do Sul* e das *Três Marias* perde-se no tempo, mas a sua existência enquanto *fatos físicos brutos* é anterior às suas nomeações. Assim, as propriedades dos conceitos que atribuímos às estrelas não são exatamente as propriedades das coisas descritas pelos conceitos. Em suma, exceto aquilo que é constituído a partir dos consensos humanos, o restante do mundo permaneceria o mesmo e continuaria a existir mesmo quando o último dos seres humanos percesse.

Uma vez existentes, os *fatos sociais* e os *fatos físicos brutos* não são realidades independentes e separadas. Do mesmo modo que uma nota de cem reais possui um valor de troca estabelecido por convenções e acordos dos agrupamentos sociais e dos governantes, ela foi criada também em cima de uma folha de papel, de um *fato físico bruto*.

Ainda em uma postura filosófica realista crítica, poderíamos fazer uma distinção entre as características: ‘ontologicamente objetiva’ e ‘epistemologicamente objetiva’; ‘epistemologicamente subjetiva’ e ‘ontologicamente subjetiva’ (Sayeg, 1997). Uma pedra é ontologicamente objetiva, porque ela continuaria existindo mesmo que não houvesse seres humanos. Ela é o que Searle chama de um *fato bruto*. Um pedaço de metal ou de madeira também são ontologicamente objetivos, pois continuariam a existir independentemente da existência dos seres humanos.

Um martelo é epistemologicamente objetivo porque ele só existe enquanto ‘martelo’ por ser tratado enquanto tal pelos seres humanos. Como aponta Sayeg, se houvesse um ‘olho-de-Deus’ sobre a realidade, esse olho veria metal e madeira e veria seres humanos tratando metal e madeira, com uma certa função, ou seja, como martelos. Se não houvesse seres humanos, entretanto, não haveria propriamente o martelo. No entanto, isso não quer dizer que o martelo não seja um pouco objetivo, pois podemos dizer a qualquer ser humano de nosso agrupamento cultural que ‘isso é um martelo’ e ele concordará. Epistemologicamente, portanto, o martelo é objetivo. Entretanto, ontologicamente, o martelo é subjetivo, pois não existe enquanto martelo na ausência de seres humanos. Os materiais que o compõem são ontologicamente objetivos (Sayeg, 1997).

Já epistemologicamente subjetivo, por exemplo, é dizer que ‘este *design* do martelo é bonito’, pois outro ser humano poderia dizer que não e os dois têm razão; pois, trata-se de um julgamento epistemologicamente subjetivo. Ambos, no entanto, diriam ‘isto é um martelo’ e se algum dissesse que não é, estaria faltando com a verdade; pois, trata-se de um objeto epistemologicamente objetivo. Mas, o martelo é ontologicamente subjetivo; pois, não existe enquanto martelo na ausência de seres humanos. Se não houvesse seres humanos, não haveria martelo (Sayeg, 1997).

Tendo apropriado-nos desta diferenciação entre realidades *ontologicamente objetiva* e *epistemologicamente objetiva* acima apresentada, podemos, então iniciar uma análise acerca de um posicionamento *realista crítico* da produção do conhecimento científico.

A postura realista crítica vai muito além do realismo ingênuo (ou científico). Para começar, poderíamos questionar se existe uma realidade independentemente da nossa cognição ou se seria a realidade uma elaboração do próprio pensamento humano. E mais: qual a relação entre as afirmações da ciência e a realidade? (Cartwright, 1983). A resposta do realismo é afirmar que a realidade existe independentemente de ser percebida ou compreendida por nós. A posição do realismo ingênuo, ou realismo científico, entretanto, é bem mais ousada; ela advoga que não somente a realidade existe independentemente da nossa cognição, mas que, também, as afirmações da ciência são descrições fiéis de como a realidade é. A posição do realismo ingênuo equivale assim a uma adesão total ao objetivismo, à preponderância do objeto sobre o sujeito cognoscente. Para o realismo ingênuo as afirmações da ciência têm o status de ‘verdades inquestionáveis’ sem qualquer mediação humana.

Em oposição direta ao realismo ingênuo, a posição idealista afirma que a realidade é um produto da mente humana e existe apenas na medida em que é percebida por nós. A filosofia registra, entretanto, várias críticas a tal posicionamento, apontando o quanto a posição idealista implica em um solipsismo, ou seja, na consequência de que cada indivíduo construa a sua própria realidade, sem ligação com a do outro. A posição idealista, tomada literalmente, leva-nos à percepção do mundo como “*um asilo de loucos*”. Afinal, como bem dizia Fernando Pessoa: “*o mundo não é uma idéia minha, mas a minha idéia do mundo é que é uma idéia minha*” (1983). Assim, pode-se perceber, nas palavras de Fernando Pessoa, que a rejeição da posição realista ingênuo não acarreta a obrigatoriedade de assumirmos uma posição idealista. É perfeitamente possível manter uma posição realista, afirmando, deste modo, que “*a realidade existe independentemente da nossa cognição*”, sem sermos obrigados a cair em uma postura idealista que toma a realidade como uma livre criação da nossa mente. Essa é a postura do realismo crítico, ou seja, a postura de assumir a primazia da existência do mundo; admitindo, entretanto, que as descrições da ciência são apenas construções metafóricas da mesma. Neste sentido, a postura do realismo crítico livra-se da ortodoxia da visão realista ingênuo, sem correr o risco de cair num construtivismo idealista (Matthews, 1994; Medeiros, 1999; Medeiros & Bezerra Filho, 2000).

Historicamente, é preciso lembrarmos-nos que a ciência é filha de uma atitude inaugurada, dentre outros, por Galileu no século XVII. Tal atitude consiste na tentativa de enquadrar a realidade num padrão de racionalidade a partir de um ato de simplificação ou de idealização do real. Neste sentido, o primeiro passo galileano é o de simplificar a realidade para, assim, e só assim, poder matematizá-la, dado que os objetos do real são extremamente complexos para poderem ser compreendidos diretamente e em sua completeza. Deste modo, Galileu inaugura uma atitude de

idealizar o real, afastando-se, aparentemente, do mesmo em sua objetividade ontológica, para construir um real pensado e mais simples, criação da mente humana e dotado de uma realidade epistemologicamente objetiva (Garrison, 1986; MacLachlan, 1876). Assim, Galileu descreve, por exemplo, a balança apenas como uma linha, apoiada num fulcro que é idealizado como um simples ponto matemático (Galilei, 1590; Matthews, 1987; Matthews, 1990). Até mesmo o seu desenho de uma tal balança idealizada ele admite não corresponder à realidade da sua balança imaginária, pois o ponto e a linha que consegue desenhar são apenas pálidas imagens do ponto e da linha que deseja comunicar a respeito de sua balança imaginária. O ponto e a linha desta sua balança imaginária são entes matemáticos simples, puros, que podem ser convenientemente manipulados pelo pensamento racional. Galileu tem a clareza de que a imagem da balança que consegue fornecer é simultaneamente afastada da balança real e da sua balança imaginária. Essa representação visual da balança comunicada nos seus desenhos não é exatamente uma cópia da sua balança imaginária, objeto por ele construído mental e propositadamente despido de sua complexidade material, objeto da nova ciência que inaugura (Torres, 1983; Naylor, 1976). Galileu sabe também que tampouco aquela representação visual dos seus escritos representa a balança real com a iconicidade máxima possível a um bom desenhista. Porém, não o preocupa essa fragilidade da iconicidade de sua representação visual da balança em relação à balança real, pois não é aquela balança material que verdadeiramente está preocupado em comunicar. Seu desenho é intencionalmente distinto das peculiaridades do objeto real, pois são as propriedades elementares e essenciais do seu objeto científico, sua balança imaginária, pura linha matemática apoiada num ponto que ele deseja comunicar. A relação de iconicidade que o preocupa e que procura comunicar em seus desenhos é a da sua representação visual em relação à sua imagem mental, essa balança mentalmente construída, esse objeto idealizado de uma nova ciência (Naylor, 1976; Drake, 1974; Finocchiaro, 1992).

A balança imaginária de Galileu pode ser facilmente matematizada, levando a previsões e a várias decorrências lógicas. Seu trabalho foi aceito pelos aristotélicos, principalmente por Guidobaldo Del Monte, como um primor matemático, mas que nada tinha a ver, entretanto, com a balança real. Del Monte objeta que a balança idealizada por Galileu é muito diferente da balança real, dotada de espessura e de peso. Embora Del Monte aceite as conclusões matemáticas de Galileu sobre o comportamento hipotético daquele seu objeto imaginário, dadas as características, aparentemente arbitrárias e mediante as quais tal objeto foi definido, não aceita que o seu comportamento tenha qualquer ligação com o de uma balança real. Del Monte é um aristotélico legítimo com uma visão embebida, portanto, de uma forte convicção realista ingênua, que sustenta que o objetivo primordial da ciência é, antes de tudo, descrever a realidade tal qual ela é. A atitude de Galileu, deste modo, parece-lhe uma absurda violência aos fatos reais (Naylor, 1974; Matthews, 1987; Matthews, 1990).

Galileu, em resposta a Del Monte, assim como na célebre Carta à Cristina, admite abertamente que falsifica a realidade para poder compreendê-la (Galilei, 1610; Wisan, 1984). Por falsificar inicialmente a realidade, Galileu não quer dizer que esteja inventando quimeras, ilusões, mentiras propositais, produtos 'esquizofrênicos' sobre a realidade. O que Galileu quer dizer é que para fazer ciência é preciso, antes de tudo, simplificar os objetos da realidade bruta, produzindo, assim, novos objetos intelectualmente manipuláveis de uma realidade construída (Fehér, 1982; Garrison, 1986; Gingerich, 1993).

Mas o que separa essa nova atitude de Galileu da atitude esquizofrênica? O que diferencia a ciência, nessa concepção galileana, de um asilo de loucos onde na falta de um imaginário socialmente compartilhado, cada um invente o seu mundo particular e incomunicável?

Galileu responde muito claramente que a idealização por ele descrita é apenas o primeiro passo da nova atitude científica que inaugura. O segundo passo, para ele tão importante quanto o primeiro, é o de atribuir um certo grau de realidade às conjecturas decorrentes da manipulação intelectual dos seus objetos científicos imaginários. A chave para isso, aponta Galileu, é o *experimento*. Galileu concebe o experimento como ferramenta essencial de retornar ao mundo real de onde propositadamente pareceu haver afastado-se. O experimento torna-se uma arte, uma tentativa de obter na prática, com objetos reais, resultados previstos para objetos ideais (Segre,

1980; Shea, 1977; Naylor, 1980a). A dificuldade é tremenda. Quanto mais simplificados são esses seus objetos científicos intelectuais, tais como planos e roldanas sem atrito, cordas sem massa e que não se distendam, barras que possam ser tidas como linhas, tanto maior a dificuldade, senão a verdadeira impossibilidade de encontrá-los na realidade cotidiana. Galileu não se ilude, sabe que persegue um ideal. A verdade na ciência, para ele, assim como será para Einstein, é como um limite do qual podemos apenas aproximarmo-nos e não como um ponto exatamente a ser atingido (Einstein & Infeld, 1938; Prudovsky, 1989). Essa atitude filosófica de Galileu antecipa o próprio conceito de limite matemático que surgiria, na geração seguinte, com Newton.

Sua forma de compreender o papel do experimento faz com que tentemos aproximar, na prática, as condições ideais intelectualmente manipuladas. Assim, trabalhamos com superfícies o mais próximas possível de superfícies planas, polidas e lubrificadas para que o atrito seja minimizado até onde possível, cordas cujas massas sejam desprezíveis em relação às dos outros corpos envolvidos no experimento. Vista deste modo, essa intenção de serem os experimentos uma tentativa de aproximação entre o real concreto e o real pensado, confere à nova ciência uma característica antes privativa da arte. As implicações filosóficas são profundas; as afirmações da ciência assim construídas passam a ter *contextos de validade*. Uma certa teoria científica contendo um grande número de simplificações em relação ao real encontra um contexto de validade mais restrito que outra que imponha um menor número de simplificações. As teorias passam, assim, a ser *cortes epistemológicos na realidade* (Bachelard, 1985), formas distintas de recortar a complexidade do real. Se, por um lado, cortes mais profundos, simplificações mais radicais, facilitam a matematização dos novos objetos científicos (conceitos científicos) criados, por outro lado, restringem o seu campo, ou contexto de validade (Naylor, 1990). Desse modo, por exemplo, ao aplicarmos, hoje, a teoria dos projéteis (habitualmente ensinada no curso médio) a situações reais, precisamos ter em mente quais são os pressupostos teóricos embutidos nessa teoria. Em outras palavras: quais as simplificações assumidas naquela determinada construção teórica em tela, qual o recorte operado na realidade? No exemplo tratado do movimento de projéteis, a abordagem ensinada no curso médio descreve a trajetória do projétil como uma parábola perfeita, toma um eixo horizontal para nele representar as distâncias alcançadas, assume que não há resistência do ar ao movimento do projétil, assume igualmente que a aceleração da gravidade é constante e assim por diante. Alguns professores costumam ensinar assuntos como este, apreciando a beleza matemática das equações trigonométricas obtidas e deleitando-se com elas, ao mesmo tempo que atormentando as mentes dos seus estudantes, com intrincados problemas de canhões que atiram balas para lá ou para cá. Pede-se para calcular velocidades em certos pontos, alturas máximas, alcances e coisas assim. No entanto, poucas vezes é dada a devida atenção a algo muito mais importante: em que medida aquela teoria descreve a realidade objetiva? Perdidos nesse devaneio intelectual matemático é comum que se confunda o rigor contido nas demonstrações matemáticas com o rigor de que aqueles resultados sejam, de fato, obtidos na prática (Hill, 1988; Naylor, 1980b).

Passa muitas vezes despercebido que a beleza estética daquele modelo matemático é uma decorrência imediata da presença tácita de certos pressupostos teóricos contidos na própria elaboração da teoria. Tentemos, por exemplo, munidos da teoria ensinada no curso médio, calcular o alcance de um projétil que atinja uma distância da ordem de uns cem quilômetros. Chegaremos a enormes absurdos. Façamos as deduções matemáticas e suponhamos que pudéssemos colocar tais resultados teóricos em teste num experimento real com um canhão suficientemente poderoso. Ficaríamos bastante desapontados com o tremendo desacordo entre a teoria e o experimento. Por que? A questão é que, ao tentarmos aplicar uma teoria fora do seu contexto de validade, contexto este cuja mera existência, por vezes, nem ao menos é percebida, caímos, freqüentemente, em um vazio: os resultados obtidos na prática apresentam-se em flagrante desacordo com a teoria. Daí nasce, equivocadamente, o descrédito em relação à ciência. O experimento não deu certo? A teoria está errada? (Cartwright, 1983).

A questão merece uma análise mais aprofundada. Ao supormos, logo de início, a inexistência da resistência do ar, estamos fazendo um pressuposto teórico, recortando deste modo, epistemologicamente, a realidade, simplificando-a intencionalmente na acepção tanto galileana

quanto bachelardiana (Bachelard, 1985). Criamos uma realidade virtual para nós mesmos, uma realidade socialmente construída, uma prática aceita consensualmente pelos praticantes dessa ciência. Mas, na realidade objetiva sabemos que a resistência do ar existe e não pode ser totalmente eliminada, embora possa ser minimizada a valores aceitáveis em laboratórios. De outra parte, supomos também que a aceleração da gravidade é constante, o que está em desacordo flagrante com uma teoria maior e mais importante, a da gravitação universal, que assinala ser tal aceleração variável em decorrência da força de atração entre o projétil e a Terra e que varia com o inverso do quadrado da distância. Será, portanto, que apesar de tão belo, esse nosso modelo elementar de projéteis, ensinado tradicionalmente no curso médio, é uma completa loucura? Certamente, não! Onde está, então o X da questão? Está, justamente, em não apreciarmos freqüentemente a distinção entre o real concreto e o real pensado, em tomarmos, usualmente, as afirmações científicas como verdades absolutas, sem contextos de validade, a serem obedecidas rigorosamente na prática cotidiana. Mesmo assim, teríamos nós produzido simplificações a tal modo exageradas que teriam redundado numa teoria estéril, incapaz de descrever minimamente o real, válida apenas nas situações altamente artificiais produzidas em um laboratório? Não! Como não? A questão é que ao assumirmos, ainda que tacitamente, determinados pressupostos metafísicos sobre a realidade, no ensejo da construção do nosso real pensado científico, estamos implicitamente estabelecendo o contexto de validade daquela teoria. Em nosso exemplo, não precisamos lançar projéteis no vácuo de um laboratório para fazermos jus à nossa simplificação de que a resistência do ar seja nula; basta considerarmos que o nosso projétil seja suficientemente pequeno (ou tenha uma forma bastante aerodinâmica) e que não se mova com velocidades muito altas, para que possamos desprezar, sem grande erro, a mencionada resistência do ar. Isso mostra-nos que ao fazermos o pressuposto simplificador de que não exista resistência do ar, por um lado, afastamo-nos do mundo real; mas, por outro lado, podemos reaproximarmo-nos dele aplicando a nossa teoria, assim construída, a um contexto de validade de objetos pequenos ou aerodinâmicos que se movam com velocidades não muito altas.

E o que dizer da aceleração da gravidade, suposta constante, em nossa teoria? Como contornarmos esse problema? Basta supormos que o nosso projétil não sobe muito, de modo que a variação de tal aceleração seja efetivamente desprezível.

Chegamos, assim, a uma segunda restrição no contexto de validade de nossa bela teoria matemática: o nosso projétil além de pequeno (ou aerodinâmico) e de não viajar a velocidades muito altas, não deve também subir muito.

E o que dizer do eixo horizontal que utilizamos em nossas coordenadas cartesianas? Ele não é uma linha reta? Como, então, aplicá-lo na descrição de distâncias alcançadas na superfície da Terra, que não é plana? Novamente, a questão impõe não uma rejeição da teoria, mas uma outra restrição em seu contexto de validade, qual seja a de que o nosso projétil não vá muito longe, de modo que possamos tomar, sem grande erro, a superfície da Terra como plana.

Assim, de pressuposto em pressuposto, construímos uma realidade pensada, um fato social, consensualmente aceito; portanto, dotado de uma realidade epistemologicamente objetiva, mas que não é uma cópia, em absoluto, da complexidade da realidade concreta. Se os humanos morressem, por exemplo, numa grande epidemia, nossa teoria de projéteis deixaria de existir. Mesmo que restassem registros escritos, não haveria ninguém para os ler e compreender e para conferir-lhes sua existência epistemológica. Mas a Terra, as pedras antes arremessadas, continuariam a existir, sem sombra de dúvidas enquanto que o nosso projétil, objeto ideal do pensamento humano, por ser socialmente construído, deixaria certamente de existir.

Esse real pensado, 'matéria prima' das nossas teorias, habita a memória coletiva dos cientistas que conseguem articular, assim, os seus próprios pensamentos. Esse conjunto de imagens, como a balança imaginária de Galileu, ou como o nosso exótico projétil, acima discutidos, faz parte do Imaginário dos cientistas. As dificuldades de representarmos visualmente um tal Imaginário científico não devem ser subestimadas. Fácil é iludirmo-nos representando a realidade concreta pensando estarmos representando a realidade científica.

Esse fato social que é a nossa teoria elementar de projéteis não pode e não deve ser confundido com um objeto alienante, afastado da realidade concreta objetiva do cotidiano; mas sim, como uma ótima aproximação da mesma, desde que respeitados os seus limites de validade acima discutidos.

Se por acaso quisermos descrever o movimento de projéteis mais próximos ainda da nossa realidade objetiva, supondo que, por exemplo, subam muito, o que fazer? Já sabemos que a nossa teoria elementar não nos serve, neste caso. O que fazer, então? Precisaríamos construir uma outra teoria, com um menor número de simplificações, na tentativa de aproximarmo-nos um pouco mais do real concreto. Ela precisaria levar em conta a variação da aceleração da gravidade ponto a ponto e, deste modo, cairíamos já no terreno do uso das equações diferenciais.

E se quiséssemos considerar a resistência do ar? Precisaríamos conhecer a forma como tal resistência ocorre. Precisaríamos, ainda assim, de novas simplificações. Há vento ou não há vento? Se supusermos que não há vento, a variação da velocidade devido à resistência do ar poderia ser idealizada mais facilmente. E se levarmos em conta a existência do vento? Precisaríamos, aí, conhecer a dinâmica de tal vento, como interfere ponto a ponto no movimento do projétil, e assim por diante.

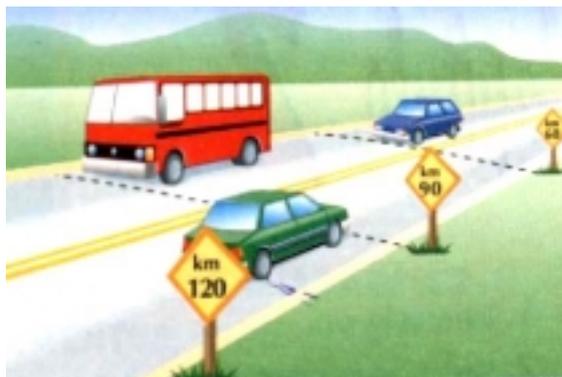
Retomando o nosso ponto de partida: a ciência inaugurada com Galileu no século XVII assume o pressuposto de que a realidade é inteligível e passível de ser enquadrada num certo padrão de racionalidade. A busca desse enquadramento dá-se por aproximações sucessivas de idealizações do real ontologicamente objetivo, dando origem a um real pensado, epistemologicamente objetivo, cuja conexão com a realidade concreta dá-se através de experimentos que nos revelam os limites, os contextos de validade de tais construções mentais.

Há nessa atitude galileana duas grandes inovações em relação ao pensamento grego de um modo geral. A primeira é a busca inicial das idealizações como condição básica de construção dos novos objetos a serem manipulados intelectualmente; a segunda é o recurso ao experimento como forma de atribuir um grau de realidade a tais construções teóricas e de explicitar os contextos de validade das referidas teorias (Settle, 1983; Gruender, 1981; Wisan, 1981; Agazzi, 1994).

Numa concepção semiótica e *dentro de certos contextos de validade* bastante restritos, como acima exemplificado, as teorias guardam uma relação de semelhança muito forte com a realidade concreta que pretendem descrever. Fora de tais contextos, no entanto, o laço icônico enfraquece-se e necessitamos de outros objetos, outras imagens, na tentativa de dar conta da complexidade do real concreto.

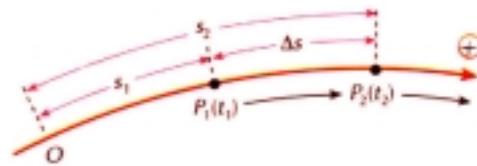
A extensão em que a complexidade envolvida na representação visual das idéias científicas é levada em consideração pelos livros didáticos em suas programações visuais é algo, portanto, a ser investigado. A análise que se segue fornece algumas peças de evidência de casos em que alguns livros didáticos de Física, subestimando a complexidade de uma tal representação, incorrem em equívocos nos quais a representação do real concreto é confundida com a representação do real pensado na ciência.

### **Análise de Exemplos de Questões Epistemológicas Existentes nas Relações Icônicas Contidas em Algumas Imagens de Livros Didáticos de Física**



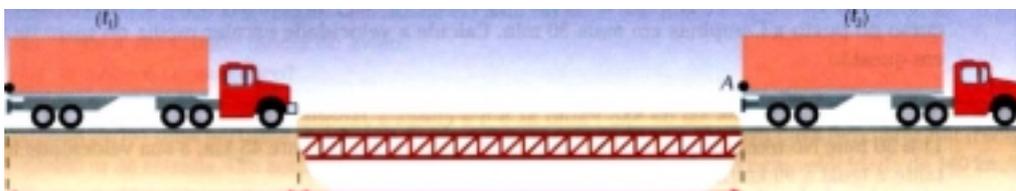
A figura ao lado é proveniente do livro de Ramalho Jr, Ferraro & Soares (1999, p. 14). Um pouco antes, no início do respectivo capítulo, os autores haviam afirmado estarem tratando do movimento de um ponto material, chegando mesmo a conceituá-lo, apropriadamente, do seguinte modo: “*ponto material é um corpo cujas dimensões não interferem no estudo de um determinado fenômeno*” (p. 13). Entretanto, ao utilizarem

a figura acima, os referidos autores introduzem uma completa incongruência em relação à própria conceituação, por eles fornecida, de ponto material. Com efeito, as dimensões dos automóveis e do ônibus representados são de tal monta que jamais poderiam ser tomados, naquele contexto, como pontos materiais. Certamente, podemos admitir não ter sido esta a intenção dos autores; mas, a questão é que não existe nenhum indício na figura quanto à questão das escalas. Pelo contrário, há traços nítidos entre as placas de 60Km e de 90Km. Deste modo, a aparência que ressalta da figura é de um ônibus absurdamente grande, que teria dimensões quilométricas, o mesmo se dando em relação aos automóveis. Poder-se-ia argumentar que o leitor poderia imaginar que, em verdade, o ônibus e os automóveis seriam bem menores que aqueles representados na figura acima. Se este for o caso, duas coisas poderiam ser inferidas. A primeira, é que a figura seria totalmente desnecessária, pois o leitor capaz de uma tal interpretação não precisaria de uma figura para guiá-lo o pensamento. Segundo, é que se a figura é de fato necessária para a compreensão da questão, ela não retrata absolutamente uma situação na qual tais objetos possam ser tidos como pontos materiais. Em circunstâncias como essa, muito mais sensato seria apelar para a



utilização de simples diagramas, nos quais os automóveis e o ônibus fossem representados por simples pontos, facilitando, deste modo, a representação gráfica em escala. Certamente, essa idéia não é estranha aos autores em causa, que a utilizam nas páginas seguintes com certa profusão, como, por exemplo, na figura acima, ao tratarem de explicar o conceito de velocidade média entre dois pontos. Qual, portanto, a função da primeira figura dos carros e do ônibus na estrada? Parece ter sido, apenas a de emprestar um maior grau de realidade aos objetos representados. Com efeito, a imagem do ônibus lembra bem mais um ônibus concreto real do que um simples ponto poderia lembrar. A questão, porém, é de outra espécie. O que estaria sendo tentado representar seria o ônibus e os carros enquanto partículas, não enquanto objetos em suas realidades concretas brutas. Deste modo, a imagem fornecida é completamente falha. Sua iconicidade se dá em relação ao ônibus e aos carros enquanto objetos concretos reais e não em relação aos mesmos enquanto objetos idealizados da Física, pontos materiais no contexto da situação a ser representada.

Em outros momentos, não tratando do movimento de uma partícula, mas então do movimento de corpos extensos, os mesmos autores acima apresentam um problema muito comum, qual seja o de calcular o tempo que um longo caminhão leva para atravessar uma ponte. Neste caso, apropriadamente, o caminhão é representado como um objeto extenso, dando margem à demonstração das virtudes do desenhista, como mostra a figura abaixo.



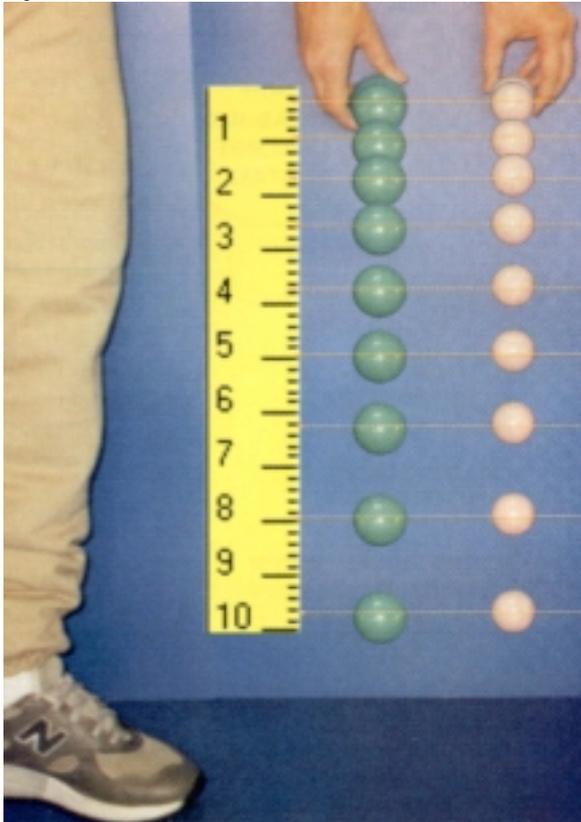
Naquele primeiro caso, porém, em que se tratava de representar o movimento de pontos materiais, as representações visuais do ônibus e dos carros foram totalmente despropositadas. Ali, cuidou-se da beleza visual do livro, em detrimento do rigor da idéia da Física a ser veiculada.

Caso semelhante, de impropriedade da representação visual fornecida em relação ao caso físico que uma certa figura pretendia ilustrar, pode ser encontrado no livro de Penteadó (1998, p. 42), como mostrado abaixo. A bela figura de uma esquiadora descendo uma encosta de uma montanha nevada é fornecida pelo autor como um pretense exemplo de movimento uniformemente variado. No texto, ao lado da figura, o autor acrescenta ainda



que: “no movimento uniformemente variado, o móvel sofre iguais variações de velocidade em iguais intervalos de tempo” (p. 42). O caso, aqui, parece um pouco mais grave, pois o autor parece crer que o movimento da esquiadora é, de fato, um bom exemplo de um movimento uniformemente variado, o que certamente não é. Poder-se-ia argumentar, entretanto, que o autor não afirma explicitamente tal

coisa; que apenas a sugere ao colocar esse texto, lado a lado com a figura da esquiadora descendo a montanha. Se assim for, qual a função da figura? Absolutamente nenhuma, talvez apenas estética. Mas não parece ser este o caso; mais fácil é admitir que a colocação do texto e da figura lado a lado, seja de fato intencional. Neste caso, o autor estaria, possivelmente tentando representar o movimento de um corpo num plano inclinado, pretensamente com a intenção de ilustrar o aparecimento de uma aceleração constante. Se este é realmente o caso, como tudo indica, o erro é grave, pois o movimento de descida de um corpo num plano inclinado para ser tido como uniformemente variado, tanto o corpo quanto o referido plano têm que ter propriedades que não seriam atendidas pela esquiadora e pela encosta da montanha. Novamente, há uma confusão entre um caso ideal da Física (o do movimento de um corpo ideal num plano inclinado também ideal) e uma situação concreta real.



A figura ao lado, aparece no livro de Alvarenga & Máximo (2000, p. 67). Ela pode ser tida como um terceiro exemplo do tipo de uso impróprio das representações visuais que desejamos analisar. Novamente, os autores de um livro didático de Física confundem o objeto real mostrado com um caso ideal da Física. Aqui, porém, a falha é mais grave, pois essa confusão não aparece apenas ligada à questão epistemológica acima discutida. Ela é acentuada, ainda, por três outros graves equívocos: o equívoco na Física da situação, o equívoco histórico de atribuir a Galileu algo que ele jamais disse e terceiro, e talvez o mais grave de todos, o equívoco de tentar iludir os sentidos do leitor, afirmando que o mesmo poderia ver na figura o oposto daquilo que ela de fato estaria a mostrar.

O que pretendem os autores ilustrar com a utilização desta figura?

Segundo eles mesmos, conforme o texto que

acompanha a figura: “esta fotografia mostra as posições sucessivas de duas esferas, de pesos diferentes, em queda livre. Observe que elas caem simultaneamente, como previsto por Galileu” (Alvarenga & Máximo, 2000, p. 67, **grifos nossos**).

Em primeiro lugar, observe-se que a situação representada não se passa no vácuo, lugar natural da situação idealizada por Galileu, portanto, não se trata efetivamente de uma queda *livre*. Numa tal situação da realidade concreta, não é verdade que corpos de mesma forma e tamanho, mas pesos diferentes, soltos simultaneamente de uma mesma altura, cheguem por igual ao chão. A razão física é simples de ser percebida, mas parece ter escapado à atenção dos autores, imbuídos talvez da idéia de representarem na realidade concreta um caso apenas ideal. Como a força de resistência do ar depende do formato, da seção transversal e da velocidade dos corpos, teríamos que inicialmente tais forças de resistência seriam iguais. Ocorre, porém, que um mesmo valor da força causará

desacelerações diferentes nos corpos, pois eles têm massas diferentes. Assim, o corpo mais pesado sofre uma desaceleração menor e adianta-se ligeiramente em relação ao mais leve, como mostra efetivamente a figura. Essa percepção da sutil distinção entre o caso real concreto e o caso idealizado não passou despercebido a Galileu, muito pelo contrário. Os autores, portanto, cometem um grave equívoco histórico ao afirmarem que Galileu havia previsto que os dois corpos chegariam simultaneamente. A afirmação de Galileu é bem mais cuidadosa e encerra já em si mesma a concepção de uma nova ciência, como acima discutido. Observemos o que diz Galileu, em suas próprias palavras: “*eu me referirei aos movimentos que têm lugar através do ar, já que destes é que fundamentalmente falamos. Contra estes movimentos, o ar exerce sua oposição de duas maneiras: uma que consiste em oferecer maior resistência aos móveis menos densos (graves) que aos muito densos (gravíssimos), enquanto que a outra consiste em oferecer resistência à velocidade maior que a menor de um mesmo móvel.*”

*Pelo que faz a primeira, consideremos o caso de duas bolas que tenham a mesma dimensão, sendo o peso de uma dez vezes ou doze vezes maior que o da outra; tal seria o caso, por exemplo, de uma bola de chumbo e outra de madeira, ambas caindo de uma altura de 150 a 200 côvados. Posto que as duas chegam a tocar a terra com uma diferença de velocidade pequeníssima, tal experimento nos confirma que a resistência e o retardo causado pelo ar é mínimo; porque se a bola de chumbo, que parte no mesmo instante e desde a mesma altura que a bola de madeira, sofresse pouco o efeito do retardo enquanto que a de madeira o padecesse muito mais, aquela deveria chegar à terra com uma notável vantagem com respeito a esta por ser seu peso dez vezes maior. Agora bem, não é isto o que sucede, senão que, pelo contrário, sua vantagem não chegará nem sequer à centésima parte de toda a distância percorrida na queda. No caso de uma bola de chumbo e outra de pedra, sendo o peso desta última um terço ou a metade do daquela, seria imperceptível a diferença dos seus tempos respectivos ao tocarem a terra”* (Galilei, 1981, p. 396).

Fica patente, portanto, o equívoco histórico dos autores. Entretanto, não termina aí a série de equívocos cometidos. Os autores pedem ainda que o leitor observe a figura como uma prova de que os corpos chegam por igual ao chão. A convicção dos autores nesse aspecto parece tão forte que eles nem mesmo se apercebem que a figura por eles utilizada mostra exatamente o contrário, mostra que a bola mais pesada adianta-se levemente em relação à outra bola. Enquanto Galileu centra sua atenção na pequenez daquela diferença, teorizando a esse respeito para que se construa mentalmente o *caso limite ideal*, o fato científico idealizado, os autores não se apercebem dessa importante sutileza e não apenas vêem na figura algo que ela não mostra, como ainda atribuem a Galileu o mesmo equívoco e pedem também para que os leitores façam o mesmo. Temos, aqui, portanto, o mais patente dos três exemplos analisados nos quais uma situação real concreta é apresentada numa ilustração como, equivocadamente, ilustrando um fato científico idealizado.

## Conclusões

A análise dos três exemplos retirados dos livros acima mencionados aponta para a existência de algumas representações visuais que embora possam lembrar muito a realidade concreta, guardam sérias diferenças em relação ao real pensado na Física. Este é um problema sério que precisa ser melhor apreciado pelos autores de tais textos. Por uma questão de justiça, é importante salientar, porém, que esse tipo de representação visual não é uma característica exclusiva daqueles livros didáticos mencionados. Da mesma forma, não se pretende afirmar aqui que os citados livros contenham apenas ilustrações daquele tipo. Muito pelo contrário, há uma enorme diversidade de outros tipos de ilustrações cuja tentativa de estudo transcende em muito o escopo do presente trabalho.

O que pretendemos que tenha ficado claro, neste artigo, é a existência de um certo tipo de representação visual nos livros didáticos, que distorce o real pensado da Física ao tentar tomá-lo como idêntico ao real concreto. Para aqueles interessados em produzir livros didáticos cada vez mais atraentes, do ponto de vista visual, este é um ponto que deveria ser melhor considerado. Fica, portanto um alerta para o fato de que por vezes um livro belamente ilustrado pode estar, entretanto,

em desacordo com os processos de construção do conhecimento científico. Visões sobre a natureza do conhecimento científico, desta forma, são veiculadas não apenas nos textos escritos de tais livros, mas igualmente nas suas representações visuais. Confundir, em tais ilustrações, o real concreto com o real pensado equivale a passar uma mensagem equivocada sobre a história e a filosofia da ciência, lição esta que pode ser bastante danosa para a compreensão da natureza da ciência.

## Referências

- AGAZZI, E. Was Galileo a Realist?, *Physis - Rivista Internazionale Storia Scientia*. 31 (1) (1994), 273-296.
- AMADOR, F. *As Imagens no Ensino da Geologia*, Série Ciências No. 2, Formação de Professores. Cadernos Didáticos, Aveiro: Universidade de Aveiro, 1998.
- BACHELARD, G. *The New Scientific Spirit*. Boston: Beacon Press, 1985.
- CARMO, L., MEDEIROS, A. & MEDEIROS, C. Distorções Conceituais em Imagens de Livros Textos: O Caso do Experimento de Joule com o Calorímetro de Pás. *Atas do VII EPEF (CD Rom)*, Florianópolis, 2000.
- CARNEIRO, M. 'As Imagens no Livro Didático'. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*. Valinhos, S. Paulo, 1997, pp. 366-373.
- CARTWRIGHT, N. *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Oxford University Press, 1983.
- DRAKE, S. Mathematics and Discovery in Galileo's Physics, *Historia Mathematica*. 1 (1974), 129-150.
- EINSTEIN, A. & INFELD, L. *The Evolution of Physics*. New York: Simon and Schuster, 1938.
- FEHÉR, M. Galileo and the Demonstrative Ideal of Science, *Studies in History and Philosophy of Science*. 13 (2) (1982), 87-110.
- FILIPATOU, D. & PUMFREY, P. Pictures, Titles, Reading Accuracy and Reading Comprehension: A Research Review (1973 – 95) *Educational Research*, vol. 38, Number 3 Winter 1996.
- FINOCCHIARO, A. *Galileo and the Art of Reasoning: Rhetorical Foundations of Logic and Scientific Method*. Boston: Dordrecht, 1980.
- FINOCCHIARO, M. Methodological Aspects of Galileo's Thought. *Theoria, Historia, Scientia*. 2 (1992), 80-91.
- FINOCCHIARO, M. Galileo's Philosophy of Science. I, A Case Study of the Role of Judgment and of Philosophizing in Science, *Scientia (Milão)*, 112 (1-4) (1977), 95-138.
- FLEMING, M. On Pictures in Educational Research, *Instructional Science*, 1979.
- GALILEI, G. (1981). *Consideraciones y Demonstraciones Matemáticas sobre Dos Nuevas Ciencias*. Madri: Editora Nacional.
- GALILEI, G. (1590). *On Motion, and on Mechanics; Comprising De Motu*. Madison: University of Wisconsin Press, 2001.
- GALILEI, G. (1610). Letter to the Grand Duchess Christina. In: Stillman Drake: *Discoveries and Opinions of Galileo*. New York: Anchor Books, 1957
- GARRISON, J. Husserl, Galileo and the Process of Idealization. *Synthese*, vol. 66, 1986.
- GINGERICH, O. How Galileo Changed the Rules of Science, *Sky and Telescope* 85 (1993), 32-36.
- GRUENDER, D. Galileo and the Methods of Science. *Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science I*. Boston: Dordrecht, 1981, 259-270.
- HILL, D. Dissecting Trajectories. Galileo's Early Experiments on Projectile Motion and the Law of Fall, *Isis* 79 (299) (1988), 646-668.
- HUSSERL, E. *The Crisis of European Sciences and Transcendental Phenomenology*. Evanston: Northwestern University, 1970.
- MACLACHLAN, J. Galileo's Experiments with Pendulums: Real and Imaginary. *Annals of Science*. 33 (2) (1976), 173-185.

- MARTINS, I. O Papel das Representações Visuais no Ensino-Aprendizagem de Ciências. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*. Valinhos, S. Paulo, 1997, pp. 294-299.
- MATTHEWS, M. Experiment as the Objectification of Theory: Galileo's Revolution. In J. D. Novak (ed): *Proceedings of the II International Congress on Misconceptions in Science Education*, University of Cornell, 1987.
- MATTHEWS, M. History, Philosophy and Science Teaching: A Rapprochement. *Studies in Science Education*, vol. 18, 1990.
- MATTHEWS, M. *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. Londres: Routledge, 1994.
- MEDEIROS, A. Aston e a Descoberta dos Isótopos. *Química Nova na Escola*. No 10, dezembro, 1999.
- MEDEIROS, A. & BEZERRA FILHO, S. A Natureza da Ciência e a Instrumentação para o Ensino da Física. *Ciência & Educação*, Vol. 2 n.4, 2000.
- MEDEIROS, A., LIMA JR., N. & MONTEIRO JR., F. A Coerência Texto-Imagem no Estudo de Eletróforos em Livros Didáticos de Física. *VII EPEF*, Florianópolis, 2000.
- NAYLOR, R. Galileo's Method of Analysis and Synthesis, *Isis* 81 (309) (1990), 695-707.
- NAYLOR, R. Galileo: Real Experiment and Didactic Demonstration, *Isis* 67 (238) (1976), 398-419.
- NAYLOR, R. Galileo's Theory of Projectile Motion, *Isis* 71 (259) (1980b), 550-570.
- NAYLOR, R. The Role of Experiment in Galileo's Early Work on the Law of Fall, *Annals. of Science*. 37 (4) (1980a), 363-378.
- NAYLOR, R. The Evolution of an Experiment: Guidobaldo del Monte and Galileo's 'Discorsi' Demonstration of the Parabolic Trajectory, *Physis - Rivista Internazionalle Storia Scientia*. 16 (4) (1974), 323-346.
- PEIRCE, C. *The Essential Peirce*. 2 vols. Editado por N. Houser, et al. Bloomington, Indiana: Indiana University Press, 1998.
- PESSOA, F. O Universo. In: *Poemas de Alberto Caeiro*. Coleção Obras de Fernando Pessoa. Lisboa: Livraria Clássica Editora, 1983.
- PRUDOVSKY, G. The Confirmation of the Superposition Principle: on the Role of a Constructive Thought Experiment in Galileo's 'Discorsi', *Studies in History and Philosophy of Science*. 20 (4) (1989), 453-468.
- REID, D. The Role of Pictures in Learning Biology: Part 1, Perception and Observation *Journal of Biological Education*, 24 (3), 1990.
- SAYEG, M. (1997). *Real, Virtual, Simbólico, Imaginário - Uma Interpretação*. <http://sites.uol.com.br/cyborg/screwdrv.htm>. Acessado em 29 de abril de 2001.
- SEARLE, J. *The Construction of Social Reality*. New York: Free Press, 1995.
- SEGRE, M. The Role of Experiment in Galileo's Physics, *Archives of History of Exact Science*. 23 (3) (1980/81), 227-252.
- SETTLE, T. Galileo and Early Experimentation. In: R. Aris, H. Davis, e R. Stuewer (eds) *Springs of Scientific Creativity: Essays on Founders of Modern Science*, pp. 3-20. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1983.
- SHEA, W. Galileo and the Justification of Experiments, in *Historical and Philosophical Dimensions of Logic, Methodology and Philosophy of Science IV* (Dordrecht, 1977), 81-92.
- SHEA, W. *Galileo's Intellectual Revolution. Middle Period, 1610-1632*. New York, Science History Publications, 1977.
- SOLAZ-PORTOLÉS, J Diagramas: Ilustraciones Eficaces en la Instrucción en Ciencias? *Educación Química*, julio 1996, 7 (3), pp. 145 - 149.
- TORRES, S. Mathematics, Engineering and Instruments in the Work of Galileo, *Teorema* 13 (1-2) (1983), 93-107.
- WHITE, R. & TISHER, R. Research on Natural Sciences In: Wittorck, M.C. (ed.) *Handbook of Research on Teaching*. New York: McMillan Publishing Company, 1986, pp. 874-905.
- WISAN, W. Galileo and the Emergence of a New Scientific Style. *Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science I*. Boston: Dordrecht, 1981, 311-339.

WISAN, W. Galileo and the Process of Scientific Creation, *Isis* 75 (277) (1984), 269-286.

### **Livros Didáticos**

ALVARENGA, B. & MÁXIMO, A. *Curso de Física – vol. 1*. São Paulo: Ed. Scipione, 2000.

PENTEADO, P. *Física: Conceitos e Aplicações – vol 1*. São Paulo: Ed. Moderna, 1998.

RAMALHO JR, F., FERRARO, N. & SOARES, P. *Os Fundamentos da Física – vol. 1*. São Paulo: Editora Moderna, 1999.