

Universidade Estadual de Campinas

Faculdade de Educação

**DISCURSOS ESCOLARES SOBRE GRAVITAÇÃO NEWTONIANA
TEXTOS E IMAGENS NA FÍSICA DO ENSINO MÉDIO**

TESE DE DOUTORADO

HENRIQUE CÉSAR DA SILVA

**CAMPINAS
2002**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
TESE DE DOUTORADO

**DISCURSOS ESCOLARES SOBRE GRAVITAÇÃO NEWTONIANA:
TEXTOS E IMAGENS NA FÍSICA DO ENSINO MÉDIO**

Henrique César da Silva

Orientadora: Profa. Dra. Maria José P. M. de Almeida

**Este exemplar corresponde à redação final da
tese defendida por Henrique César da Silva e
aprovada pela Comissão Julgadora.**

Data: ___/___/___

Assinatura:

Comissão Julgadora:

—

—

—

—

-

-

2002

**CATALOGAÇÃO NA FONTE ELABORADA PELA BIBLIOTECA
DA FACULDADE DE EDUCAÇÃO/ UNICAMP**

Bibliotecário: Gilденir Carolino Santos - CRB-8ª/5447

Si38d
física

Silva, Henrique César da.
Discursos escolares sobre gravitação newtoniana : textos e imagens na
do ensino médio / Henrique César da Silva. – Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador : Maria José Pereira Monteiro de Almeida.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Educação.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Discursos, alocações, etc. 3. Textos.
4. Imagens. 5. Gravitação. I. Almeida, Maria José Monteiro de II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.

02-007-BFE

Para Simone.

Para Bia.

Agradecimentos

Já há muitos anos o gepCE vem intensamente desenvolvendo reflexões em torno das relações entre linguagem e ensino da ciência. Quando procurei a professora Maria José, em 1990, para fazer uma iniciação científica, então aluno da licenciatura e já professor de física no nível médio, procurava uma perspectiva de reflexão sobre o ensino que se aproximasse de minhas ideologias. Encontrei muito mais. Descobri que podia aliar leitura e ensino da física. De professora a orientadora de iniciação científica, de mestrado e de doutorado, somaram-se anos de uma interlocução que é parte fundamental deste trabalho. Interlocução que produziu, deslocou, reafirmou, modificou sentidos, mas principalmente valores. Interlocução que só pôde ser estabelecida por uma perspectiva de formação que tem proporcionado inúmeras oportunidades aos seus orientandos de participar ativamente das atividades desenvolvidas pelo grupo. Interlocução que se deu também no espaço da amizade. Este trabalho resulta do esforço para constituir minha concepção de ensino a partir, principalmente, das reflexões e idéias que circularam no gepCE, e, ao mesmo tempo, do esforço no sentido de contribuir para a perspectiva da reflexão deste grupo. Se consegui o segundo intento, não sei. Mas estou bastante satisfeito com o primeiro. Para Zezinha, pela orientação, pela dedicação em criar as melhores condições possíveis de trabalho para nós, orientandos, pela esperança e confiança que deposita em nosso trabalho, pela amizade, meu agradecimento não tem palavras.

Aos membros do gepCE, todos, de um modo ou de outro, também partes desta interlocução: César, Pedro, Pedroso, Paulo, Michinel, Benigno, Suzani, Ronaldo, Salete, Odisséa, João, Edu, Cristina. Aos professores André Assis e Lucy Banks pela leitura atenta do projeto de qualificação, pelas valiosas críticas e sugestões.

Agradeço especialmente aos professores das escolas em que realizei a pesquisa por terem-me aberto as portas de suas classes e me permitido interagir com seus alunos.

Aos funcionários da Faculdade de Educação da Unicamp.

Ao amigo Érico pela revisão do resumo em inglês. E à Augusta pela revisão do texto.

Ao CNPq pelo apoio na forma de bolsa.

À Simone, pelos diálogos, leituras, pelo incentivo, pela paciência. E aos meus pais, e aos meus sogros, por tudo.

Resumo

Para a Análise de Discurso (Eni Orlandi; Michel Pêcheux) os sentidos são produzidos em determinadas condições de produção que incluem a situação imediata e o contexto histórico-social mais amplo. Sentidos são produzidos em relação a outros sentidos, o que pressupõe uma memória discursiva, uma interdiscursividade. Os discursos em sala de aula são a instância privilegiada em que se produzem os saberes explícitos e *implícitos* que compõem a cultura escolar. Segundo Alice Lopes, o conhecimento escolar é constituído tanto em relação com o conhecimento científico quanto em relação ao conhecimento comum.

Com base neste referencial teórico, analiso como e que sentidos foram produzidos na leitura de imagens e textos escritos que funcionaram em situações de ensino, aulas de física no nível médio, que compuseram uma unidade sobre gravitação newtoniana. Estas aulas tiveram como finalidades o estabelecimento de aproximações dos estudantes com múltiplos aspectos da cultura científica, e contribuir para a formação de leitores. Elas tiveram duas características predominantes: a abertura e a valorização do espaço a verbalizações orais e escritas dos estudantes e o estabelecimento de conexões com o contexto científico-tecnológico atual. Mediadas por textos e imagens, estas características resultaram em grande envolvimento e interesse pela disciplina física por parte dos estudantes, tornaram suas vozes constitutivas do conhecimento escolar, contribuíram para fazer funcionar um discurso pedagógico polêmico em que foram produzidos sentidos sobre a produção científica e sobre o mundo natural. Esta produção, tensionando aspecto de uma memória escolar, foi marcada por tensões e deslocamentos entre o conhecimento cotidiano e o científico. Aponto aspectos dessa tensão quando se produzem sentidos sobre a gravitação newtoniana no contexto cultural científico-tecnológico em que vivemos.

Abstract

According to the French approach to Discourse Analysis (Eni Orlandi; Michel Pêcheux), meanings are produced in certain conditions which include an immediate situation and a broader historical and social context. Meanings are developed in relationship to other meanings, that is, a discursive memory is presupposed. The discourses that take place in the classrooms are a privileged environment where are produced the explicit and *implicit* meanings and knowledges that constitute school culture. According to Alice Lopes, school knowledge is developed in relation both to scientific knowledge and to common sense.

Based on this theoretical approach, I analyze how and which meanings are created by the images and texts readings while high school physics classes on Newtonian Gravitation were in progress. These set of classes were intended to establish approximations between the students and some aspects of the scientific culture, and to contribute to the formation of readers. The classes had two main characteristics: the valorization of students' oral and written verbalizations and the establishment of connections with the present day technological-scientific context. Mediated by written texts and images, these aspects resulted in the students' greater interest and involvement in the physics subject, having an active role on the establishment of school knowledge, contributing to make a polemic pedagogic discourse functioning and in which were produced a meanings about the scientific production and about the natural world. The process was characterized by dislocations and tensions between common and scientific knowledge and some aspects of the school memory. I bring forward features of these tensions related to the production of meanings about the Newtonian Gravitation in the cultural and technological-scientific context in which we live.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. A GRAVITAÇÃO NEWTONIANA	7
1.1. A GRAVITAÇÃO NEWTONIANA NO CONTEXTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO ATUAL	7
1.2. GRAVITAÇÃO NEWTONIANA E ESCOLA: RECURSOS E PESQUISAS	30
2. DISCURSO E CONHECIMENTO ESCOLAR	39
2.1 CIÊNCIA, DISCURSO E SALA DE AULA: PESQUISAS EM ENSINO DA CIÊNCIA	39
2.2. DISCURSO E CONHECIMENTO ESCOLAR	60
2.3. DISCURSOS PELAS IMAGENS	77
2.4. DISCURSOS PELOS TEXTOS	90
3. PROCEDIMENTOS DE PESQUISA	99
3.1. PROCEDIMENTOS GERAIS DE COLETA DE INFORMAÇÕES	99
3.2. A ORGANIZAÇÃO DA UNIDADE DE ENSINO	101
4. OS SENTIDOS PELAS IMAGENS	121
4.1. ASPECTOS GERAIS DO FUNCIONAMENTOS DE IMAGENS	121
4.2. SENTIDOS PRODUZIDOS NA RELAÇÃO DAS IMAGENS COM O DISCURSO DO PROFESSOR	123
4.3. SENTIDOS PRODUZIDOS NA MEDIAÇÃO DE UM FILME DE FICÇÃO	134
5. OS SENTIDOS PELOS TEXTOS E OS SENTIDOS DA LEITURA	139
5.1. A FORMULAÇÃO DE QUESTÕES	139
5.2. O FUNCIONAMENTO DE TEXTOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PUBLICADOS EM JORNAIS	154
5.3. SENTIDOS DA SÍNTESE NEWTONIANA PELA LEITURA DE UM TEXTO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA	163
CONSIDERAÇÕES FINAIS	187
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195
REFERÊNCIAS DAS IMAGENS	203
BIBLIOGRAFIA DA UNIDADE DE ENSINO	205
ANEXOS	209

INTRODUÇÃO

Este trabalho buscou compreender que sentidos foram produzidos em uma unidade de ensino sobre gravitação newtoniana, desenvolvida em aulas de física no nível médio, e como esses sentidos foram produzidos.

É preciso, antes de tudo, justificar a escolha desse tema, a *gravitação newtoniana*, o que não se separa dos pressupostos teóricos sobre linguagem e processos de produção de sentidos, e de uma concepção de escola e de ensino da física.

Apesar de sua relevância social, cultural e histórica, de sua relação com desenvolvimentos tecnológicos, como as tecnologias espaciais, que fazem parte do funcionamento da nossa sociedade, a gravitação não vem sendo trabalhada no ensino médio, o que descaracteriza a própria mecânica newtoniana, uma vez que este assunto constitui quase um terço do currículo de física nesse nível de ensino.

Se a ausência da gravitação newtoniana na escola já é em si problemática, a ênfase nos resultados do conhecimento científico que tem caracterizado as abordagens dos conteúdos de ciência, configura outro silenciamento na cultura escolar, o que apaga as condições de produção do conhecimento científico. Como coloca Almeida (1998),

“O problema (...) está no que é amplamente divulgado e no que é omitido. Parece haver a suposição tácita de que condições e métodos interessam apenas aos cientistas, e, desse modo, o discurso científico, que chega à maioria da população, na escola, nos meios de comunicação de massa, é constituído apenas de resultados, um produto acabado e pronto para ser consumido. Sem as condições em que foi produzido, o dizer da ciência perde a historicidade; sem processos de construção visíveis, torna-se absoluto e difícil de ser internalizado. Dessa forma, destina-se a poucos.” (p. 57)

A produção da ciência e da tecnologia faz parte da produção da sociedade, de suas contradições, diferenças, heterogeneidades, de modo que ela intervém e participa da constituição da nossa cotidianidade, das condições materiais e simbólicas em que vivemos.

Grande parte dos artefatos tecnológicos com os quais lidamos direta ou indiretamente em nosso cotidiano estão relacionados a produções científicas desenvolvidas no século XX, tais como, lasers, semicondutores, dezenas de artefatos que envolvem radiações nucleares, para ficar apenas em exemplos no âmbito da física. Mas há também todo um conjunto de artefatos e tecnologias representados como ícones da nossa época, a “era espacial”, que estão relacionados com a gravitação universal de Newton, uma teoria desenvolvida há mais de 300 anos.

A teoria newtoniana da gravitação representa uma síntese epistemológica e ontológica entre o mundo celeste (cósmico) e o mundo terrestre. Este talvez seja seu maior legado cultural. Representações do homem, da Terra, do céu, do cosmos estão e estiveram, de diferentes modos e em diversas culturas, intimamente relacionadas, configurando espaços de significações que se constituem reciprocamente. Assim é entre os povos indígenas como os Guarani Mbyá, analisados por Borges (2000); assim foi no mundo grego antigo e na Europa medieval, assim é nos dias de hoje. A síntese entre o céu e a Terra na gravitação newtoniana é parte implícita de uma teoria sobre o movimento dos corpos em geral, corpos abstratos, ontologicamente igualados, movendo-se num espaço também abstrato, matemático, geométrico.

A relação do homem com o espaço cósmico sempre esteve intrinsecamente ligada com a produção de um imaginário político, ideológico, relacionado às condições materiais de produção das sociedades e das formações sociais correspondentes. O homem sempre imaginou e representou o céu para além do visível. No entanto, após o uso do telescópio por Galileu no século XVII, esta visibilidade se altera materialmente. Alteram-se as imagens que temos do céu enquanto imagens da realidade.

No século XX, particularmente após a década de 50 com a entrada na chamada era espacial, essa relação é ainda mais profundamente modificada. Alguns homens vão literalmente para o céu, passeiam e moram no espaço, pisaram na Lua, produzem imagens “reais” da Terra e de uma grande variedade de objetos e eventos jamais visualizados a olho nu. A mídia, o cinema, a TV, jornais, revistas, livros, outdoors e a internet, encarregam-se de difundir essas imagens, torná-las familiares e tornar cotidianamente “real” situações que jamais presenciamos fisicamente. Como levar em conta este contexto histórico atual na

produção de sentidos em sala de aula? Quando aspectos do contexto científico-tecnológico são levados em consideração na constituição de uma abordagem de ensino, como e que sentidos são produzidos?

As significações aqui analisadas foram produzidas em aulas que compuseram uma unidade de ensino sobre gravitação newtoniana. Estas aulas configuraram uma abordagem caracterizada por três aspectos intimamente relacionados entre si: a abertura de espaço à voz, à participação dos estudantes; o estabelecimento de conexões com o contexto cultural científico-tecnológico atual; e a leitura de textos e imagens tomada como objetivo e lugar de ensino e de aprendizagem e não apenas como instrumento de algo que ocorre fora, em outro lugar, paralelamente.

Compreender que sentidos se produzem e como eles são produzidos implica em constituir um modo de leitura, ou seja, demanda um determinado dispositivo teórico e analítico de interpretação.

A sala de aula é um espaço onde se produzem/reproduzem determinados sentidos, ocultam-se e apagam-se outros sentidos, com a utilização de determinados recursos, envolvidos em determinadas práticas. Como coloca Machado (1999), “a organização das abordagens que faremos para os conteúdos é também uma outra forma de limitar e possibilitar que determinados sentidos circulem na sala de aula” (p. 161). No entanto, a organização das abordagens se dá num espaço institucional material e ideologicamente já organizado. O contexto escolar possui sua história e isso deve ser levado em consideração na organização das abordagens, como sendo constitutivo da produção dos sentidos. As práticas escolares que envolvem o uso de determinados recursos na produção de determinados sentidos possuem suas próprias memórias, que podem (e precisam) não apenas serem pressupostas como também trabalhadas, senão transformadas.

Está na base desta pesquisa a preocupação com o fato do papel da escola não se restringir à divulgação de conhecimentos científicos, mas incluir, concomitantemente, a interferência na natureza dos conhecimentos que são divulgados e na própria forma como esses conhecimentos circulam e são lidos em nosso cotidiano. A mediação pedagógica, em especial a do professor, é fundamental nesse processo.

Assumo um ponto de vista teórico, a linha francesa da Análise de Discurso, como explicitada principalmente por Michel Pêcheux e Eni Orlandi, segundo o qual os sentidos não emanam das coisas ou dos sujeitos, ou da relação direta entre eles, mas possuem uma história. Sentidos são (re)produzidos pela inscrição dos sujeitos num processo em curso, para serem sujeitos do que dizem; um processo que já determina um certo modo de relação (ideológica) entre os sujeitos e as coisas, e dos sujeitos entre si. Todo sentido tem sua história, ou seja, sentidos são produzidos a partir de outros sentidos. Como coloca Maingueneau (1997), “um discurso não nasce, como geralmente é pretendido, de algum retorno às próprias coisas, ao bom senso, etc., mas de um trabalho sobre outros discursos” (p. 120).

É nesta perspectiva que a linguagem pode ser considerada como trabalho, mediação, relação constitutiva, ação que transforma. “A linguagem, assim, não é vista apenas como suporte de pensamento, nem somente como instrumento de comunicação” (Orlandi, 1993, p. 17).

Os sentidos produzidos na escola fazem parte de um processo mais amplo implicado na produção/reprodução, seleção/distribuição de bens simbólicos. A escola não produz sentidos a partir de si mesma, e nem os sentidos produzidos fora da escola podem ser totalmente desconectados do funcionamento dessa instituição. Daí a importância de compreendermos os modos como a escola participa da construção/disseminação/produção das formas simbólicas que mediam nossa relação com a realidade, em outras palavras, de compreendermos seus funcionamentos discursivos. Isto, por sua vez, implica levar em consideração tanto o contexto histórico-cultural mais amplo quanto o contexto institucional e as situações imediatas de sala de aula, já que estes dois contextos possuem relações fundamentais na constituição da nossa formação social.

As representações sobre o céu, o mundo cósmico são hoje forjadas numa cotidianidade marcada pela interferência da mídia e da divulgação científica. Considerar o contexto histórico-cultural atual significa relacionar o discurso escolar com estes discursos cotidianos que mediam a relação das pessoas com o espaço cósmico, principalmente através de imagens materiais, fotos, vídeos, documentários, filmes, TV, outdoors, revistas, jornais.

A cotidianidade, como explicitada por Lopes (1999)¹, “um mundo de familiaridade e ações banais” (p. 139), de espontaneidades características de nossas ações diárias, é a nossa fonte primeira de sentidos. Ela nos dá a sensação (ideológica) de vivermos num mundo semanticamente normal, “natural”. Excluir a cotidianidade das salas de aula, significa minimizar as possibilidades de participação efetiva dos estudantes na significação, limitar (às vezes, interditar) suas possibilidades de interpretação.

A cotidianidade da nossa relação com o mundo é mediada pelo discurso/conhecimento comum. No entanto, a ciência participa da construção histórica dessa cotidianidade, não como ciência propriamente dita, mas como parte daquilo que para nós é “natural” no mundo. Estabelecemos uma relação cotidiana com determinados objetos, artefatos, equipamentos, palavras, idéias científicas. Em outras palavras, o campo de fenômenos, ou seja, a realidade que constitui nosso cotidiano é mediada pela produção científico-tecnológica. Nosso “real” comum, primeiro, natural, imediato, “concreto”, já é também produzido pela intervenção direta ou indireta da ciência e da tecnologia.

Trazer esta cotidianidade para a sala de aula possibilita não apenas ampliar as possibilidades de participação dos estudantes por ser o lugar de onde eles podem falar, por terem o que falar, como também configurar uma abordagem da ciência no mundo.

Esta problemática permite configurar diversas questões. Como é aprender sobre gravitação newtoniana, uma teoria construída há trezentos anos atrás, num contexto cultural, científico-tecnológico marcado pela era espacial, que media determinadas formas de relação entre os sujeitos e a realidade, particularmente entre os sujeitos e o espaço cósmico? Como são produzidas significações sobre a gravitação em aulas de física quando aspectos do cotidiano cultural dos alunos associados a questões atuais do espaço cósmico mediam as atividades e interações em sala de aula? Qual o papel de mediações escolares, como textos e imagens, na canalização dessas influências culturais mais amplas, no caso, relacionadas com o contexto científico-tecnológico atual das pesquisas e tecnologias espaciais?

¹ A noção de cotidianidade trabalhada por Lopes (1999) está pautada em HELLER, Agnes. *Cotidiano e história*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1989; e HELLER, Agnes. *Sociología de la vida cotidiana*. Barcelona: Península, 1991.

O foco de minhas análises recai na mediação de textos escritos e imagens. E aqui também, as justificativas dessa escolha repousam em concepções de linguagem, discurso, escola, ensino e aprendizagem.

Textos e imagens são formas materiais que, destinadas a produzir efeitos simbólicos, constituem, de modo heterogêneo e desigual, nossa cotidianidade. As condições de produção dos discursos não prescindem das materialidades de seus suportes textuais. Pensando ser função da escola não apenas socializar o conhecimento científico mas também formar o conhecimento e as práticas cotidianas e considerando que a leitura de textos e imagens constitui um elemento importante desse conjunto de práticas, focalizo estes objetos nas análises que compõem esta pesquisa. Estes objetos mediam nossa relação com a produção científico-tecnológica. Os estudantes já possuem uma relação com eles anterior à escola e fora dela. Tal relação se dá muito mais em termos de imagens do que com os textos escritos. Focalizo texto e imagens nesta pesquisa por considerar que cabe à escola intervir na construção da história dessa relação.

Assim, este trabalho tem como objetivo central descrever e compreender o funcionamento discursivo de textos escritos e imagens, em aulas de física que compõem uma unidade de ensino sobre gravitação newtoniana. Entre outras significações, procurei interpretar aquelas em torno da síntese newtoniana, das relações céu/terra, visando responder a seguinte questão:

Que leituras são feitas em aulas de física com uma temática abrangente envolvendo a gravitação newtoniana, quando a proposta de ensino inclui principalmente imagens e textos escritos?

1. A GRAVITAÇÃO NEWTONIANA

“A nova física não nasce apenas à superfície da Terra: nasce também nos céus. E é nos céus também que ela se realiza.”

Alexandre Koyré

1.1. A gravitação newtoniana no contexto científico-tecnológico atual

A teoria da gravitação newtoniana foi publicada nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*¹, mais conhecido como os *Principia* de Isaac Newton, em 1687. Esta obra é composta por três volumes. No Livro I há um estudo geral do movimento dos corpos, tratados como massas puntiformes em movimento sob a ação de forças centrais. É neste livro que Newton demonstra matematicamente que as leis empíricas do movimento dos planetas em torno do Sol, formuladas por Kepler, podem ser deduzidas a partir da hipótese de uma força atrativa que varia com o inverso do quadrado da distância. Neste livro também estão formuladas as três leis do movimento dos corpos. No Livro II Newton estuda o movimento dos fluidos e dos corpos em meios resistentes. E é no Livro III que Newton introduz sua concepção de gravitação.

Esta obra forma um todo. Um de seus pontos fundamentais está no fato de que ela culmina a ruptura com a física e a cosmologia aristotélicas, gradativamente forjada ao longo da Idade Média, tendo seu ponto alto com Copérnico, Giordano Bruno, Kepler e Galileu.

¹ Newton, Isaac. *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Berkeley: University of California, 1934. No Brasil existe a tradução apenas do volume 1: Newton, Isaac. *Principia – Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, vol. 1. São Paulo: Nova Stella; Edusp, 1990. Trechos dessa obra, incluindo o vol. 3, podem ser encontrados, em inglês, no site: <http://members.tripod.com/~gravitee/>.

Em Aristóteles temos uma ordem cósmica hierárquica, um cosmos subdividido em duas partes: no centro, a Terra, o mundo terrestre estendido até a órbita da Lua; da Lua em diante, concentricamente, as esferas celestes de cristais, onde estariam os planetas² e, por último, a esfera das estrelas consideradas fixas, compondo o mundo celeste. Um cosmos, dois mundos. No mundo terrestre, ou sublunar, tudo seria composto por quatro elementos: terra, ar, água, fogo. Neste mundo as coisas nascem e morrem, perecem, se transformam, se corrompem. No mundo celeste, ou supralunar, tudo seria composto por um quinto elemento incorruptível, inalterável, eterno: o éter. Estes mundos e seus corpos, diferenciados em qualidades, possuiriam naturezas diferentes. A essas diferentes naturezas e qualidades corresponderiam diferentes movimentos, que também deveriam ser estudados de maneira diferente. A abstração matemática, mais precisamente, a geometria, se aplicaria ao estudo dos movimentos dos corpos celestes, mas não ao dos corpos terrestres.

Na teoria dos movimentos de Aristóteles há uma distinção entre movimentos violentos e movimentos naturais. Esta distinção enquadra-se numa concepção geral que possui, segundo Koyré (1986), dois pilares: a crença na existência de “naturezas” bem determinadas, e a crença na existência de um cosmos, “isto é, a crença na existência de princípios de ordem em virtude dos quais o conjunto dos seres reais forma um todo (naturalmente) bem ordenado.” (idem, p. 22). Isso implica que cada coisa está no universo num lugar próprio segundo a sua natureza, um “lugar natural”. Apenas por violência se pode fazer as coisas mudarem de seu lugar natural. A queda de um objeto, portanto, é compreendida como um movimento natural, pois o lugar natural dos objetos (“terrestres”) é o centro do universo, a Terra. Desta forma se explicaria também o repouso natural da Terra no centro do mundo. O

² A palavra planeta não tem aqui o sentido moderno. “Planeta”, de origem grega, significava estrela errante. Este termo distinguia entre os objetos celestes visíveis a olho nu, aqueles considerados fixos, que não possuem aparentemente movimentos relativos entre si, movendo-se em conjunto como que incrustados numa grande esfera invisível, daqueles outros corpos brilhantes (entre eles o Sol e a Lua), os quais poderiam ser acompanhados em movimentos em relação ao fundo de estrelas fixas. Entre estes corpos estavam os cinco conhecidos atualmente como planetas: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter, Saturno. Entre os movimentos destes cinco planetas, os únicos visíveis a olho nu, estava um movimento cíclico de período longo em relação ao fundo das estrelas fixas, interpretado como sendo o movimento completo do planeta em torno da Terra. Os

movimento natural é sempre passageiro pois pára quando atinge seu fim, o lugar natural do objeto.

“Se se trata de um movimento ‘natural’, essa causa, esse motor é a própria natureza do corpo, a sua forma, que procura reconduzi-lo ao seu lugar; é ela que conserva o movimento.” (idem, p. 26)

Nesta dinâmica, a noção de vazio é fundamental. Aristóteles nega a existência do vazio. No vazio não é possível haver movimento. Os movimentos violentos no vazio não teriam um motor que os mantivesse por algum tempo³.

Já os corpos celestes possuem outra natureza, ocupam outro mundo, e possuem outros movimentos. O movimento natural dos corpos celestes é sempre perfeitamente circular e em torno da Terra. Temos, portanto, uma Terra parada, de onde se vê um conjunto de corpos diferenciados dos corpos terrestres descreverem seus diferenciados movimentos no céu. O cosmos aristotélico, além de ordenado hierarquicamente, é fechado e finito.

Em Copérnico temos uma Terra em movimento, um universo maior (infinito e infinitamente povoado para G. Bruno, grande defensor do heliocentrismo), mas ainda uma teoria aristotélica do movimento, o que deixava grande parte dos argumentos de Copérnico bastante confusos e vulneráveis diante da coerência do aristotelismo. Em Kepler temos leis matemáticas empíricas dos movimentos dos planetas, contrariando pressupostos básicos da metodologia aristotélica, rompendo com o dogma platônico-aristotélico dos movimentos celestes circulares. Em Galileu temos a matematização dos movimentos próximos à superfície da Terra, a ruptura com o conceito de movimento aristotélico, o início da geometrização do espaço (Koyré, 1986). Mas é em Newton que temos a grande síntese: o abandono do cosmos, a geometrização do espaço (Koyré, 1968). Uma teoria que coloca os corpos celestes e os corpos terrestres definitivamente no mesmo patamar ontológico, ou seja, corpos que

planetas eram dispostos em distância em relação à Terra segundo a ordem crescente respectiva de seus períodos. Assim, Mercúrio, o mais rápido, era o mais próximo, e Saturno, o mais lento, era o mais distante.

possuem a mesma natureza, e cujos movimentos são regidos pelas mesmas leis. A mecânica newtoniana é simultaneamente uma mecânica terrestre e uma mecânica celeste.

Newton demonstra que a força responsável pelo movimento acelerado da queda dos corpos na superfície da Terra (estudado por Galileu), a força responsável pelo movimento orbital da Lua em torno da Terra e as forças responsáveis pelos movimentos orbitais dos planetas em torno do Sol, dos cometas e das Luas em torno de Júpiter são da mesma natureza, ou seja, são forças gravitacionais.

Antes de Newton, o sentido da palavra “gravidade” estava relacionado apenas ao movimento de queda dos objetos próximos à superfície terrestre. Até certo ponto, este sentido faz parte da nossa linguagem cotidiana. Coisas pesadas, graves, caem; coisas leves flutuam. Newton modificou esse sentido, estendendo a gravidade para todo o Universo.

A Teoria da Gravitação Universal: dedução e aplicação a alguns fenômenos⁴

A teoria da gravitação de Newton diz que dois objetos quaisquer se atraem mutuamente. Quanto maiores suas massas, maior a intensidade dessa força, e quanto maior a distância entre eles, menor essa intensidade. Essa força de atração não depende de qualquer mediação, contato, ou da existência de um meio entre eles. Ela se dá à distância.

É preciso, antes de tudo, lembrar que o Universo conhecido na época de Newton compreendia apenas o sistema solar⁵ envolvido, a uma enorme distância, pelas estrelas fixas. É dentro deste contexto que Newton produz sua teoria da Gravitação Universal.

A formulação desta teoria é bastante complexa⁶. Segundo Martins (1989), ela não é resultado de “um passo natural e quase obrigatório a partir do desenvolvimento das leis da

³ Para maiores detalhes reporto o leitor a Koyré (1986).

⁴ Na síntese da dedução da Lei da Gravitação Universal por Newton apresentada aqui pautei-me essencialmente em French (1989).

⁵ A Lua, o Sol, os cinco planetas visíveis a olho nu, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, e a Terra, os satélites naturais de Júpiter e Saturno, e alguns cometas, e é claro, as estrelas chamadas *fixas*.

⁶ Omiti a dedução formal da lei que pode ser encontrada em livros como Nussenzweig, Moisés. *Curso de Física Básica*, vol. 1 - Mecânica. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. O que interessa aqui são alguns aspectos do raciocínio de Newton contidos nessa dedução.

mecânica e sua aplicação ao estudo dos movimentos astronômicos” (p. 151). Huygens, por exemplo, grande cientista contemporâneo de Newton, aceitava a dinâmica newtoniana, explicitada no livro I dos *Principia*, mas rejeitava veementemente a gravitação, apresentada no livro III dessa obra. Rejeição que Martins (1989) relaciona a uma diferença fundamentalmente metodológica entre Huygens e Newton. Suas “regras metodológicas” impediram Huygens de aceitar a idéia da ação à distância. Para este, não se deveria universalizar os resultados que a experiência corroborou apenas em casos limitados e não se deveria edificar uma teoria que se baseasse em propriedades e leis que não pudessem ser explicáveis mecanicamente. Assim, segundo Huygens, a existência de uma força entre os planetas e o Sol, com determinadas características, não podia ser generalizada para *todos* os corpos.

É interessante notar que o movimento dos planetas era um dos problemas científicos fundamentais na época de Newton. A teoria da força centrípeta já havia sido estabelecida por Christian Huygens. E tanto Robert Hooke, quanto Christopher Wren, também contemporâneos de Newton, já tinham conseguido estabelecer que os planetas se movem sob a ação de uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles e o Sol (Moreno, 1988). No entanto, foi Newton quem demonstrou que essa força é a gravidade. Os trabalhos experimentais de Huygens que tratavam da gravidade, termo que ele identificava com peso, mesmo após sua leitura da teoria da gravitação de Newton, permaneciam na discussão da gravidade terrestre, não tratavam da dinâmica do sistema solar (Martins, 1989).

A existência de uma força que atuasse a distância, sem qualquer mediação ou forma de contato, era difícil de ser aceita na época. No final do século XVII predominava entre os filósofos naturais a concepção mecanicista cartesiana, a “qual havia dominado as mentes científicas diante da ruína da cosmologia aristotélica” (Barra, 1993, p. 86), e na qual espaço e matéria eram identificados, tornando impensável a idéia do vácuo na interação entre os corpos. Os corpos só poderiam interagir mediante contato direto entre eles ou através de uma matéria sutil formada por corpúsculos que preenchiam todo o espaço.

Procurando responder a essas polêmicas, Newton acrescenta à segunda edição dos *Principia*, no Livro III, em 1713, suas *Regras para Raciocinar em Filosofia*, justificando metodologicamente o fato de todas essas forças serem da mesma natureza, ou seja, gravitacionais. Essas regras fornecem uma justificativa lógica para se passar da identidade formal para a identidade ontológica entre elas.

Essas Regras de Raciocínio podem ser apresentadas da seguinte forma:

1. “A natureza não faz nada... em vão, e nada é mais vão do que aquilo que para nada serve.” A natureza é essencialmente simples; por isso, não se deverão introduzir mais hipóteses do que as necessárias e suficientes para explicar os factos observados. Esta fé fundamental para todos os cientistas assemelha-se a uma paráfrase de Galileu: “A natureza não usa muitas coisas para fazer aquilo que pode ser feito com poucas.” Galileu, por sua vez, estava a recordar uma opinião de Aristóteles. Assim, a fé na simplicidade tem uma longa história.
2. “Conseqüentemente, para os mesmos efeitos naturais devemos, tanto quanto possível, atribuir as mesmas causas. Como a respiração para o homem e para um animal; a queda de pedras na Europa e na América;... a reflexão da luz na Terra e nos planetas.”
3. As propriedades comuns a todos aqueles corpos que podem ser objecto de nossas experiências devem ser atribuídas (até prova em contrário) a todos os corpos em geral. Por exemplo, uma vez que todos os objectos conhecidos dos experimentadores têm massa, esta regra guiaria Newton na proposição de que todos os corpos têm massa (mesmo aqueles que estão fora do nosso alcance, na região celeste).
4. Na “filosofia experimental”, hipóteses ou generalizações baseadas na experiência devem ser aceites como “correctamente ou muito aproximadamente verdadeiras, não obstante quaisquer outras hipóteses contrárias que possam ser imaginadas.” Devemos aceitar tais hipóteses até que surja evidência adicional pela qual possam ser tornadas ainda mais precisas ou revistas.” (Projecto Física, 1978, p. 96-97)

Na mecânica newtoniana, se não houver forças agindo sobre um corpo (ou a soma vetorial delas for zero), este tenderá a permanecer com a mesma velocidade e em linha reta, tomando como referencial o espaço absoluto. Se o corpo estiver parado, assim permanecerá.

Mas se uma força agir sobre ele, este mudará sua velocidade em intensidade (podendo aumentá-la ou diminuí-la) e/ou em direção. Sob a ação de uma força central, agindo continuamente em todos os instantes, ele mudará de direção, de tal modo que sua trajetória será uma curva. É assim que se dão os movimentos circulares⁷. Newton então mostra que tanto os satélites de Júpiter quanto os de Saturno estão submetidos a uma força central voltada para o respectivo planeta e que a intensidade dessa força varia proporcionalmente ao inverso do quadrado da distância entre os satélites e o planeta. Além disso, ele mostra que a força que mantém os planetas em suas órbitas está voltada para o Sol e também varia com a distância do mesmo modo.

Esses resultados podem ser derivados das leis de movimento de Newton juntamente com as leis de Kepler e, de fato, outros físicos à época de Newton já os conheciam, pelo menos parcialmente, para o caso dos planetas.

Aqui há uma primeira generalização de Newton. As leis de Kepler foram formuladas apenas para as órbitas dos planetas em torno do Sol, mas Newton as utiliza para as órbitas dos satélites de Júpiter e de Saturno, e mais à frente em sua dedução, para a órbita da Lua.

Em seguida, Newton mostra que a Lua, girando ao redor da Terra, também está submetida a uma força central que é também inversamente proporcional ao quadrado da distância entre ela e a Terra. No entanto, Newton avança um passo a mais fundamental. Ele demonstra que essa força que mantém a Lua em sua órbita é a mesma que causa a aceleração dos corpos próximos à superfície da Terra, ou seja, a gravidade. Deste modo, a Lua pode ser considerada um corpo “em queda” como qualquer outro.

Na segunda parte da dedução, Newton mostra que esta força gravitacional é proporcional à massa dos corpos, ou seja, quanto maior a massa de cada um deles, maior a

⁷ O Projeto Física (1978), Unidade 2, apresenta uma dedução geométrica desse raciocínio. E Goodstein e Goodstein (1997) apresentam uma aula de Feynman em que ele demonstra, usando apenas geometria plana, a derivação da 1ª lei de Kepler a partir da teoria da gravitação de Newton.

intensidade da força. A aceleração centrípeta da Lua em torno da Terra e dos planetas em torno do Sol, tal qual a aceleração dos corpos em queda na superfície terrestre (como já havia demonstrado Galileu), não depende da massa desses corpos, mas apenas da massa do corpo central. Assim a força gravitacional vale para qualquer porção e quantidade de matéria, ou seja para todos os corpos ou pedaços dos corpos.

Como aponta Martins (1989), Newton quis levar tão longe quanto possível as conseqüências da gravitação, aplicando-a a todas as substâncias, a partículas de qualquer tamanho e a qualquer distância, posição metodologicamente justificada pelas suas Regras de Raciocínio em Filosofia, o que lhe possibilitou apresentar nos *Principia* uma quantidade enorme de resultados sem necessitar discutir a causa da gravitação, o seu mecanismo. Com apenas quatro leis, consideradas válidas para todo o Universo, Newton conseguiu explicar uma série de fenômenos⁸, como a queda dos corpos na superfície da Terra, as marés, a precessão do eixo de rotação da Terra, a forma arredondada da Terra e dos outros planetas, a forma achatada da Terra nos pólos, as pequenas variações nas órbitas dos planetas devido às atrações dos outros planetas, o movimento dos cometas, planetas e suas luas. De acordo com Newton, tudo seria causado pelo mesmo tipo de interação mútua (força) entre os corpos. Além disso, ele discute questões relacionadas com o tamanho e estrutura do Universo.

É preciso notar, neste sentido, que não é apenas a Lei da Gravitação que tem uma validade universal, mas as próprias leis do movimento. Trata-se de todo um sistema teórico fundado na idéia de interação mútua e à distância entre os corpos que poderia ser aplicado a todos os fenômenos no Universo.

Newton associa, assim, dois resultados importantes da Física que o precederam: a lei da queda dos corpos de Galileu e as leis de Kepler dos movimentos planetários. Embora tanto Galileu quanto Kepler, muito provavelmente, tivessem hipóteses sobre as causas desses

⁸ Alguns deles antes explicados de maneira equivocada, segundo a teoria newtoniana, (como o caso das marés por Galileu), outros utilizando princípios teóricos diferentes ou mais restritos (como o caso da explicação da variação do período do pêndulo conforme a latitude terrestre, por Huygens, pautada na teoria dos turbilhões de Descartes).

movimentos, que influenciaram seus trabalhos, essas leis nada dizem sobre as causas desses fenômenos⁹. A lei da queda dos corpos só podia ser aplicada aos objetos próximos à superfície terrestre e Newton a estende até a Lua. Quanto às leis de Kepler, como nota Einstein (1981), “não existe nenhuma relação entre a duração de percurso de um planeta ao redor do Sol e a de um satélite ao redor de seu planeta!” (p. 183). As leis de Newton, no entanto, fornecem a causa, única e exclusiva, de onde se derivam tanto as leis de Kepler quanto a de Galileu. É importante lembrar que nem todas as regras, ou leis, são iguais na Física, no entanto, as de Newton possuem um espantoso grau de generalização.

A gravitação, na teoria newtoniana, é uma força cujo alcance vai ao infinito. Sua intensidade vai diminuindo rapidamente, mas nunca chega a zero. Dependendo do fenômeno estudado, pode-se desprezar os efeitos gravitacionais devido à grande distância entre os corpos ou ao fato de terem massas muito pequenas, o que não quer dizer que não haja interação gravitacional entre eles. Assim, no sistema solar, todos os planetas se influenciam gravitacionalmente em suas órbitas. Isso significa que a gravidade da Terra também vai ao infinito, caindo rapidamente em intensidade. Ou seja, seus efeitos podem ser observados em distâncias muito maiores do que a altura da nossa atmosfera. Na visão de imagens de astronautas “flutuando” numa nave em órbita da Terra ou “caminhando” pelo espaço, é comum se imaginar que eles não estão sujeitos à gravidade terrestre. Mas se não estivessem, não poderiam estar em órbita, embora nessa altitude, a força da gravidade seja muitas vezes menor do que se o astronauta estivesse aqui no chão.

Outra característica da força gravitacional é o fato de sua intensidade ser muito fraca, quando comparada às outras forças consideradas pela física como fundamentais. Seus efeitos são mais facilmente perceptíveis na escala astronômica, onde a massa de pelo menos um dos corpos é muito grande, embora a Lei da Gravitação Universal se aplique a *qualquer* objeto

⁹ De fato, Kepler, por exemplo, já supunha uma espécie de força a distância entre o Sol e os planetas, responsável pelas suas órbitas. No entanto, na hipótese de Kepler, essa força seria tangencial à órbita do planeta e não perpendicular, como a força gravitacional de Newton.

que tenha massa. A experiência de medição da massa da Terra por Cavendish (1731-1810) é um exemplo importante de primeira medida da força gravitacional entre dois corpos comuns (duas bolas de metal numa balança de torção).

Ainda dentro dessa escala de distância, a aplicação da Lei da Gravitação Universal levou à descoberta de Netuno, através da detecção de perturbações na órbita de Urano, em 1846.

Em torno de 1862, o astrônomo William Herschel e seu filho descobriram que as estrelas não são “fixas”, observando diversos movimentos estelares, entre eles a existência de estrelas duplas, que orbitam uma em torno da outra, ligadas pela força gravitacional entre elas, como o caso das estrelas Sirius A e B (a primeira, visível a olho nu). Neste caso, temos a Lei da Gravitação Universal válida para distâncias maiores que a da ordem de grandeza do sistema solar.¹⁰

Embora a demonstração da Lei da Gravitação Universal e os fenômenos que Newton explica com base nela se dêem, no máximo, no contexto da escala de distâncias do sistema solar, a generalização contida na lei diz respeito a todo o Universo¹¹, para todo e qualquer corpo, toda e qualquer distância.

A gravitação, por um lado, sendo universal, no sentido de que é aplicada a todos os corpos do Universo, e por outro, sendo a interação fundamental na escala astronômica, proporcionou um novo quadro teórico para discussões cosmológicas, ou seja, sobre a natureza, estrutura e formação do Universo. Segundo Harrison (1986), o próprio Newton mudou sua concepção cosmológica após a formulação completa da gravitação universal. Inicialmente, ele considerava o espaço infinito e eterno, mas composto por matéria finita, ou

¹⁰ Sirius está a uma distância de aproximadamente 8,7 anos-luz da Terra.

¹¹ É preciso lembrar, desde já, que o Universo conhecido à época de Newton era bastante diferente do Universo conhecido atualmente.

seja, o mundo material tinha extensão finita, envolto por um volume infinito de espaço vazio¹². Mas, nos *Principia*, pode-se notar uma outra concepção de Universo:

“Este sistema maravilhoso do Sol, planetas e cometas, só poderia provir do conselho e domínio de um Ser inteligente e poderoso. E se as estrelas fixas são os centros de outros sistemas similares, estes, sendo formados por um conselho sábio semelhante, devem estar todos sujeitos ao Seu domínio; especialmente pela luz das estrelas fixas ser da mesma natureza que a luz do Sol e a partir de cada sistema a luz passa para todos os outros sistemas. E para evitar que os sistemas de estrelas fixas caíssem uns sobre os outros por suas gravidades, ele colocou estes sistemas a distâncias imensas uns dos outros.” (Principia, livro III, Escólio Geral, apud Assis, 1998, p. 89¹³)

E numa carta a Bentley, Newton observa:

“Relativo a sua primeira questão, parece a mim que se a matéria de nosso Sol e planetas e toda a matéria do universo fosse espalhada uniformemente por todo o céu e toda partícula tivesse uma gravidade inata em direção a todo o restante e todo espaço através do qual esta matéria tivesse espalhada fosse porém finito, então a matéria da parte externa deste espaço tenderia devido a sua gravidade em direção a toda matéria do interior e como consequência, cairia para o meio de todo o espaço lá compondo uma grande massa esférica. Mas, se a matéria fosse distribuída uniformemente por todo um espaço infinito, ela nunca poderia se juntar em uma massa, mas parte dela se juntaria em uma massa e outra parte em outra [massa], de tal forma a formar um número infinito de grandes massas, espalhadas a grande distância, umas das outras, por todo este espaço infinito. E assim poderiam ser formados o Sol e as estrelas fixas, supondo que a matéria fosse de uma natureza lúcida.” (Cohen, 1978, apud Assis, 1998, p. 90)

¹² Harrison (1986) ainda argumenta que é provável que Newton tenha calculado, com base na sua cosmologia, a idade do Universo, embora isso nunca tenha sido publicado.

¹³ Enquanto a primeira edição dos *Principia* sai em 1687, este Escólio Geral só foi introduzido por Newton na 2ª edição, de 1713.

Concepção de ciência e de natureza subjacentes à gravitação newtoniana

Newton rompe definitivamente com os conceitos, a visão de mundo e o projeto metodológico aristotélico, pautados na divisão do cosmos em duas partes distintas em todos os sentidos, ontológico, físico, dinâmico, filosófico: abaixo da esfera da órbita da Lua um mundo de imperfeição, nascimento, degradação e morte, de movimentos imperfeitos, de causas próprias; da esfera da órbita da Lua para acima, um mundo de objetos formas e movimentos perfeitamente circulares, de corpos constituídos por uma matéria diferente, eterna, imutável.

É na Lei da Gravitação Universal que Newton faz uma síntese unificando a “física terrestre” e a “física celeste”, ou seja, tanto os objetos na Terra quanto os corpos celestes, como os planetas, obedeceriam às mesmas leis de movimento; a força que mantém a Lua em órbita da Terra é a mesma que faz os objetos caírem no chão.

Esta generalização pressupõe que todos os corpos no Universo, todos os planetas, a Lua, o Sol sejam da mesma natureza no que tange aos seus movimentos. Não há mais, definitivamente, a distinção entre dois “mundos” ontológica e dinamicamente diferentes, como na filosofia e Física de Aristóteles, cujo pensamento praticamente dominava a Europa até pouco antes da época de Newton.

Newton fornece, assim, as bases para um novo projeto metodológico e uma nova concepção de Ciência e de natureza. Mostra que através de regras simples pode-se compreender e descrever o comportamento da natureza e que a base deste comportamento está na existência de corpos interagindo à distância através de forças centrais, como a gravidade, concepção teórica e metodológica presente em seu outro importante livro de Física, o *Óptica*, como demonstram os trechos a seguir:

“As atrações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade alcançam distâncias bem perceptíveis, e assim têm sido observadas pelos olhos comuns, podendo haver outras que alcançam distâncias tão pequenas que escaparam à observação até aqui; (...)
(...)”

E assim a natureza será muito conforme a si mesma e muito simples, executando todos os grandes movimentos dos corpos celestes pela atração da gravidade que atua sobre esses corpos, e quase todos os pequenos movimentos de suas partículas por alguns outros poderes atrativos e repulsivos que atuam sobre as partículas.” (Newton, 1996, apud Assis, 1998, p. 50)

Abrantes (1989) chama a esta concepção de “visão astronômica da Natureza”. Newton aplicava a fenômenos microscópicos o quadro “astronômico” que havia construído.

“Newton amplia a gama de fenômenos a serem explicados por forças agindo entre partículas, para compreender fenômenos elétricos, magnéticos, de capilaridade, a tensão superficial, a coesão dos corpos e diversos fenômenos químicos.” (Abrantes, 1989, p. 17)

A gravitação newtoniana proporcionou um quadro referencial teórico e metodológico para toda a Física até bem perto do final do século XIX. No livro **A evolução da física**, Einstein e Infeld (1988, p. 54) vão chamá-lo de *conceito mecânico*, “a crença de que é possível descrever todos os fenômenos naturais em termos de forças entre objetos inalteráveis”, trazendo uma citação de Helmholtz de meados do século XIX:

“Finalmente, portanto, descobrimos que o problema da ciência física material é referir os fenômenos naturais às forças atrativas e repulsivas imutáveis cuja intensidade depende inteiramente da distância. A solubilidade desse problema é a condição da completa compreensibilidade da natureza.” (Helmholtz, apud Einstein e Infeld, 1988, p. 54).

Einstein (1981), comentando sobre a influência da mecânica de Newton sobre a formação da Física teórica, vai chamar a atenção para o fato de que,

“Antes de Newton, não existe nenhum sistema completo de causalidade física capaz de perceber, mesmo de maneira comum, os fatos mais evidentes e mais repetidos do mundo da experiência.” (idem, p. 182)

O Universo atual: um novo campo de fenômenos para a gravitação

Teorias físicas do século XX certamente se afastam em muitos aspectos da mecânica newtoniana, possuindo epistemologias e filosofias diferentes, como o mostra Bachelard (1978), entre outros autores. No entanto, a física newtoniana, uma teoria muito bem estabelecida há mais de 300 anos, não apenas permanece válida, ainda que sob certos limites impostos pela teoria quântica e pela teoria da relatividade, como tem uma relação forte com nosso contexto científico-tecnológico contemporâneo, além de ter seu campo de fenômenos de aplicação ampliado pelo desenvolvimento da cosmologia e da astrofísica no século XX.¹⁴

No contexto atual, a gravitação newtoniana, juntamente com suas leis do movimento, são aplicadas em escalas incrivelmente maiores do que as da ordem de grandeza do sistema solar¹⁵ e para outros fenômenos no Universo como o movimento conjunto das estrelas duplas, as galáxias, os aglomerados de galáxias, a formação (nascimento, vida e morte) de uma estrela, a descoberta de novos sistemas planetários. De fato, a coesão desses objetos enormes parece indicar que é a força gravitacional a responsável pela sua dinâmica, estrutura e formação.

A idéia de universalidade da Lei da Gravitação Universal ganha uma nova amplitude e significado no contexto atual, pois o Universo conhecido na época de Newton é muito diferente do Universo atual. A astronomia, astrofísica e cosmologia avançaram enormemente durante o século XX e nos proporcionaram uma outra visão de Universo, e, ao mesmo tempo, abrindo um novo campo de aplicabilidade, o que tem gerado novos problemas e colocado em discussão outros possíveis limites da gravitação newtoniana. Embora essa teoria sirva de base para muitas discussões nesses campos atualmente, há certos limites já encontrados, onde a gravitação einsteiniana é que deve ser aplicada.

As concepções sobre o Universo dependem do alcance a que se consegue observar e obter dados, assim como da natureza dos dados obtidos. A luz, em seus diversos

¹⁴ Apesar de sua ampla aceitação há séculos, ainda não deixa de suscitar importantes debates entre os físicos contemporâneos, como as polêmicas em torno da mecânica relacional, como apresentadas e discutidas por André Assis (1998).

comprimentos de onda (ondas de rádio, infravermelho, visível, ultravioleta e raios gama), é o principal tipo de dado do estudo do Universo em grande escala.

Até Galileu, o Universo conhecido empiricamente se limitava àquilo que se pode ver a olho nu: estrelas que parecem fixas umas em relação às outras, girando em conjunto lentamente ao redor da Terra; cinco corpos que parecem estrelas mas que possuem movimentos diferentes em relação a este pano de fundo de estrelas fixas, os planetas; além de cometas; a Lua e o Sol.

Galileu, no entanto, utilizou uma luneta para observar o céu e fez observações que ajudaram a mudar a concepção aristotélica sobre o Universo. Ele observou que a Lua possui crateras, um terreno acidentado parecido com o da Terra; que há outros corpos pequenos girando ao redor de Júpiter e Saturno; que Saturno possuía anéis; que o Sol possui manchas escuras. Ruía, assim, a idéia de um universo (extraterreno) perfeito, diferente da Terra.

De Galileu aos nossos dias, principalmente durante o século XX, as tecnologias de observação celeste evoluíram muito, modificando ainda mais nossa concepção de Universo¹⁶. Os telescópios atuais¹⁷ proporcionam imagens de inúmeras galáxias, aglomerados de galáxias, aglomerados globulares, diferentes tipos de estrelas (em tamanhos, cores e constituição), pulsares, quasares, nebulosas¹⁸. Os telescópios atuais podem observar astros a mais de 12 bilhões de anos-luz¹⁹.

Os telescópios de hoje não captam apenas a luz visível, mas emissões em todo o espectro eletromagnético, das ondas de rádio à radiação gama, passando pelas microondas, infravermelho, ultravioleta e raio-X. Telescópios, satélites e sondas também vêm sendo

¹⁵ A escala do sistema solar é da ordem de 10^{12} m, a de uma galáxia é da ordem de 10^{21} m!

¹⁶ É interessante notar, desde já, o quanto essas imagens do Universo estão presentes em nosso cotidiano, seja através da TV, de jornais, revistas, outdoors, filmes, cinema, etc.

¹⁷ Cf. “*Telescópios: desvendando o Universo*” - **Comciência** - www.epub.org.br/comciencia [Revista Eletrônica].

¹⁸ Sobre pulsares, quasares, nebulosas, ver Mourão (2000).

enviados ao espaço. O Hubble é um telescópio ótico que está em órbita da Terra desde 1990. O *Hipparcos* (europeu), primeiro telescópio espacial astrométrico (que determina a posição e movimento de um astro), lançado em 1989, proporcionou dados para elaboração de dois catálogos estelares, sendo que um contém mais de 100.000 estrelas e o outro com mais de um milhão de estrelas (Mourão, 1999). O *ISO* (Observatório Espacial Infravermelho), colocado em órbita em 1995, também proporcionou um mapeamento do céu na região do infravermelho, estudou nuvens de gases interestelares e núcleos de galáxias. As duas sondas *Voyager*, lançadas em 1977, chegaram bem próximas de todos os planetas do sistema solar (exceto Plutão), enviando fotos e outras informações. Estas tecnologias permitem obter uma enorme quantidade de dados provenientes de distâncias cada vez maiores e produzindo outras visibilidades do espaço cósmico.

No século XX, a cosmologia ganhou maior amplitude na comunidade científica passando a contar com dados experimentais, além dos suportes teóricos da Teoria da Relatividade Geral de Einstein e da Física de partículas. Duas descobertas experimentais deram novo impulso às discussões cosmológicas. No final da década de 20, E. Hubble descobriu que as galáxias estão se afastando umas das outras, e que, quanto maior a distância da galáxia, maior a sua velocidade de afastamento. Na década de 60, Arno Penzias e Robert Wilson descobriram a existência de uma radiação em microondas, igual em todas as direções e muito fraca, conhecida hoje como radiação de fundo cósmico. Estas duas descobertas, juntamente com a observação da abundância de elementos químicos no Universo, segundo Horgan (1990), formam os pilares da teoria cosmológica mais aceita no momento, a teoria do Big Bang, segundo a qual, o Universo teria tido origem numa grande explosão. A imagem atual é a de um Universo em expansão, originado de uma explosão, cujo resquício principal é a radiação cósmica de fundo; um Universo no qual galáxias vêm sendo criadas, algumas colidindo entre si, outras em formação, estrelas dentro dessas galáxias sendo criadas e

¹⁹ Um ano-luz é a distância percorrida pela luz, a uma velocidade aproximada de 300.000 km/s, durante um ano, ou seja, aproximadamente 9.460.000.000.000 km.

destruídas em explosões de supernovas e espalhando novamente gás, poeira e novos elementos químicos pelo espaço.

Recentemente foi descoberto um *quasar*²⁰ a 13 bilhões de anos-luz, considerado o objeto mais distante já detectado. Isso significa que esse *quasar* existiu quando o universo tinha menos do que 8% de sua idade atual²¹.

Este Universo conhecido atualmente, cujas imagens fascinantes são fartamente divulgadas pela mídia, é muito diferente daquilo que em nosso cotidiano chamamos de *céu*, do que podemos observar a olho nu mesmo longe da poluição e das luzes da cidade. Este Universo, apenas recentemente conhecido, representa um novo contexto que talvez venha a impor outros limites à teoria da gravitação *universal* de Newton, ou talvez venha a corroborá-la ainda mais.

A partir das últimas décadas têm sido descobertos novos planetas e sistemas planetários em estrelas muito distantes da Terra. Praticamente todos os métodos utilizados nestas descobertas estão baseados em efeitos gravitacionais. Um desses métodos consiste, simplificadamente, em observar as variações no movimento de uma determinada estrela. Estas variações são interpretadas, à luz da gravitação newtoniana, como sendo provocadas pela perturbação da gravitação de corpos próximos a estas estrelas, permitindo-se calcular a massa e a distância de cada corpo próximo à estrela, dentro de certos limites. Os métodos atuais só conseguem “detectar” indiretamente planetas muito próximos da estrela e com massas muito grandes (maiores do que Júpiter).²²

²⁰ Os *quasares* são objetos parecidos com estrelas enormes, que, no entanto, emitem uma luminosidade assombrosa: acima de 10.000 vezes maior que luminosidade de toda a nossa galáxia.

²¹ Essas informações foram obtidas no Media Relations Office da Nasa, intitulado “*Newfound quasar wins title: ‘most distant in the universe’*”, em 18/02/2000 (<http://www.nasa.gov>).

²² Em 1999 foram publicadas pelo menos duas reportagens sobre o assunto pela revista **Veja**. A descoberta de um sistema planetário da estrela Upsilon Andrômeda, na edição de 21/04/99, com o título: “*Há alguém lá fora? A chance de vida em outras regiões do universo aumenta o fascínio da descoberta de novos planetas.*”; e a descoberta de mais seis planetas, na edição de 08/12/99, com o título: “*Planetas em penca:*

Outro problema atual é o da composição das galáxias e do próprio Universo. A partir de medidas de sua rotação, baseando-se nas leis de Newton, pode-se calcular qual deveria ser a massa de uma galáxia. No entanto, os resultados desses cálculos não coincidem com a massa esperada a partir da luminosidade das galáxias. Alguns físicos propõem alterações na lei da gravitação, como por exemplo, a de que a força não variaria com o inverso do quadrado da distância mas teria um decaimento exponencial (análogo ao decaimento das forças nucleares). Isso implicaria que a lei da gravitação de Newton não seria válida para distâncias da ordem de grandeza de uma galáxia, apenas para distâncias menores, como as da ordem de grandeza do sistema solar. No entanto, outros físicos argumentam que a luminosidade não é um bom indicador da massa de uma galáxia, e postulam a existência de matéria não luminosa, a chamada matéria escura (Rubin, 1983).²³

A gravitação não se refere apenas à dinâmica, seja do sistema planetário solar ou de outros corpos no Universo como as galáxias. Ela está relacionada a outros fenômenos como a formação (o nascimento, vida e morte) e estrutura das estrelas, às teorias sobre formação dos sistemas planetários.

Limites e superação

A imagem do mundo físico de Newton já foi superada pela Física em alguns de seus aspectos. Mas a compreensão da Física enquanto processo histórico, requer que se integre esta imagem dentro de um contexto que aponte, por um lado, o que ela trouxe de novo, e por outro, de que modo ela mesma, de certo modo, vem engendrando sua superação²⁴.

descobertos seis corpos celestes em constelações distantes anos-luz da Terra.” Outras informações podem ser encontradas na internet em http://www.sciencenews.org/sn_arc99/4_17_99/fob1.html.

²³ Ver também a esse respeito a versão eletrônica de um artigo de divulgação de G. Lake, da Universidade de Washington, “*Cosmology of the Local Group*”, na internet: <http://www-hpcc.astro.washington.edu/papers/localgroup/lg.html>; e o artigo de Marcelo Gleiser, “*A escura e estranha matéria do Universo*”, no Caderno Mais da **Folha de São Paulo**, 06/02/2000.

²⁴ O livro **A evolução da física** de Einstein e Infeld (1988), é particularmente interessante ao mostrar a substituição dessa abordagem de Newton, centrada na ação à distância entre partículas, pela abordagem de campo. Outro livro de Einstein que aborda os limites da abordagem newtoniana é **Como vejo o mundo**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981; particularmente da página 181 à 192.

Embora ainda encontremos em revistas especializadas datadas das últimas décadas, discussões nos campos da cosmologia e astrofísica pautadas na gravitação newtoniana²⁵, hoje, nesses campos, também se faz necessário considerar a teoria da gravitação einsteiniana que estabelece uma interligação mais profunda entre matéria e espaço, ajudando a configurar uma concepção de Universo em vários aspectos diferente do Universo newtoniano.

Einstein (1981) aponta três pontos fracos inerentes à arquitetura do pensamento de Newton: 1) a necessidade lógica da suposição da realidade física de um espaço absoluto, que influencia os movimentos, sem ser influenciado; 2) a idéia de um corpo agindo a distância e instantaneamente sobre outro; 3) a coincidência inexplicável entre a massa responsável pela inércia e a massa responsável pelo peso dos corpos.

“Nenhum desses três pontos autoriza uma objeção lógica contra a teoria. Trata-se antes de desejos insatisfeitos do espírito científico, que mal suporta não poder penetrar totalmente, e por uma concepção unitária, nos fenômenos da natureza.” (Einstein, 1981, p. 188-9)

No final do século XIX, as teorias de campo começam a ser desenvolvidas, substituindo a idéia de ação à distância, culminando com a Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Com Faraday e Maxwell, percebe-se que existe uma nova espécie de objetos físicos reais: o campo, elemento último e irreduzível da realidade física.

No entanto, todos esses desenvolvimentos da Física a partir da teoria newtoniana encontraram outros limites, colocando em questão a própria noção de causalidade, ou seja, abalando o projeto newtoniano de se encontrar regras rigorosamente causais para toda a natureza física. A Física quântica, que surgiu nas primeiras décadas do século XX, descreve

²⁵ Para citar alguns exemplos: BEKENSTEIN, J e MILGROM, M. (1984) - *Does the missing mass problem signal the breakdown of Newtonian gravity?* **Astrophysical Journal, Part 1, 286**(1), p. 7-14; FELTEN, J. E. (1984) - *Milgrom's revision of Newton's laws: dynamical and cosmological consequences.* idem, p. 3-6; SOTA, Y et alli. (1996) - *Renormalization group approach in Newtonian cosmology.* **Physical Review D, 5804** (4), p. 3502-U117; LIMA, J.A.S. et alli. (1997) - *On the Newtonian cosmology equations with pressure.* **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 291**(1), p.L1-L4.

um mundo muito diferente do newtoniano. Um mundo onde a incerteza não é apenas uma falha em nosso conhecimento, ou uma falta de precisão das medidas e dos instrumentos, mas fundamento do funcionamento da natureza na escala atômica. A teoria newtoniana passa a estar contida entre os limites do muito pequeno, por um lado, e do muito veloz, por outro.²⁶

Gravitação e as tecnologias espaciais

A teoria da gravitação newtoniana está relacionada também a um dos ícones do desenvolvimento científico-tecnológico do século XX: a conquista espacial.

“O movimento de satélites artificiais e das sondas espaciais pode ser calculado na base da suposição de que, em cada instante, actua sobre eles uma força gravitacional que obedece à lei da gravitação universal de Newton” (Projecto Física, 1978, p. 119).

Ainda circunscritos ao sistema solar, os vôos, as sondas, satélites e missões espaciais fazem parte constante e quase diária dos noticiários, realimentando e transformando debates e concepções não apenas científicos, como também religiosos, éticos, morais e políticos. Associadas aos avanços dos telescópios, as tecnologias espaciais contribuem para uma nova visão do Universo, hoje talvez mais presente em nossas vidas do que a visão “direta” do céu a olho nu. Atrelada a interesses políticos, econômicos, comerciais, além dos científicos, as tecnologias espaciais vêm mudando as formas de ver e conceber o espaço, o Universo, a Terra e o próprio homem.

No contexto científico-tecnológico atual, há diversos desdobramentos tecnológicos associados diretamente à Lei da Gravitação Universal e à dinâmica newtoniana como a tecnologia de satélites, hoje parte importante das tecnologias das comunicações, incluindo TV, celulares e em breve a internet, mas também ligada a sistemas de rastreamento e localização (GPS), a previsões meteorológicas, ao mapeamento, à espionagem militar, à

²⁶ Sobre as teorias que buscam quantizar a gravitação, veja por exemplo, Gleiser, M. (2000) - *A busca da gravitação quântica*. **Folha de São Paulo**, Caderno Mais, 09/01/00.

indústria, bem como proporcionando um novo ambiente para pesquisas em inúmeras áreas, o ambiente de microgravidade.²⁷

O lançamento de satélites e sondas possui o problema básico de escapar da gravidade terrestre, cuja solução exige uma enorme quantidade de combustível.

A velocidade mínima para um objeto escapar da gravidade terrestre, ou seja, manter um movimento ascendente parabólico, sem retorno, seria de aproximadamente 11 km/s²⁸. Essa velocidade é altíssima. Se um objeto fosse disparado com essa velocidade inicial a partir do chão, o atrito com o ar atmosférico seria tão grande que ele perderia velocidade, se queimaria e provavelmente se desintegraria.

A solução é imprimir velocidades crescentes, pois, à medida que nos afastamos do centro da Terra, a força gravitacional diminui e a densidade atmosférica também. Grande parte dos foguetes utiliza o sistema de estágios.²⁹

A órbita de um objeto pode ser compreendida simplificada, do seguinte modo³⁰: um objeto que se desloca com uma determinada velocidade horizontal (perpendicular ao raio da Terra), por causa da gravidade terá também um movimento vertical acelerado, na direção do centro da Terra. A composição desses dois movimentos formará uma trajetória curva que poderá ser um círculo, uma elipse, uma parábola ou uma hipérbole, dependendo da velocidade e da altitude. Uma bolinha empurrada para fora de uma mesa terá uma trajetória

²⁷ Confira o texto eletrônico “*Microgravity fundamental physics discipline brochure*” num dos sites da NASA: <http://microgravity.msfc.nasa.gov>, que relata sucintamente algumas pesquisas em Física fundamental conduzidas em ambiente de microgravidade.

²⁸ Quase 40.000 km/h.

²⁹ O Apollo 11, que levou astronautas norte-americanos à Lua, tinha massa total aproximada de 2.700 toneladas, uma altura de 120 m e 10 m de diâmetro. Uma boa remontagem de seu lançamento pode ser vista no filme *Apollo 13* (**Apollo 13**, EUA, 1995).

³⁰ Para maiores detalhes, principalmente quanto aos cálculos, ver: Gamow, G. (1965), principalmente os capítulos 2, 4 e 8; Mourão (1999), principalmente da p. 54 à 58 e o Apêndice I (Elementos de astronáutica), p. 515 à 523; Nussenzveig (1981), capítulo 8, p. 258-263; Hodges, J. (1998) - **The orbital mechanics - basics** endereço eletrônico (internet): <http://homepages.nildram.co.uk/~omen/omen1.html>

parabólica em direção ao chão³¹. Um satélite artificial terá uma órbita circular ao redor da Terra se tiver uma velocidade horizontal determinada.

Outro conceito importante é a chamada velocidade de escape, ou seja, a velocidade mínima que um corpo deverá ter para não voltar mais e se afastar indefinidamente da Terra, quando sua trajetória será uma parábola. Essa velocidade depende também da altitude. Se a velocidade inicial for superior à velocidade parabólica, o objeto descreverá uma trajetória em forma de hipérbole, e se for inferior, descreverá uma trajetória fechada em forma de elipse.

Para colocar um satélite em órbita é necessário que ele tenha uma velocidade menor que a velocidade parabólica e igual ou superior à velocidade circular. No entanto, antes disso, é necessário elevar o objeto a uma altitude tal que a resistência do ar se torne desprezível e só então comunicar-lhe uma velocidade horizontal para que descreva a trajetória elíptica ou circular desejada.

No lançamento é preciso considerar a velocidade de rotação da Terra que também é componente da velocidade inicial do foguete. E no caso de trajetórias interplanetárias, será preciso considerar ainda a velocidade de translação da Terra em torno do Sol.

Os satélites podem ter vários tipos de órbitas como a geossíncrona, na qual o satélite passa periodicamente sobre um mesmo ponto da Terra e o seu período de translação deve estar sincronizado com o período de rotação da Terra; a órbita polar, dentro de uma abertura angular de 20° em torno dos pólos terrestres, normalmente utilizada para satélites militares, meteorológicos e de pesquisas sobre a Terra; a órbita geoestacionária, situada no plano equatorial com 35.780 km de altitude, na qual o satélite permanece fixo sobre um ponto da Terra, ou seja, seu período de translação deve ser igual ao da Terra, é normalmente utilizada por satélites de comunicação. Como os períodos estão relacionados com as altitudes, cada órbita dessas está relacionada a uma altitude definida.

³¹ Desprezada a resistência do ar.

Um outro exemplo do uso da tecnologia espacial é um melhor mapeamento já feito da Terra, que vem sendo realizado pela Endeavour. Trata-se de um mapeamento tridimensional com resolução de 30 metros, contra os 90 metros de máxima resolução dos mapas atuais.³²

1.2. Gravitação newtoniana e escola: recursos e pesquisas

Projetos de ensino

Entre os recursos disponíveis para a escola de ensino médio, além de capítulos de livros didáticos, destacam-se alguns projetos de ensino.

A gravitação parece ser vista em projetos de ensino divulgados no Brasil como um conteúdo adequado para se trabalhar aspectos humanísticos e históricos da Física, quer este enfoque faça parte dos objetivos centrais da proposta, como é o caso do Projecto Física (1978)³³, quer ele seja um enfoque restrito a esse tema, como é o caso do PSSC (1966)³⁴. Nestes casos, a natureza da abordagem histórica varia significativamente. No Projecto Física há uma ênfase nos aspectos contextuais históricos, sociais e culturais da elaboração da Teoria da Gravitação Universal, que aliás é a característica essencial do Projecto como um todo, marcando a abordagem de todos os assuntos em todas as suas quatro unidades. No PSSC encontra-se uma abordagem histórica com pouca ênfase nos aspectos contextuais sócio-culturais. No PSSC a estrutura do conhecimento físico é o aspecto central que condiciona a abordagem.

Outra característica comum nas abordagens da Lei da Gravitação Universal de Newton é a sua apresentação como consequência da dinâmica newtoniana, ou seja, uma aplicação das leis do movimento para os corpos celestes. Ela comumente aparece como um dos últimos

³² Há um interessante texto de Marcelo Gleiser sobre este assunto em sua coluna no jornal Folha de São Paulo, Caderno Mais, 20/02/2000, “Mapeando a Terra do céu”, p. 29.

³³ **Harvard Project Physics** EUA, 1970. Traduzido em Portugal.

capítulos da mecânica e sua dedução formal matemática utiliza frequentemente como pressupostos básicos e exclusivos as leis do movimento de Newton e, às vezes as leis de Kepler. É o caso, por exemplo, do PSSC³⁵.

O Projecto Física novamente é um exemplo à parte. Embora a Unidade 2, que contém a gravitação newtoniana se encontre depois da dinâmica newtoniana (Unidade 1), há uma abordagem mais ampla sobre o céu, envolvendo a astronomia como conteúdo de ensino, ainda que seja apenas a astronomia de posição e circunscrita ao sistema solar.

O Projeto O Céu (Caniato, 1974)³⁶, elaborado no Brasil, também é um caso diferenciado. Aqui a astronomia também torna-se objeto de ensino em um volume todo do projeto e, antecedendo a própria dinâmica newtoniana que será tratada mais detalhadamente no segundo volume, o que faz a gravitação, ainda que numa abordagem centrada mais na astronomia do que na gravitação em si, preceder o estudo mais aprofundado da dinâmica newtoniana. No entanto, a astronomia deste projeto também se restringe à astronomia de posição e ao sistema solar.

A relação entre a Física e a astronomia varia também conforme as abordagens, não sendo comum uma ênfase no ensino da astronomia, que tradicionalmente parece ser abordada apenas no ensino fundamental, em ciências e geografia. No caso do PSSC, é interessante notar como a intenção de trabalhar a gravitação como um aprofundamento da dinâmica produz uma comparação dos modelos planetários geocêntrico e heliocêntrico fundada no conceito mecânico galileano-newtoniano de referencial, ocultando os aspectos filosóficos, cosmológicos e ontológicos que diferenciam historicamente estes modelos, o primeiro, uma construção da antiguidade grega, o segundo, fruto do renascimento europeu.

É preciso considerar que estes projetos foram elaborados entre as décadas de 50 e 70. Embora a imagem do Universo comece a se alterar significativamente a partir do final do

³⁴ **Physical Science Study Committe**, desenvolvido nos Estados Unidos no final de década de 50 e traduzido e editado no Brasil na década de 60.

³⁵ Vol. 3, cap. 22.

³⁶ Também editado em livro: CANIATO, Rodolpho. *O céu*. 2^a ed. São Paulo: Ática, 1993.

século XIX, essa alteração cresce mais rapidamente a partir das décadas de 60 e 70, quando a cosmologia e a astrofísica passam a figurar mais fortemente como grandes campos de pesquisa em Física. É nesta época também que se assiste ao rápido desenvolvimento das tecnologias espaciais que, atreladas aos estudos em astronomia, vão proporcionar imagens espaciais da Terra, do sistema solar e do espaço, configurando um Universo muito diferente do conhecido à época de Galileu, Kepler e Newton.

Entre os grande projetos de ensino produzidos no Brasil, o PEF (1974)³⁷ é um projeto que se diferencia ao incorporar assuntos da cosmologia, astrofísica e tecnologia espacial em sua abordagem da mecânica newtoniana.

O PEF (1974), Projeto de Ensino de Física, foi elaborado no Instituto de Física da USP e inclui materiais para atividades práticas e experimentais, um livro texto para o aluno e um guia para o professor.

Pelo texto de apresentação pode-se perceber a natureza das questões colocadas para os alunos, ou seja, o fato de *sempre* possuírem uma única resposta, às vezes contida no texto, às vezes em capítulos anteriores. Neste projeto parece haver uma grande preocupação com que o aluno se debruce efetivamente sobre o texto, realizando cálculos, preenchendo e lendo tabelas, construindo gráficos, como parte da leitura. Questões aparecem após ou dentro do corpo do texto.

O livro é composto por três tipos de textos. O texto para estudo propriamente dito, composto também por questões ao longo do texto; textos em tipo menor e/ou em cor diferenciada que, segundo os autores, “*tratam de aspectos mais difíceis do assunto*”; e textos suplementares, no final do capítulo, que, segundo os autores, têm por objetivo introduzir assuntos mais atuais ou discutir aspectos limítrofes à Física.

³⁷ Projeto de Ensino de Física.

O capítulo específico sobre gravitação é o décimo segundo da parte de mecânica. A parte introdutória deste capítulo traz um breve histórico da astronomia dos babilônios a Galileu, enfocando os modelos astronômicos e algumas concepções filosóficas subjacentes. O texto coloca a concepção platônica da perfeição do círculo, e a partir daí, vai relatando, cronologicamente, a sucessão dos modelos planetários, fundamentados nesse dogma. Os modelos aparecem como uma sucessão de aproximações que vão se tornando cada vez mais complicados para dar conta dos fenômenos observados. A Física newtoniana aparece, assim, como uma etapa dessa sucessão cumulativa, que se inicia na Babilônia.

A tecnologia espacial está intimamente relacionada ao texto de mecânica, e principalmente ao capítulo de gravitação, notadamente o movimento de um satélite artificial da Terra. Este projeto inclui nos problemas de dinâmica, normalmente circunscritos a objetos próximos à superfície terrestre, situações relativas a movimentos no espaço cósmico.

O tópico 3, que tem como objetivo “provar” a lei de Newton para um caso particular, o da órbita de um satélite artificial (ou seja, que a força que mantém o satélite naquela trajetória depende da massa da Terra, da massa do satélite e varia com o inverso do quadrado da distância entre o satélite e o centro da Terra). Trata-se de uma atividade que deve ser desenvolvida pelo aluno, passo a passo, enfatizando o conceito de força central. O conceito de trajetória, apresentado também com referência à órbita de um satélite no capítulo 1, é agora associado à dinâmica de Newton.

Mas esta não é a única referência, ou ponto de ligação entre a Física e o espaço cósmico. Há uma referência à sonda Mariner 9³⁸ na introdução do capítulo 9, com um trecho de jornal da época sobre seu envio a Marte, num box iniciando o capítulo. É discutida a questão da imponderabilidade no último tópico do capítulo de gravitação, ou seja, uma situação peculiar dos ambientes das espaçonaves em órbita da Terra. Neste mesmo capítulo há um texto colocado como leitura suplementar sobre o Universo, abordando a astronomia atual, astrofísica e cosmologia.

³⁸ Lançada pelos Estados Unidos em 1971.

Pesquisas em educação em ciência

No que se refere às pesquisas sobre gravitação no ensino médio destacam-se o enfoque nas concepções alternativas e mudança conceitual dos estudantes.

Sneider e Ohadi (1998) avaliam estatisticamente um curso elaborado visando à mudança de concepções dos alunos sobre a esfericidade da Terra e sobre o conceito de gravidade. Gustone e White (1981) trabalham o conceito de gravidade na superfície da Terra.

Bar et al. (1997) analisam idéias de estudantes entre 9 e 18 anos sobre o conceito de ação à distância. Os autores organizam essas idéias em torno de três pressuposições que expressariam concretizações da idéia abstrata de ação à distância: a Terra é singular (há eventos que só ocorrem na Terra relacionando a características que só a Terra possui); é necessária uma conexão entre os objetos que interagem à distância (algum meio de contato); uma força suporta a outra (p. ex. a magnética suporta a gravidade). Essas pressuposições não formariam um sistema auto-consistente de axiomas a ser aplicado coerentemente. Os estudantes adotavam uma pressuposição conforme a situação.

Bar e Zinn (1998) procuram relacionar as concepções de ação à distância de estudantes com concepções de cientistas antes de Newton, como as idéias de Gilbert e Kepler sobre a gravidade e a analogia entre gravidade e magnetismo. Entre as idéias dos estudantes, os autores destacam a concepção de uma gravidade centrada exclusivamente na Terra, que também aparece na pesquisa de Treagust e Smith (1989) que estudam a relação entre a conceituação de gravidade e a compreensão dos movimentos dos planetas pelos estudantes, e na de Noce et al. (1988).

Na relação entre conceituação de gravidade e movimento dos planetas, estudada por Treagust e Smith (1989), os autores destacam as seguintes concepções dos estudantes: a gravidade de um planeta está relacionada com a sua distância em relação ao Sol; a gravidade do Sol influencia não apenas a órbita dos planetas mas também a gravidade de cada planeta;

a rotação dos planetas afeta sua gravidade (planetas que giram mais devagar teriam gravidade menor em sua superfície); a temperatura na superfície do planeta afeta sua gravidade. Os autores apontam que, mesmo alunos que possuíam considerável conhecimento da astronomia do Sistema Solar, apresentavam tais concepções equivocadas do ponto de vista da física.

Noce et al. (1988), num estudo sobre como os estudantes predizem eventos relacionados à gravidade na superfície da Lua, apontam que a maioria deles parecem pensar a gravidade como pertencendo à Terra; a Terra e a Lua seriam pensadas como dois mundos diferentes no que tange a fenômenos que envolvem a gravidade. Estes autores fazem algumas observações importantes sobre a origem dessas concepções. Eles argumentam que as idéias dos estudantes estão relacionadas ao que eles vêem, no caso de fenômenos na Lua (e no espaço em geral fora da Terra), pelas imagens veiculadas na TV. Durante entrevistas eles notaram que os alunos pareciam estar muito convictos de como se procediam fenômenos na superfície da Lua, como se tivessem estado lá.

“Desde que as crianças tenham visto imagens na televisão de astronautas flutuando em suas espaçonaves, elas podem ter generalizado tal flutuação como sendo um estado natural de todos os mundos no espaço, incluindo a Lua. O mundo da Terra é especialmente diferente: só aqui há ar, e a queda é um movimento natural. Na Lua, um mundo espacial, as coisas não caem naturalmente, mas flutuam.” (idem, p. 66)

Os autores argumentam sobre a importância de se trabalhar com imagens do espaço no estudo desses assuntos.

Teodoro e Nardi (2001) apresentam uma proposta para formação de professores, preparando-os para o ensino do conceito de atração gravitacional, tendo como subsídios a história da ciência, as concepções alternativas dos estudantes e resultados de pesquisas sobre os processos de ensino e aprendizagem.

Com base numa revisão bibliográfica, os autores enumeram as principais concepções alternativas que os estudantes possuiriam a respeito da gravidade: “a) toda força necessita de um meio para se propagar; b) a gravidade depende da presença da atmosfera; assim os astronautas ‘flutuam’ devido à ausência de atmosfera; c) os corpos não têm peso no vácuo; d) a força da gravidade possui um limite de atuação, que pode coincidir com o fim da atmosfera; e) os corpos celestes como o Sol, a Lua e as estrelas não ‘caem’ porque estão fora do alcance da força atrativa da Terra; f) no caso de dois corpos com massas diferentes, o mais pesado atingirá o chão primeiro; g) a força age sempre na direção do movimento; h) a força gravitacional age em um corpo somente durante seu movimento descendente.” (p. 59-60).

A justificativa dos autores para a escolha desse tema de trabalho está no fato de considerarem que “a todo momento os meios de comunicação trazem reportagens sobre missões espaciais, satélites artificiais, com imagens de astronautas e naves que ‘flutuam no espaço’” (p. 58).

Franco Júnior (1989) analisa se e como a lei da queda dos corpos é abordada em livros didáticos de física, observando, entre outros aspectos, a não explicitação da relação existente entre física e astronomia e um silenciamento em relação à física galileana na maioria dos livros. Sobre a relação entre física e astronomia ele comenta:

“A exploração da relação entre Física e Astronomia tem importante papel a desempenhar na didática da Física. Evidentemente, tal relação tem para o estudante de hoje um caráter diferenciado daquele do século XVII. Atualmente o modelo heliocêntrico faz parte das noções conhecidas por grande parte da população. No entanto, tal noção é transmitida fundamentalmente pelo argumento da autoridade. Chega-se, então, a uma situação em que as pessoas convivem com a crença no heliocentrismo e com uma concepção sobre o movimento incompatível com esta mesma crença. Neste

contexto, a relação da Física com a Astronomia leva a uma contradição entre as noções intuitivas e a crença internalizada pelo argumento de autoridade. Tal contradição cria as condições favoráveis para a superação tanto do senso comum quanto do argumento de autoridade, viabilizando a integração do heliocentrismo com a Física numa nova concepção global.” (idem, p. 225)

2. DISCURSO E CONHECIMENTO ESCOLAR

2.1 Ciência, Discurso e Sala de Aula: pesquisas em ensino da ciência

Ensinando conceitos

Barnes (1976) admite que existem padrões de comunicação, “regras” (geralmente implícitas) sobre o que uma pessoa pode dizer a outra, como e quando, as quais variam conforme as situações e os lugares. As pessoas se comunicam de determinado modo num ônibus, de um outro modo num escritório, e de um outro modo numa sala de aula. A respeito da relação entre linguagem e escola, o autor faz uma observação interessante: uma sala de aula seria um espaço onde as pessoas estariam essencialmente para se comunicarem, o que faz da produção verbal (escrita ou oral) um elemento fundamental da cultura escolar. Não considerar a conteúdo a ser ensinada como o fim e a comunicação como o meio.

De fato, as verbalizações orais ou escritas são as fontes de dados privilegiadas da pesquisa no campo do ensino da ciência. Essas verbalizações são interpretadas a partir de diferentes dispositivos teóricos e analíticos que, em última instância, vão repercutir as concepções de ensino assumidas e/ou veiculadas, implícita ou explicitamente, pelas pesquisas.

Nas últimas décadas, boa parte da pesquisa realizada no âmbito do ensino das ciências naturais se concentrou no que ficou conhecido como *concepções alternativas*¹ Basicamente orientadas por um referencial teórico centrado no campo da psicologia, principalmente na obra de Piaget, nesta perspectiva teórico-metodológica, o dado verbal (escrito ou oral) daria acesso aos conteúdos mentais conceituais dos indivíduos. Nessas pesquisas é ressaltado o papel ativo do estudante na produção do conhecimento, mostrando que concepções diferentes daquelas que se pretende ensinar interferem nos processos de aprendizagem. As pesquisas acentuaram, assim, a relevância para a prática pedagógica tanto do conhecimento

¹ Na literatura aparecem outros termos como *concepções pré-existentes* ou *misconceptions* (concepções erradas). Estes conceitos encontram seus sentidos numa concepção construtivista de ensino que se ampara em

sobre o estudante, como a necessidade de sua participação ativa nos processos escolares. Ao mesmo tempo, esta perspectiva teóricometodológica delimita um campo de significados que constituem os objetos de análise, notadamente aqueles restritos ao domínio do conhecimento científico.

Utilizando instrumentos de coleta de dados abrangentes, Almeida (1996) analisa representações de estudantes sobre luz, e observa que

“Em conseqüência, algumas representações apontadas podem parecer sem interesse para o ensino da física. No entanto, parece-nos que a atenção, voltada para todo o conjunto de respostas, evidenciou que o universo desses estudantes estava povoado por ‘entidades’ muito pouco concretas e pertencentes a domínios nos quais não predomina a racionalidade científica.” (p. 39-40)

Neste trabalho, o dispositivo analítico delimita um campo de sentidos que incluem representações mais amplas do que aquelas circunscritas ao domínio científico. E acrescenta: “Ao interlocutor caberia delimitar o domínio desejado (que aspectos a física aborda) e, se possível, concretizá-lo” (idem, p. 40).

Van Zee e Minstrell (1997) procuram mostrar que *atitudes discursivas* (modos de falar) do professor propiciam o que chamam de *discurso reflexivo*, compreendido basicamente como um modo de interação no qual os estudantes expressam, comentam e questionam seus próprios pensamentos. Assim, por exemplo, o professor e alguns alunos se engajam uma série de questionamentos que ajudam os estudantes a melhor articularem suas crenças e concepções; podem ocorrer trocas aluno-aluno envolvendo um deles tentando compreender o pensamento do outro; ajudá-los a explicitar o que está por trás de seu pensamento; o professor evita usar a fala para avaliar as respostas dos alunos, ou seja, quer que eles mesmos avaliem as respostas dos outros. Os autores analisam uma discussão de uma atividade feita prévia e individualmente pelos alunos em classe, cujo objetivo estabelecido pelo professor seria levantar concepções alternativas sobre gravidade. Na análise os autores identificam *atitudes verbais* do professor e fazem inferência sobre suas intenções a partir de informações fornecidas por este numa entrevista.

dois pressupostos gerais: 1. o conhecimento não é transmitido mas construído ativamente pelos indivíduos; 2. aquilo que o sujeito já sabe influencia na sua aprendizagem. (Machado, 1999, p. 26).

Entre os aspectos que caracterizariam o discurso reflexivo na interação analisada destacam-se atitudes de fala do professor correspondentes às suas intenções, tais como: legitimar/aprovar identidades (o professor vê os alunos como produtores de sentido); expandir o contexto de compreensão (considerando que a validade das idéias dos alunos depende do contexto); responder com sentenças neutras sobre as falas dos alunos (evitando avaliar); colocar questões que requisitam maiores esclarecimentos dos alunos sobre suas idéias; encorajar os alunos a continuarem falando e a falarem com outros; deixar que os alunos falem entre si por um certo tempo sem intervir; solicitar a verbalização das concepções iniciais dos alunos; conduzir a discussão; engajar os estudantes em monitorar mudanças de concepções.

Kelly e Crawford (1997) procuram mostrar que os alunos têm um papel ativo na construção dos contextos de aprendizagem. Os autores analisam interações face-a-face entre alunos em pequenos grupos durante atividades de laboratório com o uso de computadores. O grupo de alunos envolvidos numa determinada atividade cria uma “epistemologia”, uma racionalidade própria para aquela circunstância e aqueles determinados propósitos. A preocupação desses autores reside nas concepções de Ciência construídas em cada contexto. A metodologia de análise compreende um estudo inicial dos dados etnográficos para identificação de situações, a seleção de episódios identificados, o uso dos dados etnográficos para compreensão do contexto em que se inserem as falas, e o uso da *análise de discurso* para o que os autores chamam de eventos discursivos-chave. Os autores concluem que diferentes grupos de alunos trabalhando uma mesma atividade numa mesma sala de aula constróem e disponibilizam oportunidades diferentes de aprendizagem para seus membros. Também chegam à conclusão de que o que conta como Ciência para os alunos depende do contexto das atividades em que estão envolvidos. Diferentes contextos podem implicar, para os mesmos alunos, em concepções de Ciência até mesmo divergentes e contraditórias. O pressuposto desse trabalho é o de que os processos de aprendizagem dependem de contextos específicos, e que contextos diferentes implicam em diferentes processos de aprendizagem e, ainda, que os estudantes possuem papel ativo na construção desses contextos.

Candela (1998) também procura mostrar que os alunos têm um papel ativo na construção dos contextos de ensino. Considera a fala como ação situada num contexto comunicacional e a forma da comunicação como estando articulada com o seu conteúdo.

Como parte de um registro de campo apoiado por gravação, a autora apresenta a análise de episódios de ensino numa aula de 4^a série (ensino fundamental), sendo a classe composta por 32 crianças, de 8 a 10 anos, envolvidas numa atividade em que um grupo de alunos deve apresentar e explicar uma experiência de um livro-texto realizada anteriormente em casa sobre propriedades das transformações físicas e químicas. A ênfase da análise está em mostrar como os alunos participam, como agentes ativos, da construção da configuração dos processos/contexto de ensino no qual são produzidos diversos sentidos sobre o conteúdo científico.

A autora mostra, por exemplo, que a leitura crítica do livro-texto, incluindo seu questionamento por um aluno, faz parte de um contexto criado *também* pelos alunos e não apenas pelo professor, assim como o ambiente para a produção de significados sobre o conteúdo. Embora as orientações do professor às vezes apareçam como divergentes das de alguns alunos, ambos parecem trabalhar cooperativamente para o mesmo fim, sendo estas orientações convergentes as relevantes para uma interação de “boa” qualidade.

Entre os resultados, a autora aponta que os alunos parecem ter-se apropriado operacionalmente, embora em graus diferentes, do conteúdo do tema da aula. A interação discursiva, segundo sua análise, constrói um contexto argumentativo que propicia a elaboração de novas aproximações ao significado, sendo que a participação do professor não parece limitar a possibilidade de elaborar significados alternativos pelos alunos.

A autora conclui também que a análise revela um processo que parte das formulações do texto para abrir-se às diversas interpretações das crianças, criticando a idéia do construtivismo de partir das concepções espontâneas para chegar à mudança conceitual. Enfatiza que há uma riqueza de construção de significados que os alunos realizam partindo de uma definição com terminologia “científica”, distante da linguagem cotidiana.

Jones (1997) busca configurar um referencial teórico, pautado em diversos autores, para dar conta do que acontece com o discurso pedagógico quando este incorpora temas do cotidiano dos alunos e suas experiências de vida. Ela constata que os próprios alunos trabalham para separar o trabalho escolar de suas experiências cotidianas, com a interferência de valores éticos e morais. Também conclui que o processo de interação escolar constrói uma imagem do aluno (para ele mesmo) diante de seus próprios saberes e diante do saber escolar.

Este artigo configura seu objeto ao relacionar aspectos escolares e não-escolares, ao focar as relações entre o cotidiano extra-escolar e escola, focalizando um conteúdo de ensino que é simultaneamente parte da vida dos alunos e parte do currículo formal escolar.

Podemos perceber que esta autora não trabalha apenas ao nível do explícito quando coloca que,

“o discurso pedagógico tem seu efeito não por transferir um ‘conteúdo’ oficial para as consciências dos alunos (...), mas por estruturar as relações **entre** discursos”² (idem, p. 566).

Esse trabalho aponta uma perspectiva teórica que considera o discurso escolar como caracterizado por uma relação tensa com o discurso cotidiano, a qual envolve, segundo a autora, aspectos éticos e morais, como também uma imagem do aluno (para si mesmo) diante do discurso “científico” ou escolar “oficial”, evidenciando a difícil “penetração” do discurso cotidiano, do vivido em sala de aula.

Estes trabalhos contextualizam as verbalizações dos estudantes tomadas como dados que dariam acesso a seus conteúdos mentais conceituais, fazendo intervir um dispositivo de análise que privilegia a dimensão comunicativa da linguagem, fazendo do contexto, da situação imediata, um aspecto relevante para sua compreensão e interpretação.

Deslocamentos na concepção individual da produção de conhecimento centrada no estudante vêm sendo produzidos no âmbito de pesquisas que se referenciam na vertente histórico-cultural da psicologia, centradas, principalmente, nas obras de Vigotski e Bakhtin, que, entre outros aspectos, privilegiam a dimensão constitutiva da relação entre linguagem e conhecimento.

Machado (1999), inspirando-se nessa perspectiva teórica da psicologia, analisa situações de ensino da química, procurando dar visibilidade às relações constitutivas entre discurso e conhecimento químico, particularmente assumindo “que é na dinâmica das interações que a significação de produz” (idem, p. 10). A significação não seria um processo que se dá apenas a nível interno, exclusivamente a partir da atividade mental dos indivíduos. A significação se dá *entre* indivíduos, envolvendo, entre outros aspectos, os lugares sociais

² Grifo da autora.

que estes ocupam, e a incorporação de vozes alheias na voz dos estudantes. Neste tipo de abordagem teórico-metodológica, o contexto das verbalizações é levado em consideração como aspecto constitutivo das significações produzidas. Neste contexto teórico, a autora vai discutir as especificidades do conhecimento químico escolar, e sobre como se constitui, discursivamente, uma maneira química de pensar.

A tese da constitutividade da relação entre discurso e conhecimento, como trabalhada por Machado (1999) em relação ao conhecimento Químico, para mim é fundamental. É particularmente importante a discussão da autora sobre a questão da contextualização. A autora problematiza³ as abordagens em torno de conteúdos descontextualizados, deslocados do meio social mais amplo. Para ela, o conhecimento/discurso químico possibilita a visibilidade de determinados aspectos do mundo, fatos químicos que constituem e são constituídos nas esferas sociais, econômicas, ambientais, políticas, etc. Ele é constitutivo do mundo tecnológico em que vivemos, daí seu aspecto contextual.

Essa importância da contextualização leva a autora a destacar a importância do fenômeno:

“Assumindo essas concepções de fenômeno e de experimento é possível ultrapassar a dimensão do laboratório e incluir como parte do conhecimento químico vivências e ocorrências químicas do mundo social, possibilitando que a forma como os conceitos químicos estão funcionando nas relações sociais, inclusive como mediadores dessas relações, seja experienciada pelos alunos.” (idem, p. 165)

Sob o ponto de vista da constitutividade que mencionamos acima, os fenômenos não podem ser considerados como tendo uma existência própria, a compreensão sobre o fenômeno se dá no trabalho na/pela/com a linguagem, e acrescenta:

“mas para a construção de um forma química de falar/pensar sobre o mundo a abordagem do nível dos fenômenos não é suficiente. É fundamental que passemos às causas escondidas” (idem, p. 167).

³ Baseando-se em Maldaner, O. A. *A formação continuada de professores: ensino-pesquisa na escola*. Professores de química produzem seu programa de ensino e se constituem pesquisadores de sua prática. Tese (Doutorado em educação). Campinas, SP: Faculdade de Educação, Unicamp, 1997.

Ensinando sobre a ciência

Trabalhos que problematizam os conteúdos a serem ensinados, têm girado em torno da discussão da necessidade da introdução no ensino médio de conteúdos comumente ausentes nas práticas escolares, como os conhecimentos científicos produzidos ao longo do século XX.

Mas a dimensão conceitual pertinente ao domínio científico não é a única considerada como parte do currículo na educação em ciência. Os conhecimentos gerados no âmbito da história e filosofia da ciência (Carvalho e Vannucchi, 2000) também vêm sendo propostos como conteúdos de ensino. Neste âmbito da reflexão sobre o ensino, pode-se ver uma ampliação do que se considera como sendo as finalidades do ensino da ciência. De fato, é difícil separar questões de currículo de questões sobre as finalidades da educação em ciência.

Diferentemente de uma proposta curricular como a do PSSC, produzida no final da década de 50, cujo ideário centrava-se na formação de futuros bons cientistas, a tônica das preocupações atuais parece ter se alargado incluindo e priorizando justamente aqueles estudantes (a grande maioria) que não seguirão carreiras científicas. Discussões envolvendo temas como alfabetização científica (Hurd, 1998), compreensão pública da ciência (Millar, 1996) ou cultura científica (Solomon, 1999), têm acrescentado outras finalidades ao ensino da ciência além da mudança conceitual, ou seja, daquela centrada na apreensão ou internalização de conceitos científicos.

Entre os fatores que têm justificado propostas de mudanças curriculares estão: mudanças mais atuais no *status* que a ciência vem tendo entre a população (Solomon, 1999), particularmente a dificuldade de distinção entre o conhecimento científico e outras formas de conhecimento; uma certa diminuição do *status* do conhecimento científico, a imagem negativa que a ciência vem adquirindo nas últimas décadas em função da sua relação com problemas ambientais e sociais; concepções equivocadas ou ingênuas acerca da natureza do conhecimento e da atividade científica; mudanças no *ethos* e na prática científica, principalmente no último século (Hurd, 1998).

Diversos trabalhos recentes (Rudolph, 2000; Irwin, 2000) vêm discutindo as possibilidades e necessidades da introdução de questões sobre a natureza do conhecimento e da prática científica como parte dos currículos escolares na educação em ciência.

Em Solomon (1999), temos como aspectos relevantes centrais na discussão sobre o currículo, a consideração de que os sentidos *sobre* a ciência (e não apenas aqueles sobre o mundo natural) interferem nos processos de ensino e de aprendizagem, e a consideração de que estes sentidos dependem do contexto sócio-cultural mais amplo em que vivem os estudantes.

Jenkins (1994) coloca que a *compreensão da ciência* é a cada dia mais imprescindível a uma parte das ações sociais e históricas de qualquer e todo cidadão. Acrescentaria que ela não envolve apenas a compreensão estritamente conceitual, ou seja, uma metodologia centrada na mudança conceitual. Não é possível compreender a ciência na sociedade que a produz internalizando apenas seus resultados. Nesta direção têm sido publicados inúmeros trabalhos defendendo, a partir de diferentes pontos de vista, a introdução de história e filosofia da ciência no ensino da ciência (Carvalho e Vannucchi, 2000; Mathews, 1994)

Millar (1996), discutindo sobre o currículo inglês de Ciências, argumenta sobre como deveria ser um currículo que tivesse a promoção da compreensão pública da Ciência como seu objetivo principal. Segundo ele, os currículos ingleses de Ciência têm se preocupado mais com a preparação de uma minoria de alunos que seguirão carreiras científicas, do que com a formação da grande maioria dos estudantes, e, mesmo assim, o sucesso desse empreendimento é bastante questionável. Entre os argumentos que ele aponta na defesa desse tipo de currículo está o argumento cultural, sobre o qual comenta:

“O argumento cultural pode justificar muitos dos tópicos do currículo atual, mas certamente demandaria uma radical revisão das aproximações de ensino, e eles seriam então apresentados como marcos culturais, ao invés de uma base para futuros estudos especializados.” (*idem*, p. 9)

A proposta de Millar é de que tal currículo fosse fincado em três aspectos: a) compreensão de alguns conteúdos científicos; b) compreensão dos métodos de investigação científica; c) compreensão da Ciência como um empreendimento social. Sobre o primeiro aspecto, o lema deveria ser “faça menos, mas faça melhor”. Neste aspecto, o currículo deveria ajudar o aluno a gradualmente desenvolver a compreensão sobre um pequeno número de modelos poderosos sobre o comportamento do mundo natural.

Dentro desta perspectiva, há uma enorme ampliação dos temas sugeridos e considerados necessários como conteúdos do ensino da ciência. Temas que extrapolam o conhecimento científico *strictu senso* para abarcar questões dos campos da sociologia, da filosofia, da ética, da história, envolvidas nas relações entre ciência, tecnologia e sociedade. A produção da ciência torna-se um conteúdo relevante para a educação científica em paralelo com os conteúdos conceituais.

Os implícitos como parte da produção do conhecimento escolar

A consideração dos implícitos como parte dos currículos escolares tem sido importante nas reflexões sobre educação em geral (cf. Apple, 1982) e vem sendo também considerada no âmbito da educação em ciência.

Segundo Barnes (1976), faz parte do currículo a aprendizagem das “regras”, geralmente implícitas, de comunicação em sala de aula.

No campo da educação em ciência, a literatura tem apresentado esta preocupação sob diferentes designações: *significados “outros”, aprendizagem colateral, meta-aprendizagens, e currículo oculto*⁴.

Em Roberts e Östman (1998), por exemplo, encontram-se treze artigos que discutem esta questão.

“Livros textos de ciência, professores e salas de aula ensinam muito mais que o significado científico de conceitos, princípios, leis e teorias. A maioria dos extras são ensinados implicitamente, freqüentemente por o que não é declarado. Ensinam-se aos estudantes sobre poder e autoridade, por exemplo. Eles são ensinados que conhecimento, e que tipo de conhecimento, é válido e se eles podem dominá-lo. Eles são ensinados sobre como verem a si mesmos em relação tanto ao mundo natural quanto aos artefatos e eventos tecnológicos, e com que conduta olhar todos esses objetos e eventos. Todos esses extras nós chamamos ‘significados outros’⁵...” (Roberts e Östman, 1998, apud Jenkins, 1999, p. 117).

Neste tipo de abordagem sobre questões curriculares, a questão do discurso e da linguagem ganham relevo pois o currículo aparece como sendo os sentidos produzidos

⁴ Respectivamente: *companion meanings, collateral learning, meta-learning, ou hidden curriculum*

nas/pelas interações em sala de aula. Sentidos que dizem respeito não apenas ao verbal, lingüístico, mas também ao fato de que as práticas, as condutas, as ações, as atitudes e os sujeitos significam e se significam mutuamente, e isso interfere na sua produção verbal.

A dimensão significativa dos currículos não se restringe, portanto, aos conhecimentos propriamente ditos, incluindo também a dimensão significativa das práticas, dos objetos e das interações, compondo o que autores como Viñao Frago vêm trabalhando como sendo a cultura escolar, a qual incluiria “práticas e condutas, modos de vida, hábitos e ritos (...), objetos materiais, (...) modos de pensar, bem como significados e idéias compartilhadas.” (Frago, 1995, p. 68).

A mediação da leitura de textos na produção de conhecimentos escolares

As práticas pedagógicas se efetivam com o uso de diferentes recursos como softwares, internet, imagens, materiais práticos e experimentais, textos. Sem dúvida o texto escrito, e em particular o livro didático, é um dos elementos fundamentais da mediação escolar. O funcionamento desse recurso vem sendo bastante estudado no campo da educação em ciência.

Uma das dimensões das práticas de leitura de textos focalizadas por pesquisas nesta área é a que diz respeito à aprendizagem conceitual, principalmente no âmbito da mudança conceitual, como é o caso de Alvermann e Hynd (1989), Guzzetti et al. (1992), Koch e Eckstein (1991; 1995). Estas pesquisas procuram compreender como as concepções alternativas dos estudantes interferem na aprendizagem conceitual através da leitura.

Trabalhos como o de Guzzetti et al. (1995), por outro lado, apontam como aspectos situacionais influenciam nas práticas de leitura. Através da análise de informações obtidas por meio de questionários e entrevistas sobre a maneira como os alunos interagem com textos no ensino de Física. A maioria dos alunos pesquisados contou que nunca, ou muito raramente, usavam o livro-texto além de completar os problemas de cada capítulo. O tipo de texto que os alunos pesquisados disseram preferir, depende da situação. Quando têm que estudar para uma prova, preferem um texto expositivo a um narrativo, porque o primeiro apresenta os conceitos que vão ser testados, que eles “têm que saber”. Se eles não possuem nenhum

⁵ Em inglês: *companion meanings*.

conhecimento sobre o assunto, preferem um texto narrativo, porque esse explica numa linguagem mais fácil de entender. Um aluno contou que, se já tem algum conhecimento do assunto, prefere o texto expositivo e lê o texto narrativo por diversão. A preferência desses alunos parece estar intimamente relacionada ao tipo de cobrança que faz parte de seu contexto de leitura escolar, à linguagem do texto e à sua relação pessoal com o assunto.

Alexander e Kulikowich (1994) descrevem a aprendizagem por textos de Física como uma interação complexa de três aspectos: o aluno, o texto e as variáveis do contexto.

Moje (1996) apresenta e discute resultados de dois anos numa pesquisa etnográfica na qual foi estudado como e porque uma professora veterana e seus alunos usam a leitura-escrita (*literacy*⁶) numa primeira série, ensino médio, em aulas de química, numa escola americana. O trabalho trata de como as relações professor-aluno contextualizam seus usos e decisões sobre a leitura-escrita, ou seja, da constituição das práticas de uso de textos no cotidiano de uma sala de aula, sem, no entanto, analisar a produção de sentidos pelos alunos sobre os textos lidos.

Segundo a autora, “dentro das salas de aula, os professores e alunos definem e negociam regras, normas e valores que criam uma cultura única de sala de aula” definida por: a) crenças sobre a natureza do conhecimento e pelo domínio de conteúdo; b) filosofias e conhecimentos sobre a disciplina, ensino e aprendizagem na disciplina específica e na escola em geral; c) experiências escolares passadas e seus papéis nas escolas e na escolarização; d) sentimentos e emoções de professores e alunos sobre a escola e sobre si mesmos em geral.

Consideram-se também nesse trabalho aspectos “exteriores” ao contexto imediato das interações em aula.

“Esses imperativos metodológicos, juntos com o reconhecimento de que a interação é dinâmica (Blumer, 1969; Myers, 1992; Santa Barbara Discourse Group, 1994), sugerem que seja necessário estudar não apenas as interações dentro de uma situação corrente em sala de aula, mas também as interações passadas que deram origem aos significados que professores e alunos trazem para as interações em aula.” (Moje, 1996, p. 178)

⁶ O termo *literacy* é de difícil tradução. Aparece às vezes como alfabetização, às vezes como capacidade de ler e escrever, às vezes como leitura-escrita.

Os alunos e professores constroem sentidos *nas* interações, mas também trazem sentidos já construídos *para* as interações. A autora enfatiza na questão da resistência porque esta realça crenças e valores que professores e alunos trazem para o ensino, de suas interações sociais e culturais prévias.

Entre os resultados, a autora destaca que

“(...) a prática da leitura-escrita como uma ferramenta de organização foi encorajada e apoiada pela interação que havia sido construída na cultura de sala de aula” (p. 181)

A leitura-escrita não era apenas praticada como um meio de organizar os conceitos científicos, mas como uma maneira de construir, amparar, organizar e ampliar as interações sociais entre a professora, seus alunos e a comunidade escolar. De outro lado, essas interações influenciaram se e como a leitura-escrita era praticada. A pesquisadora também notou influências das práticas da professora sobre as práticas de outros professores, embora os alunos não transportassem as práticas de leitura-escrita das aulas de química para as aulas de outras disciplinas. Para os alunos, determinadas estratégias parecem inapropriadas em aulas onde as práticas social e acadêmica não eram configuradas pela organização, mas pela ambigüidade e criatividade.

Em Silva e Almeida (1998), analisando o funcionamento da leitura em aulas de Física no ensino médio, constatamos que o professor passa implicitamente um modelo de leitura aos alunos. Comentamos que a perspectiva de um sentido único para o texto leva à configuração de situações de simulação, onde a leitura dos textos é explicitamente requerida mas não ocorre de fato, ou o aluno repete/devolve um sentido pré-estabelecido como sendo o único sentido possível ou o único sentido válido, que aparece como *o* sentido *do* professor. Argumentamos ainda que, quando se considera, nas interações escolares, os alunos como sujeitos produtores de sentidos, e práticas cotidianas de sala de aula são alteradas, há maior envolvimento dos alunos na leitura e nas atividades que a envolvem, e emergem, além de concepções alternativas, sentimentos, emoções e conhecimentos relacionados à circulação do discurso científico em nossa sociedade. E concluímos que:

“A instauração de um contexto de leitura que privilegie a produção de sentidos múltiplos nas aulas de física: permite um maior conhecimento sobre os alunos por parte do professor, o que pode

melhorar a qualidade das interações em aula; contribui para o estabelecimento de continuidades e rupturas entre as idéias dos alunos e as da física, entre a linguagem comum e a linguagem científica, ou seja, media o saber científico; contribui para a (re)construção de uma história de leitura que possibilita o acesso ao saber após a saída da escola.” (p. 161)

Preocupações com o uso de textos alternativos ao livro didático, textos que circulam fora do ambiente escolar estrito e que representam um meio de acesso das pessoas em geral ao conhecimento científico, como jornais, revistas e livros de divulgação, aparecem ligadas a objetivos de ensino como a formação do sujeito-leitor, uma formação cultural mais ampla, além da sua influência na mudança de currículos.

Salém e Kawamura (1996) discutem a relação entre textos de divulgação científica e o cotidiano escolar, a partir de um levantamento de características de um conjunto de 10 títulos selecionados, analisando categorias como contexto, função, imagem do leitor, relação com o leitor, autor, conteúdos, abordagens e linguagem, estrutura, imagem da Ciência, potencialidades para o aprendizado, e comparam esses textos com o livro didático.

As autoras argumentam que esses textos não são didáticos, no sentido de que,

“não são operacionais; falta formalizar; não estão estruturados para o uso em sala de aula; são, muitas vezes abertos demais, com textos longos e linguagem sofisticada” e, também, “tornam difícil a avaliação do aprendizado” (idem, p. 594).

Concluem que o uso desse recurso exigiria, porém, mudanças no ensino.

“O que pudemos extrair dessa primeira análise dos textos de divulgação é que eles subentendem uma concepção de ‘saber’ ou ‘aprender’ diferente daquela predominante nos textos didáticos. E que o seu uso em sala de aula, pelo professor ou aluno, não responde, em si, às demandas e problemas do ensino atual. Podem sim, acrescentar ‘algo mais’ ao que já existe, sejam novos conteúdos, abordagens, materiais. Mas mais do que isso, nos levam a repensar o significado e a natureza do saber e do aprender. Reforçam a necessidade de se reconceber a escola e o ensino.” (idem, p. 595-6)

Mas o uso de textos e a prática da leitura não são pensados apenas sob o ponto de vista da aprendizagem de conceitos. Algumas reflexões envolvendo estes recursos vão justamente na direção de “reconceber a escola e o ensino”, como apontaram Salém e Kawamura (1996).

Zanetic (1997; 1998) propõe uma integração entre ensino da Física e literatura universal, entre Arte e Ciência, no ensino médio. Em ambos os artigos há uma preocupação com diferenças entre os leitores em sala de aula. Em Zanetic (1997), o autor propõe o uso de obras literárias em aulas de Física, como E. Allan Poe, Camões, J. Milton, com vistas a dois objetivos: favorecer a aprendizagem conceitual e estimular a continuidade do interesse por temas científicos ao longo da vida, pela implementação do hábito de leitura. E Zanetic (1998), aborda a possibilidade de uso de textos originais de autores-cientistas com “veia literária”, como Galileu e Kepler, “como fontes privilegiadas de reflexão cultural de base científica” (p. 36). A argumentação deste artigo se ampara na compreensão de que o “ensino de Ciências dominante nas escolas de 1º e 2º graus precisa sofrer uma profunda transformação de conteúdo” (p. 12).

Em relação ao ensino dominante nas escolas, Zanetic (1998) comenta ainda que,

“O significado físico de tais teorias, suas limitações e suas possibilidades de transformação, bem como as metodologias envolvidas e as tentativas de diálogo com o cotidiano, não são abordados. É também um ensino que não contextualiza as teorias apresentadas.” (idem, p. 12)

Favorecer uma compreensão mais abrangente das teorias da Física por aquela minoria de alunos que já gostam de Física, e permitir que uma outra minoria de alunos que gostam de poesia percebam que a Física tem dimensões que se aproximam da arte, estão entre os objetivos que Zanetic (1998) associa ao uso de textos “literário-científicos”, como os de Galileu e Kepler.

A mudança de currículo de que fala Zanetic (1998) não se refere à substituição de determinados assuntos por outros, mas sobre que aspectos que constituem o conhecimento científico da Física são veiculados e trabalhados pela escola.

Ricon e Almeida (1991), ao analisarem aspectos problemáticos do cotidiano da leitura no ensino da Física e proporem o uso de textos alternativos, como aqueles sobre a produção

científico-tecnológica atual e sobre história da Ciência, enfatizam o papel do ensino da Física na formação geral do sujeito-leitor e na criação de um maior envolvimento e interesse dos alunos com o conhecimento da Física.

Uma das preocupações centrais dos autores, nesse artigo, é a instauração de um processo efetivo de leitura em sala de aula, se opondo a uma série de características das práticas escolares no ensino da Física que levam a distanciamento entre o aluno e o conhecimento científico-tecnológico, à falta de interesse e motivação, caracterizando um processo de simulação de leitura. Uma dessas características é o uso exclusivo do livro didático ou de materiais escritos similares ou derivados, sempre para resolução de exercícios matemáticos e/ou inseridos em atividades que exigem apenas memorização. É nesta perspectiva que os autores procuram identificar possibilidades e equívocos no uso de textos de divulgação científica, entre outros.

Segundo os autores, o fato de esses textos alternativos serem escritos em linguagem informal, menos técnica, de trazerem conteúdos atuais, e com vínculos com a visão de mundo dos alunos (conhecimentos, valores, sentimentos), trabalhando com a curiosidade e preocupando-se com o prazer da leitura, são algumas das características apontadas como relevantes nos textos de divulgação científica, no sentido de contribuírem para a instauração de um contexto de leitura efetivo em sala de aula e para a criação de hábitos de leitura.

O autores afirmam ainda que criar envolvimento e interesse através dos textos de divulgação pode propiciar uma maior aproximação do aluno com a Ciência, motivando o estudo e outras leituras, propiciando a compreensão do discurso científico-tecnológico, permitindo aos alunos aprofundar, ampliar, rever, analisar criticamente seus conhecimentos. Esses textos permitiriam também, na interação pedagógica, acesso a concepções, valores, conhecimentos, sentimentos, e a diferenças individuais dos estudantes.

No entanto, apontam condições para que isso ocorra. Seria preciso que o contexto de leitura escolar considerasse a multiplicidade de sentidos possíveis para um texto e o uso do texto não apenas como meio de obter informações. Essa condição implica no estabelecimento de outras formas de cobrança, menos rígidas e não voltadas para a “apreensão” de um sentido único no texto, ou exclusivamente de uma dada informação.

Os autores descrevem alguns resultados empíricos, a partir da análise de ensaios com o uso de textos em sala de aula, onde destacam que o uso de textos alternativos teria propiciado: 1) oportunidade para os alunos manifestarem um universo de conhecimentos e sentimentos que raramente vêm à tona; 2) um relacionamento dos alunos com informações que eles possuem sobre ocorrências atuais; uma participação mais efetiva nas discussões; 3) o afloramento de conhecimentos anteriores; além de incentivarem outras leituras.

Ricon e Almeida (1991) analisam o papel e o uso de textos em sala de aula com vistas a atingir um objetivo que os autores consideram como parte do ensino da Ciência: a formação do sujeito-leitor,

“Bom leitor, o estudante continuará mais tarde, já fora da escola, a buscar informações necessárias à vida de um cidadão, a checar notícias, a estudar, a se aprofundar num tema, ou simplesmente, a se dedicar à leitura pelo prazer de ler.” (p. 9)

Num outro artigo, Almeida e Ricon (1993), questionando se não seria papel da escola propiciar condições para que aumente o número de leitores interessados em idéias físicas e filosóficas, vêem os textos de divulgação científica e também os literários como uma possibilidade de acesso a ocorrências e controvérsias da Ciência e da tecnologia; um meio para obter informações sobre inovações científico-tecnológicas, e de desenvolver no estudante o gosto e o interesse pela leitura e pela Física (e conseqüentemente sua compreensão), contribuindo para a formação de hábitos e atitudes que permanecerão após a escola.

Os autores também consideram a leitura desses textos um meio de facilitar a incorporação do saber científico. Mas novamente alertam para o perigo da leitura dos textos cair na rotina escolar.

Nesse dois últimos artigos, há uma visão otimista quanto às possibilidades do uso alternativos ao livro didático, entre eles, textos de divulgação científica e literários nas aulas de Física, quanto aos efeitos motivacionais, apontando tais textos como possibilitadores de maior envolvimento, interesse, gosto. Ou seja, os textos de divulgação científica poderiam aproximar os alunos da Ciência dentro e fora da escola. Há também, de modo interligado, uma preocupação com relação à formação de hábitos e atitudes, e ampliação e modificação

de conhecimentos dos alunos. No entanto, os autores apontam aspectos de algumas práticas pedagógicas usuais voltadas para o ensino do produto do conhecimento científico como fatores limitadores dessa perspectiva de uso de textos.

Implicitamente os autores parecem considerar que ensinar Física não é apenas ensinar conceitos, mas ensinar a ler, formar hábitos e atitudes, ou seja, o uso de textos em sala de aula não tem como objetivo único promover a mudança conceitual.

Wellington (1991), embora não fazendo um estudo em escolas, defende o uso de artigos de jornais no ensino da Ciência, se feito de forma crítica e cuidadosa, como sendo de grande valor para o currículo formal.

Para este autor, um dos objetivos do ensino da Ciência é ensinar os alunos a olharem crítica, céptica, porém construtivamente para a Ciência dos jornais, no sentido de que

“(...) um dos objetivos da educação formal é certamente o de capacitar futuros cidadãos a darem sentido e examinarem criticamente os materiais relacionados à ciência que eles encontrarão para ler ao longo de suas vidas após cessar a educação formal.”
(idem, p. 370)

Embora, segundo o autor, o currículo formal e a Ciência dos jornais operem de maneiras diferentes, com objetivos diferentes, ambos agem como mediadores entre a Ciência e a vasta maioria da população, e podem ser usados juntos, principalmente quando se considera que “um relato científico deve ser interessante e informativo, tão divertido quanto educacional” (idem, p. 371).

Numa perspectiva análoga, Korpan et al. (1997), partem do pressuposto de que os artigos da mídia sobre a pesquisa científica são uma fonte persuasiva e importante de novos conhecimentos científicos, e de que avaliar conclusões encontradas nesses artigos é uma importante forma de alfabetização científica.

“A avaliação de notícias sobre a pesquisa científica pode influenciar decisões profissionais ou pessoais (...) e a participação em debates em políticas públicas” (idem, p. 517)

Os autores também consideram que é função da escolarização formal ensinar habilidades básicas que permitem aos cidadãos compreenderem a ciência clássica e a de ponta.

A partir dessas considerações, examinam que tipo de informação 60 alunos universitários, de cursos introdutórios de psicologia, com idade média de 21 anos, requisitam quando avaliam notícias breves sobre Ciência e qual a relação entre essas requisições e as características dos textos, ou seja, como essas notícias influenciam nessas requisições.

Segundo os autores, os alunos requisitam uma variedade de informações, focalizando mais freqüentemente em como a pesquisa foi conduzida e porque tais resultados foram encontrados. Informações relacionadas com o que foi encontrado, quem conduziu a pesquisa e onde ela foi conduzida foram menos requisitadas. Menos freqüente ainda foram as requisições por informações sobre pesquisas correlatas. Entre as características dos textos que influenciaram as requisições dos alunos, os autores destacam a plausibilidade das conclusões, o grau em que o fenômeno descrito no artigo era típico na Biologia, Química ou na Física; a familiaridade com o fenômeno. Diferenças individuais entre os alunos também foram analisadas e correlacionadas com suas requisições, levando-os a concluir que as requisições dos alunos estão relacionadas com o que lhes foi ensinado ou não sobre a natureza da Ciência.

Este é outro exemplo de pesquisa sobre leitura no ensino da Ciência que considera a aprendizagem da leitura, a formação do sujeito-leitor como objetivos desse ensino. Outro aspecto importante desse trabalho é o fato de os autores considerarem outros conhecimentos e valores pessoais dos alunos como aspectos intervenientes no processo de leitura. A leitura aqui não é pensada no sentido da mudança conceitual, mas na mediação entre o público em geral e a produção científica corrente.

Preocupações como essas, em relação ao papel do ensino da Ciência na formação do cidadão contemporâneo, aparecem em pesquisas dentro do que vem sendo chamado de “compreensão pública da ciência”⁷. Millar e Wynne (1988), por exemplo, argumentam que seria mais importante considerar a compreensão pública da Ciência em termos dos processos

⁷ *Public understanding of science.*

da Ciência do que em termos de conteúdos que as pessoas deveriam saber. Os autores realizaram uma pesquisa analisando a relação do público inglês com o acidente de Chernobil em 1996, através de jornais. As fontes de dados foram as notícias publicadas nos principais jornais ingleses nas semanas que se seguiram ao acidente, enfocando as questões requisitadas pelo público, as informações veiculadas pela mídia jornalística e as respostas dos especialistas. Os autores constataram um contraste entre o tipo de requisição da população e o que as respostas dos especialistas poderiam fornecer.

“(...) a percepção de não-especialistas sobre o que um especialista pode responder ou que informação pode fornecer, é diferente da visão dos próprios especialistas. A idéia de que deve ser impossível produzir conhecimento confiável sobre o que está acontecendo e sobre o que fazer (no necessário nível de resolução abaixo da escala das vidas individuais e práticas cotidianas), parece estar longe das mentes do público.” (idem, p. 392)

Com base nesses resultados, os autores argumentam que a educação pública inglesa tem enfatizado os conteúdos e negligenciado a compreensão dos processos internos da Ciência e da tecnologia, ou seja, processos pelos quais o conhecimento científico é gerado e validado.

Almeida (1998) explicita uma concepção sobre textos de divulgação científica, particularmente aqueles produzidos por cientistas, como espaço em que são veiculados, além de resultados, procedimentos e valores associados ao processo de produção de conhecimento científico, assim como pelo fato de serem caracterizados por uma grande disposição dos autores para a argumentação.

Neste artigo, a autora aponta a importância de ser explicitado o “projeto” de escola e de ensino da Física (os objetivos e finalidades), a partir dos quais constrói sua reflexão sobre o papel da divulgação científica nesse ensino. Segundo a autora, as diferentes fontes de informação presentes em nossa sociedade hoje,

“não são igualmente acessíveis a toda a população; e também não são igualmente valorizadas por diferentes indivíduos. Evidentemente existem diferentes graus de compreensão do seu funcionamento e das informações que veiculam. Mas a necessidade dessa informação parece cada vez crescer mais aceleradamente.” (idem, p. 59)

E pergunta, “pensando no texto de divulgação científica, ou mais propriamente, na sua leitura, por que esta pode ter uma contribuição significativa nesse projeto?” (idem, p. 60).

A leitura de textos de divulgação científica teria o papel de contribuir para um projeto de escola que, ao considerá-la como local de trocas culturais e de possibilidades de aprofundamento e reflexão sobre saberes, dispersos e canalizados, por vários meios de comunicação, em nossa sociedade, visasse a dar acesso a bens no campo simbólico, desigualmente distribuídos pela sociedade.

Este artigo, a nosso ver, traz um aspecto importante, como pressuposto de sua argumentação em torno do uso de textos de divulgação científica: a da constitutividade do conhecimento científico pela linguagem, o que implica em pensar as especificidades das condições de produção do discurso científico, ou seja, valores, procedimentos e formas específicas de argumentação.

A epígrafe que inicia este artigo explicita o pressuposto da constitutividade:

“... a linguagem não é só uma maneira de dizer algo a alguém, de passar uma instrução, mas também de nos equipar com frases cognitivas no interior de nossas cabeças.” (Bronowsky apud Almeida, 1998, p. 53)

A função do uso do texto de divulgação científica enfatizada no artigo é a de trabalhar com os alunos a argumentação, os procedimentos e valores associados às condições de produção do conhecimento científico; ou seja, colocar o aluno em contato com aspectos do processo de construção do conhecimento científico, aspectos que caracterizam a especificidade desse discurso.

No artigo citado, Almeida (1998), a partir da noção de representação, destaca, no entanto, que não se pode esperar que o mesmo procedimento chegue a resultados idênticos para todos os indivíduos da coletividade, já que estes possuem suas próprias histórias de vida e de leitura, e expectativas diferentes.

A autora considera que nos objetivos do ensino da Física, devem estar presentes não apenas um tratamento conceitual (mudança e aprofundamento), mas também valores associados à Ciência.

Enquanto em Ricon e Almeida (1991) e Almeida e Ricon (1993) há uma ênfase no papel dos textos de divulgação científica e literários na criação de um contexto efetivo de leitura em aulas de Física, e nos efeitos gerais na interação pedagógica que o uso destes textos pode trazer, em Almeida (1998), há uma ênfase no conhecimento científico propriamente dito, na valorização das condições histórico-sociais, e discursivas, específicas da produção desse conhecimento.

“O problema, quanto a essas idéias, está no que é amplamente divulgado e no que é omitido. Parece haver a suposição tácita de que condições e métodos interessam apenas aos cientistas, e, desse modo, o discurso científico, que chega à maioria da população, na escola, nos meios de comunicação de massa, é constituído apenas de resultados, um produto acabado e pronto para ser consumido. Sem as condições em que foi produzido, o dizer da ciência perde a historicidade; sem processos de construção visíveis, torna-se absoluto e difícil de ser internalizado. Dessa forma, destina-se a poucos.” (Almeida, 1998, p. 57)

Uma síntese

O quadro esboçado até aqui configura a complexidade das relações entre linguagem e ensino e particularmente entre linguagem e currículo. Esta complexidade está relacionada à multiplicidade de fatores simultâneos que concorrem para a instauração das abordagens que configuram contextos em que se produzem determinados sentidos (e não outros), sejam eles implícitos ou explícitos. As diferentes dimensões do conhecimento científico levadas ou não para a sala de aula determinam as possibilidades e os limites de significações em sala de aula.

A compreensão da ciência, de seus procedimentos e métodos, valores associados à sua produção vêm sendo considerados importantes num currículo de ciência para o nível médio, e concretizados em propostas no âmbito, principalmente, do uso da história e filosofia da ciência ou da vertente ciência, tecnologia e sociedade.

No entanto, é em Almeida (1998) que encontramos estes aspectos interligados ao trabalho conceitual, na medida em que esta autora problematiza estes aspectos curriculares sob o ponto de vista da constitutividade da relação entre linguagem e conhecimento. Em minha leitura, este trabalho, implicitamente aponta uma perspectiva singular para pensar o

ensino/aprendizagem da física como ensino/aprendizagem de um determinado discurso, que não pode prescindir de um trabalho sobre suas condições de produção.

2.2. Discurso e conhecimento escolar

As verbalizações orais ou escritas são fontes privilegiadas de dados da pesquisa no campo do ensino da ciência. As interpretações/produções desse tipo de dado inserem-se em dispositivos teórico-metodológicos diferenciados, configurando diferentes representações do espaço da sala de aula, dos processos de ensino e de aprendizagem e da própria escola.

Neste tópico explicito os aspectos centrais de um dispositivo teórico que tem sua característica fundamental na consideração de que, na significação, há uma relação necessária da linguagem com o contexto de sua produção. Minhas opções teórico-metodológicas se orientam por uma perspectiva que procura descrever e analisar não apenas os sentidos produzidos nas aulas analisadas, mas suas condições de produção, condições que se referem à relação entre o discurso científico e o discurso comum, e os implícitos que os fazem funcionar de maneiras diferentes, a especificidades do espaço institucional escolar e suas memórias, e a especificidades do contexto histórico-cultural mais amplo, contexto do qual a ciência e a tecnologia fazem parte.

Em relação à linguagem, trabalho a partir de pressupostos teóricos da linha francesa da Análise de Discurso (AD), que pressupõe que é a inscrição da língua na história que produz sentidos, constituindo um objeto próprio, o discurso, definido por Pêcheux (1990) como efeito de sentidos entre interlocutores.

A AD francesa surge na década de 60 numa conjuntura intelectual em que a noção de leitura é posta em xeque a partir de diferentes trabalhos. Lacan, em relação à leitura de Freud, Althusser em relação à leitura de Marx, além de R. Barthes e M. Foucault, são alguns dos intelectuais envolvidos na idéia de que toda leitura pressupõe um dispositivo teórico, ou seja, ela não é transparente. Leitura é interpretação. A leitura é produzida.

Se no âmbito do trabalho intelectual um dispositivo teórico é explicitamente construído, no trabalho de interpretação que está presente em toda e qualquer manifestação de linguagem, há, minimamente, um dispositivo ideológico que, em última instância, nos permite

interpretar sem perceber que estamos interpretando. É assim que toda interpretação, produção de sentidos, se historiciza, repete e desloca sentidos pré-existentes numa memória discursiva, à qual não temos efetivamente acesso total.

Como a palavra memória pode ser inscrita em diversas formações discursivas, é preciso frisar, com Pêcheux (1999),

“Memória deve ser entendida aqui não no sentido diretamente psicologista da ‘memória individual’, mas nos sentidos entrecruzados da memória mítica, da memória social inscrita em práticas, e da memória construída do historiador.” (p. 50)

A memória discursiva, ou interdiscurso, é composta por tudo o que já se disse. Um conjunto finito, embora irrepresentável, que está na base de todo dizer. É possível, portanto, inscrever cada palavra, expressão, enunciado numa rede na qual estes adquirem seu sentido. Não é apenas o que é dito/escrito que constitui o sentido, mas também os implícitos, os pressupostos, o não-dito, outros dizeres, ditos antes e em outros lugares, que significam no meu dizer.

Sem esta memória não há significação, não há interpretação. E é porque há memória que há regularização, regra, estabilização de sentidos, que se pode dizer o mesmo, e que podemos viver num mundo semanticamente “natural”, “normal”.

A AD vai emprestar e modificar a noção de formação discursiva de Foucault:

“um conjunto de regras anônimas, históricas, sempre determinadas no tempo e no espaço que definiram em uma época dada, e para uma área social, econômica, geográfica ou lingüística dada, as condições de exercício da função enunciativa.” (Foucault, apud Maingueneau, 1997, p. 14)⁸,

ou seja, um conjunto de regras anônimas que determinam o que pode e deve ser dito numa dada conjuntura.

As formações discursivas representam no discurso as formações ideológicas, pois os sentidos são sempre determinados ideologicamente. Segundo Orlandi (1999) “as formações

⁸ FOUCAULT, Michel. *L'Archéologie du Savoir*. Paris: Gallimard, 1969, p. 153. (Edição Brasileira: _____. *Arqueologia do Saber*. Rio de Janeiro, Forense-Universitária, 1986.

discursivas podem ser vistas como regionalizações do interdiscurso, configurações específicas dos discursos em suas relações” (p. 43).

Nessa relação, fundamental para a AD, entre uma palavra e outra na constituição dos sentidos, a noção de metáfora é esclarecedora. Na metáfora, uma palavra é tomada pela outra, estabelecendo-se uma relação de transferência no modo como as palavras significam (Orlandi, 1999). A metáfora é um dizer, uma palavra, cujo sentido se produz na relação com outros dizeres, outras palavras.

Mudar de sentido, portanto, pode significar mudar de formação discursiva, inscrever a palavra, expressão, enunciado numa outra formação discursiva, se significar de modo diferente enquanto sujeito, inscrito numa outra posição, mudar de formação ideológica. Um mesmo enunciado pode ser inscrito em mais de uma formação discursiva, ou passar de uma formação discursiva para outra, modificando seu sentido.

A questão da memória é central na AD. O sentido não emana das coisas, dos sujeitos, nem das palavras, enunciados, expressões. Ele não está *lá*, ele é efeito, em última instância, um efeito ideológico, de um trabalho sobre uma memória discursiva, a que o sujeito nunca tem acesso, consciência ou controle totais.

Na sociedade há diferentes formações discursivas em jogo que participam da instalação de tensões constantes entre paráfrase – dizer o mesmo, e polissemia – dizer outra coisa.

“(…) memória discursiva seria aquilo que, face a um texto que surge como acontecimento a ler, vem restabelecer os ‘implícitos’ (quer dizer, mais tecnicamente, os pré-construídos, elementos citados e relatados, discursos-transversos, etc.) de que sua leitura necessita: a condição de legível em relação ao próprio legível.” (Pêcheux, 1999, p. 52).

Um texto pode ser um texto escrito, oral, mas também uma situação, enfim qualquer coisa com a qual estabelecemos uma relação simbólica, qualquer coisa que demande interpretação, produção de um significado.

Para compreender melhor a noção de discurso da AD francesa, é preciso, além da relação deste com a memória, compreender suas relações com a ideologia. Entre as palavras

e as coisas, entre o sujeito e a realidade, não há correspondências diretas, mas sempre preenchidas pela ideologia.

Ideologia, na AD, não pode ser compreendida como algo negativo, como ocultamento da realidade, como falsa consciência. Sem ideologia não há realidade-para-nós, ao mesmo tempo que a ideologia esconde que esta realidade poderia ser outra. É a ideologia que produz as evidências (necessárias) tanto do sentido quanto da “existência” do sujeito (Rodríguez Zuccolillo, 2000).

“A ideologia é entendida na AD como a *relação* necessária existente entre o sujeito e suas condições materiais de existência, relação política que se constitui na/pela linguagem, num processo que excede a consciência do sujeito” (idem, p. 182).

A ideologia tem um funcionamento inconsciente, concepção em que a AD se filia à Psicanálise, notadamente pressupondo sua descentralidade na relação com o inconsciente. O discurso se constitui numa rede de sentidos que media, num funcionamento ideológico, a relação do sujeito com o mundo. Compreender o funcionamento ideológico da linguagem é, portanto, colocar as palavras, sentenças, expressões, enunciados, em relação com outras palavras, sentenças, expressões, enunciados, dar visibilidade ao fato de que o sentido poderia ser outro.

A ideologia nos faz acreditar que há uma nítida separação entre o que é sujeito à interpretação e o que não é. Em certas formas de interpretação, os sentidos nos aparecem como “naturais”, como o sentido existente já-lá, como se não houvesse existido interpretação, o que produz, como já disse, uma certa homogeneidade e estabilização da nossa relação com os sentidos e com o mundo. Enquanto “naturais”, apagam-se os processos (históricos, ideológicos) de sua constituição, fazendo-os aparecer como evidência, como literalidade. Dito de outro modo, a AD trabalha a relação da linguagem com a exterioridade. Uma exterioridade não exterior mas constitutiva, o que faz da AD uma teoria não subjetivista da linguagem. Não se trata de procurar um sentido interior, contido na estrutura mental do sujeito, já que o sentido, ao contrário, tem a ver com a exterioridade. As linguagens não significam em si mesmas, não transportam sentidos, mas na relação com suas condições de

produção, com a exterioridade. Neste processo, os implícitos, os não-ditos, os já-ditos (e esquecidos) em outros lugares e tempos, são aspectos fundamentais da significação.

A perspectiva teórica da AD sobre o discurso permite levantar questões relevantes para o ensino da ciência. Quando os estudantes são postos a interpretar o mundo a partir do ponto de vista científico, o mundo já está interpretado por eles, a partir de uma determinada formação ideológica. O mundo natural é perfeitamente “natural” para os estudantes. Ele é o que é e não pode ser de outra maneira. Ele não aparece como produto de uma interpretação. Este mundo é familiar aos estudantes, terrivelmente “concreto”. É o mundo de todo dia, de todo momento.

Outro ponto importante a destacar está no fato de que nesta concepção de discurso, o sujeito tem um lugar importante na constituição dos sentidos, porém, não um lugar central, já que o sujeito não é a origem da significação, pois esta remete a uma memória, a uma (ou mais) formação(ões) discursiva(s).

Portanto, ao trabalhar a partir da AD no campo do ensino da ciência, pressuponho que os sujeitos têm um papel ativo na constituição dos sentidos, pressuposto fundamental do construtivismo, teoria aparentemente mais aceita pelos pesquisadores da educação em ciência, mas também que este processo escapa ao seu controle consciente e às suas intenções. Mais do que isso, pressuponho que este papel ativo é função do funcionamento da linguagem pela ideologia, que, por sua vez, tem uma relação com a instituição, e cuja análise não pode prescindir da consideração dos papéis e posições ocupados pelos sujeitos na instituição, mas também estabelece sua relação com o contexto mais amplo, “exterior” à escola.

A pressuposição de um sujeito ativo nos processos de ensino e de aprendizagem, de cunho psicológico, tem negligenciado a relação do sujeito com a instituição e o papel da memória (da história) na constituição desses sujeitos e de “seus” enunciados. Mesmo em se considerando a dimensão social ou comunicativa do funcionamento de uma sala de aula, a questão da história e a da ideologia, e com elas a da memória, não vêm sendo colocadas em primeiro plano. Não é suficiente “dar” voz aos estudantes no espaço da sala de aula, mas compreender que esta voz é constituída, histórica e ideologicamente, numa instituição que, ao regular a produção de sentidos, regula simultaneamente a produção dos sujeitos.

Assim, admito que a opção (política) em termos de metodologia de ensino, pelo trabalho pedagógico que supõe um sujeito ativo, participante, com voz, deve levar em consideração a não-centralidade do sujeito na relação com o discurso e com a linguagem e o papel da memória na produção de “seu” discurso.

É preciso lembrar que o discurso pedagógico tem sua história, e não se modifica essa história da noite para o dia. O que se torna ainda mais relevante em se tratando de estudantes de ensino médio que já possuem anos e anos de escolaridade. História que produziu memórias “materializadas” nas práticas pedagógicas, nas interações professor-aluno, aluno-aluno, nas atividades de ensino, enfim nas práticas, atitudes, condutas e no funcionamento discursivo que constitui uma cultura própria, a cultura escolar. Memória que “guarda” determinados lugares a serem ocupados nos processos de interpretação que constituem o trabalho pedagógico.

Acredito que parte do malogro da “transferência” dos resultados das pesquisas em ensino da física para a sala de aula se deve ao fato da não-consideração dessa historicidade das ações pedagógicas (de professores e alunos), de sua inscrição numa rede de memórias que, nas palavras de Rodríguez Zuccolillo (2000), excede a consciência dos sujeitos envolvidos. As intervenções pedagógicas que realizei, enquanto pesquisador-professor, não se deram no espaço de uma memória que tem valorizado a voz dos estudantes. Essa valorização teve que ser construída ao longo das atividades. Em termos de metodologia de ensino, isso significou pressupô-la como parte dos objetivos das atividades.

Para compreendermos melhor a memória desse campo discursivo, o escolar, as considerações de Eni Orlandi sobre o discurso pedagógico (DP) são fundamentais. Orlandi (1987) vai definir o discurso pedagógico (que designarei por DP) como um discurso autoritário em seu funcionamento. Para isso, considerando a tensão entre a polissemia (o outro sentido, o diferente) e a paráfrase (o mesmo, o dizer sedimentado) como os processos fundamentais que se articulam na produção da linguagem, ela distingue três tipos de discurso:

“o discurso lúdico é aquele em que o seu objeto se mantém presente enquanto tal e os interlocutores se expõem a essa presença, resultando numa polissemia aberta (...). O discurso polêmico mantém a presença do seu objeto, sendo que os participantes não se expõem, mas ao contrário procuram dominar o seu referente, dando-lhe uma direção, indicando perspectivas particularizantes pelas quais se o olha

e se diz, o que resulta na polissemia controlada (...). No discurso autoritário, o referente está ‘ausente’, oculto pelo dizer; não há realmente interlocutores, mas um agente exclusivo, o que resulta na polissemia contida.” (idem, p. 15-16)

O DP, ao se pretender científico, pretende igualar-se a um discurso produzido em outro lugar, de onde transfere legitimidade, coloca o conhecimento da metalinguagem em primeiro plano e os fatos em segundo, como se houvesse uma só forma de dizer sobre o mundo. É assim que freqüentemente na escola não se pode dizer com outras (suas) palavras, mas com as palavras do professor, do livro didático, da ciência. A ciência adquire assim estatuto de uma voz onipotente, exclusiva. Não um lugar a mais, diferente, mas o único lugar de onde se pode pronunciar sobre o mundo. Neste funcionamento, a voz dos estudantes é freqüentemente a voz da repetição empírica ou formal (Orlandi, 1998), deve-se dizer/fazer o que diz/faz o professor/o livro didático e da forma como este diz e faz. Um discurso onde não há realmente interlocutores, mas um agente exclusivo.

Note-se que neste funcionamento (como em qualquer funcionamento discursivo) se produz, no e pelo discurso, uma representação do espaço (institucional) do dizer, a escola, a sala de aula, e, simultaneamente, da ciência. Neste funcionamento, implicitamente se desqualifica (e se impede) toda forma de dizer (e interpretar) que não seja a “científica”, representada principalmente pelo uso da metalinguagem.

Este funcionamento, institucionalizado, constitui uma memória na qual professor e alunos se inscrevem para poder dizer (e ter que dizer!) determinadas coisas e não outras, de determinados modos e não de outros e assim significar, produzir determinados sentidos e não outros.

Estas considerações são importantes, pois a voz dos estudantes na sala de aula é constituída no espaço dessa memória relacionada com a imagem que estes têm de si e do outro neste espaço institucional. “Dar voz” aos alunos significa trabalhar com (contra) esta memória.

A proposta de Orlandi (1987) para romper com esse modo de funcionamento é torná-lo um discurso polêmico. Em tal discurso teríamos uma polissemia controlada, ou seja, vários sentidos em jogo, em disputa, em oposição. Teríamos também, e por haver polissemia, um

objeto de estudo que se constrói no processo, colocando o fato em primeiro plano, e o saber científico como uma possibilidade (entre outras) de interpretação do fato. Trata-se, neste tipo de funcionamento discursivo, de tornar relevante a multiplicidade de sentidos, e com isso a voz dos estudantes, rompendo a exclusividade do professor como agente locutor, e de trazer o referente para o foco do trabalho pedagógico. Este é o fio das análises que apresento neste trabalho, a (re)constituição do lugar da voz dos estudantes no discurso pedagógico, sua relação com a voz do professor, cujo lugar também é (re)constituído simultânea e reciprocamente, e a simultânea constituição dos objetos de estudo, dos significados produzidos pela cultura escolar.

Este processo de transformação do discurso pedagógico não é simples, seja porque há memórias que tendem a repeti-lo, incrustadas em práticas sedimentadas, em expectativas de desempenho de papéis, atitudes, habilidades e conhecimentos, em posições que somos chamados a ocupar, seja porque este retorno aos fatos necessita que se desconstrua, que se refaça o caminho histórico que constituiu a interpretação que queremos ensinar. Implica, de outro modo, trabalhar não o produto, mas os processos de interpretação dos fatos, a sua própria construção.

Note-se que funcionar de modo polêmico, “dar espaço à voz dos estudantes”, implica o professor constituir um lugar de escuta (interpretação) e constituir sua voz a partir também deste lugar, a partir do que foi dito. Este lugar pode ser constituído de diversos modos que estarão relacionados aos modos de leitura pelo professor do discurso dos estudantes. Esta escuta constituirá uma organização do trabalho pedagógico que implica numa delimitação de sentidos.

As situações escolares, ao constituírem os sentidos produzidos, também significam a sala de aula, a escola, e mutuamente os sujeitos que interagem. Assim, ao aprender o que dizer, aprende-se como dizer, o que se espera que seja dito, como já apontou Barnes (1976), analisando a relação entre currículo e comunicação na escola.

Em Lopes (1999) encontro proposições que permitem aprofundar a questão do conhecimento escolar. Esta autora trabalha a partir de uma distinção entre o conhecimento escolar e o conhecimento científico. O conhecimento escolar, na visão da autora, é

constituído *na relação com* o conhecimento científico, mas também *na relação com* o conhecimento cotidiano. Na compreensão dessa relação, a autora faz intervir o pressuposto bachelardiano de uma descontinuidade na relação entre esses dois conhecimentos (comum e científico), que, freqüentemente, seria mascarada no conhecimento escolar.

Kuhn (1995), ao falar sobre o papel dos manuais científicos na formação do cientista, aponta uma de suas características peculiares: o fato de restringirem sua abordagem ao produto do conhecimento científico, ou seja, ao “resultado estável das revoluções passadas”, pondo desse modo “em evidência as bases da tradição corrente da ciência normal” (*idem*, p. 174).

Por resultados do conhecimento científico, o autor entende,

“um corpo já articulado de problemas, dados e teorias e muito freqüentemente (...) o conjunto particular de paradigmas aceitos pela comunidade científica na época em que esses textos foram escritos” (*idem, ibidem*)

A ênfase no produto do conhecimento científico, segundo o autor, exclui informações a respeito do modo pelo qual as bases da tradição corrente da Ciência atual foram inicialmente reconhecidas e posteriormente adotadas pela comunidade científica. Não se trata apenas da exclusão de aspectos histórico-sociais do contexto da descoberta, mas das divergências, das lutas contra outros paradigmas então vigentes, de detalhes do processo de construção do conhecimento atualmente aceito como válido.

A análise de Kuhn permite pensar em duas noções opostas referentes aos modos como o conhecimento científico pode ser trabalhado, apresentado, abordado. De um lado, o produto, designando os conceitos, as teorias, as leis e suas aplicações, ou seja, os resultados do conhecimento científico. De outro, o processo, aspectos da constituição histórica e epistemológica desses produtos, em outras palavras, de suas condições de produção.

Faz parte dos pressupostos deste trabalho que um ensino pautado exclusivamente no produto do conhecimento científico, transmite ao estudante uma visão equivocada desse conhecimento, principalmente no que tange ao apagamento da natureza conflituosa da sua constituição histórica e de outros aspectos das suas condições de produção. Também acredito

que a significação dos resultados fica comprometida sem que se trabalhem aspectos do processo. Como afirma Possenti (1997),

“O critério de cientificidade de um enunciado não é a verdade da proposição que ele veicula, mas seu sistema de produção. Em outros termos, o que distingue os enunciados científicos dos não-científicos são suas condições de produção.” (p. 12)

Mas o processo da ciência pode ser tanto objeto do discurso pedagógico como também parte constitutiva de seu funcionamento, na construção do real da física, no e pelo discurso.

Mas é em Bachelard que podem ser encontradas formulações importantes acerca do processo de produção do conhecimento científico.

Para Bachelard (1996), o progresso do conhecimento científico não se dá de forma linear, somando conhecimentos novos aos conhecimentos já existentes, mas por rupturas. O conhecimento novo guarda sempre uma relação de ruptura com o conhecimento anterior. É sempre vencendo os obstáculos epistemológicos, conhecimentos já existentes, que se constrói o novo conhecimento, que nasce sempre *contra* um conhecimento anterior. Daí estabelecer-se uma relação dialética entre o conhecimento “novo” e o “antigo”, o primeiro aparecendo como conhecimento superado, como conjunto de erros retificados. Sob esta perspectiva, não há verdades nem erros absolutos, mas apenas uns em relação aos outros.

O conhecimento científico é, historicamente, o resultado de retificações sucessivas, da batalha árdua contra os obstáculos do conhecimento comum ou pré-científico. Os obstáculos podem se incrustar em qualquer forma de conhecimento, mesmo no conhecimento científico. Eles seriam as causas de estagnação no processo do conhecer.

Saber mais, portanto, não é somar conhecimentos aos já adquiridos, mas se colocar numa outra perspectiva epistemológica, “ver” o mundo de outra forma, “ver” outras coisas no mundo antes não visíveis.

Embora seja um dos objetivos do ensino da Física que os alunos atinjam rupturas desejadas, Bachelard nos orienta a pensar menos no produto do que no processo do conhecer, na tensão constante instalada entre o “novo” e o “velho”. Bachelard nos ajuda,

deste modo, a ver com mais detalhes o conhecimento científico como um produto gerado por rupturas e não continuidades, mas também que aquelas não podem ocorrer sem estas.

Considerar um ensino que visa a contribuir para as rupturas não significa esperar que elas sejam facilmente atingidas, nem *imediatamente* após um conjunto de ações pedagógicas, nem *simultaneamente* por todos os alunos, mas sim, privilegiar o movimento histórico do conhecer encarado como processo cultural mais amplo, e ao mesmo tempo dar subsídios e instrumentos culturais para que o aluno prossiga nesse percurso após o término do período escolar. Um desses instrumentos fundamentais é, sem dúvida, a leitura.

Uma das funções da escola é a difusão de conhecimentos histórica e socialmente elaborados, os quais se encontram em ruptura com o conhecimento comum. Como não há ruptura sem continuidade, e para que a continuidade seja parte constitutiva das aulas de Ciência, é preciso que se leve em consideração toda uma cultura cotidiana, e suas mediações, que constituem heterogeneamente as representações e ideologias que mediam nossa relação com o mundo.

O processo de produção do conhecimento científico pode ser pensado tanto como um conteúdo explícito do currículo de ciência, como um conteúdo implícito. No primeiro caso, teríamos a ciência como objeto do discurso pedagógico, no segundo caso, no entanto, implicaria mudanças no próprio funcionamento deste discurso.

Já o conhecimento cotidiano, segundo Lopes (1999), seria caracterizado pela irreflexão, ligada à (necessária) automatização de grande parte das nossas ações cotidianas, ações em migalhas que constituem nossa vida diária. O conhecimento comum é feito de observações justapostas, preso ao empirismo das primeiras impressões. Ele está ligado à familiaridade.

“O saber cotidiano pode, inclusive, acolher certas aquisições científicas, mas não o conhecimento científico como tal.” (p. 143)

“As aquisições científicas do conhecimento cotidiano não interferem em sua estrutura, não modificam o caráter pragmático do conhecimento.” (idem)

Pode-se falar numa relação cotidiana das pessoas com o conhecimento científico, quando dados e leis são simplesmente aceitos, quando se desconhece a sua gênese ou a razão que os subsidia.

“As idéias necessárias à cotidianidade jamais se elevam ao plano da teoria (...)”, “(...) a própria interpretação do mundo gerada pelo senso comum é universalizante: tende a ser vista como uma filosofia totalizante, no sentido de uma totalidade fechada, capaz de dar respostas a todas as questões cotidianas, não se autoquestiona.” (p. p. 145 e 151)

Pressupondo, com Lopes (1999), que o conhecimento escolar se constitui na relação com outros dois conhecimentos, o cotidiano e o científico, como a escola, o ensino da ciência trabalha a relação dos discursos cotidiano e científico com suas respectivas memórias e implícitos? Como estes conhecimentos se relacionam do ponto de vista discursivo? Estas questões permitem pensar o conhecimento escolar e, aqueles aos quais este se relaciona, em sua historicidade. Trata-se, aqui, de pensar a historicidade da ciência tanto como conteúdo de ensino quanto como processo discursivo escolar, ou seja, lugar de um trabalho da relação entre conhecimento científico e conhecimento comum.

A partir dessas considerações a respeito do discurso e seu funcionamento e da natureza dessas distintas formas de conhecimento, o científico, o cotidiano e o escolar, posso tecer algumas considerações a respeito do conhecimento escolar, no caso do ensino da ciência, do ponto de vista discursivo.

Se o conhecimento escolar se constitui na relação com o conhecimento cotidiano e com o conhecimento científico, nesta constituição ele pode estabelecer diferentes relações entre esses discursos, representando-os em sua própria formação discursiva.

O discurso pedagógico autoritário, como aponte, procura definir sua identidade e legitimidade identificando-se com o discurso científico, apagando sua função mediadora. O discurso pedagógico pode também representar o científico como uma continuidade do cotidiano. É neste sentido que podemos dizer que o apagamento pelo conhecimento escolar da ruptura entre o conhecimento científico e o comum fazem pressupor uma continuidade que pode ser obstáculo à compreensão e legibilidade do discurso científico.

Segundo Maingueneau (1997) não se deve compreender as formações discursivas como blocos compactos que derivam sua identidade de si mesmos, mas como blocos heterogêneos, cujo fechamento é instável. Na verdade há relações entre as formações discursivas e uma maneira de compreender os processos discursivos é considerar que uma formação discursiva adquire sua identidade na relação com outras. “A formação discursiva aparece como o lugar de um trabalho no interdiscurso” (p. 113).

“a toda formação discursiva é associada uma memória discursiva, constituída de formulações que repetem, recusam e transformam outras formulações.” (p. 115).

Em cada época haveria um *universo discursivo*, isto é, um conjunto heterogêneo de enunciados, produzidos por práticas discursivas irreduzíveis, composto de tudo o que foi dito, de tudo o que se diz.

Neste universo pode-se definir, a partir de hipóteses explícitas do analista, um *campo discursivo*, isto é,

“com um conjunto de formações discursivas que se encontram em relação de concorrência, em sentido amplo, e se delimitam, pois, por uma posição enunciativa em uma dada região.” (idem, p. 116)

Já o *espaço discursivo* seria a região delimitada dentro do campo discursivo em que duas formações discursivas mantêm relações privilegiadas. Novamente, isso decorre de hipóteses do analista.

“Uma formação discursiva dada não se opõe de forma semelhante a todas as outras que partilham seu campo: certas oposições são fundamentais, outras não desempenham diretamente um papel essencial na constituição e preservação da formação discursiva considerada.” (idem, p. 117)

Podemos pensar o discurso pedagógico como aquele em que funciona um espaço discursivo caracterizado pela relação de descontinuidade entre o discurso cotidiano e o científico, ou seja, pela relação entre duas formações discursivas diferentes. Isso implica que a identidade discursiva está construída na relação com o Outro. Em termos do conhecimento escolar da física, isso significa que a imagem do discurso/conhecimento científico vai ser

construída na relação com o discurso/conhecimento cotidiano, ainda que implicitamente (e vice-versa).

A consideração dessas oposições não é novidade no âmbito da pesquisa em ensino da ciência, como lembra Lopes (1999)

“(...) pesquisas na área de Ensino de Ciências debatem a necessidade de valorizarmos as concepções prévias dos alunos. De maneira geral, essa linha de pesquisa, de base construtivista, não problematiza as concepções prévias como parte do conhecimento cotidiano dos alunos, ou como componente de uma cultura mais ampla.” (p. 137)

Ao analisar discursos que remetem ao espaço cósmico, estou trabalhando com um campo discursivo onde o conhecimento cotidiano realizou aquisições científicas e foi historicamente modificado pela intervenção da ciência e da tecnologia em nossa sociedade.

Se na AD francesa pude encontrar uma teoria que pensa a relação entre linguagem e ideologia na mediação do sujeito com a realidade, em Bachelard (1996) encontrei a idéia de que o conhecimento científico constrói uma outra realidade, um conhecimento que nega os conhecimentos primeiros, imediatos, sensíveis, dos quais o sujeito nem sempre tem consciência, ou seja, a idéia de ruptura.

O conhecimento do senso comum se inscreve numa formação discursiva diferente da do conhecimento científico. Formações que, no entanto, possuem uma relação entre si, uma relação de negação, uma relação polêmica ainda que não explicitada, mas constitutiva. São estas formações discursivas, e esta forma de relação entre elas que tomo como aspecto privilegiado da análise.

Segundo Orlandi (1999),

Pela natureza incompleta do sujeito, dos sentidos, da linguagem (do simbólico), ainda que todo sentido se filie a uma rede de constituição, ele pode ser um deslocamento nessa rede. Entretanto, há também injunções à estabilização, bloqueando o movimento significante. Nesse caso, o sentido não flui e o sujeito não se desloca. Ao invés de se fazer um lugar para fazer sentido, ele é pego pelos lugares (dizeres) já estabelecidos, num imaginário em que sua memória não reverbera. Estaciona. Só repete. (p. 54)

Deslocar o sentido não pode ser separado do deslocar do sujeito. Este deslocamento significa a constituição de um novo lugar que só pode ser construído pela inscrição do sujeito numa outra formação discursiva e ideológica. Com certeza, a função do ensino médio não é formar cientistas, mas, entre outras, dar condições para que o discurso científico não seja representado como continuidade do comum, condições mínimas para que se perceba que se fala do real de outro lugar e sobre como funciona este lugar.

A significação não é o lugar da transparência, mas da memória, dos implícitos. Nas análises procuro pelos implícitos que constituem o próprio discurso científico, buscando como eles se produzem, atuam na produção do conhecimento escolar.

A seleção de que a cultura escolar é o resultado e a causa, tem esquecido, apagado os implícitos de que a leitura da ciência necessita.

A respeito das imagens da ciência, por exemplo, Sicard (2000) vai dizer que:

“As intenções, as escolhas que introduziram a realização, os modos de fabricação, as restrições e artefatos, são deixados em silêncio. Como se a negação da materialidade da imagem constituísse uma garantia de objetividade. Como se ela garantisse, ao invés de realidades virtuais, uma imersão total no mundo, e portanto, uma maior eficácia.” (p. 32)

E sobre a relação do discurso pedagógico com o discurso científico, no campo do ensino da ciência, Almeida (1998), vai dizer que:

“O problema (...) está no que é amplamente divulgado e no que é omitido. Parece haver a suposição tácita de que condições e métodos interessam aos cientistas, e, desse modo, o discurso científico, que chega à maioria da população, na escola, nos meios de comunicação de massa, é constituído apenas de resultados, um produto acabado e pronto para ser consumido. Sem as condições em que foi produzido, o dizer da ciência perde a historicidade; sem processos de construção visíveis, torna-se absoluto e difícil de ser internalizado. Desta forma, destina-se a poucos.” (p. 57)

A fim de compreender como a aprendizagem escolar se relaciona com o contexto histórico-cultural mais amplo no que tange à gravitação newtoniana, foi preciso, do ponto de vista da metodologia de ensino, elaborar situações e selecionar recursos adequados que permitissem estabelecer no e pelo discurso relações entre o contexto escolar e este contexto

científico-tecnológico marcado não apenas pela “era espacial”, como pela divulgação ampla de imagens relacionadas à astrofísica, cosmologia e pesquisas espaciais; e, por outro, do ponto de vista da metodologia de pesquisa, pressupor que as significações escolares remetem, não só a uma memória escolar, mas a processos de significação não exclusivamente escolares, ou seja, supor que intervêm no discurso escolar elementos de um interdiscurso que está vinculado à cotidianidade dos estudantes, sentidos que circulam “fora” da escola.

Ainda que seja preciso distinguir a metodologia de ensino da metodologia de pesquisa, neste trabalho há uma forte relação entre elas, pois a produção dos dados desta pesquisa não resulta apenas de um dispositivo analítico, derivado, por sua vez, de um dispositivo teórico (Orlandi, 1999), mas também de uma determinada metodologia de ensino que está implicada nas condições de produção dos discursos que se quis analisar. Nesta pesquisa, não apenas tomei para análise enunciações já produzidas, como, no papel de professor, intervim na produção dessas enunciações. Esta intervenção, pedagógica, se inscreve num contexto construído historicamente que possui suas memórias. O que quero tornar visível são os aspectos de um trabalho pedagógico que considera a existência dessas memórias na sua constituição, visando deslocá-las, reconstituí-las.

A consideração teórica dos implícitos está implicada tanto na metodologia de análise de dados, quanto na metodologia de ensino. Implícitos que dizem respeito às condições de produção do discurso científico, do discurso comum, e do discurso pedagógico relativo à instituição escolar.

As estratégias de ensino adotadas puseram o discurso pedagógico a funcionar de determinadas maneiras e não outras, a constituir determinados sentidos e não outros. Estas estratégias também derivam, em parte, do dispositivo teórico da AD ao assumir, neste trabalho, esta concepção de discurso e sua relação com a memória, os implícitos.

Neste estudo a AD não fornece apenas instrumentos analíticos para constituir um determinado gesto de leitura frente aos fatos de linguagem, mas também subsídios para a constituição de uma prática pedagógica que implicou na produção de determinados fatos de linguagem que se quis analisar. A constituição desta prática pressupôs opções de natureza política relacionadas a como se compreende o papel da educação em ciência, no qual o lugar das condições de produção do discurso científico é fundamental.

Aqui, textos e imagens foram elementos de um processo escolar que visou uma formação cultural mais ampla. Os textos são importantes na escola porque faltam no cotidiano dos estudantes; as imagens, pelo motivo inverso, porque o constituem implacável, sutil e massivamente. Por isso textos e imagens, suas leituras, suas condições, fizeram parte do currículo que se configurou nas práticas que compuseram a unidade de ensino, contexto no qual analiso produções discursivas em torno da síntese newtoniana.

2.3. Discursos pelas imagens

Imagem, memória, discurso

Oliver Sacks (1995), no livro “*Um antropólogo em Marte*”, conta a história de um paciente, Virgil, cego desde a infância, que recupera a visão mais de quarenta anos depois através de uma cirurgia de remoção de catarata. Embora após a cirurgia tivesse obtido uma visão considerada clinicamente boa, ele ainda não podia ver!

“Mas quando Virgil abriu os olhos, depois de ter sido cego por 45 anos – tendo um pouco mais que a experiência visual de uma criança de colo, há muito esquecida – , não havia memórias visuais em que apoiar a percepção; não havia mundo algum de experiência e sentido esperando-o. Ele viu, mas o que viu não tinha qualquer coerência.”
(Sacks, 1995, p. 129)

É necessária a experiência para ver. E creio que isso possa ser dito tanto para os objetos e situações “reais”, quanto para os objetos e situações criados para serem vistos e produzirem efeitos simbólicos: as imagens.

Davallon (1999), discutindo a questão da imagem como operador de memória social, vai fazer uma distinção entre memória coletiva e história. A primeira estaria relacionada ao que ainda é vivo na consciência do grupo para o indivíduo e para a comunidade. Embora a memória coletiva tenha a capacidade de conservar o passado, paradoxalmente ela tem sua fragilidade no fato de que o que é vivo na consciência do grupo desaparecerá com seus membros. A memória coletiva possui uma dimensão intersubjetiva, um fundo comum de dados e noções aos membros da comunidade social. “Em compensação, a história resiste ao tempo; o que não o pode a memória” (idem, p. 26). É o entrecruzamento dessa vivacidade e

impressionabilidade da memória coletiva com a resistência ao tempo da memória histórica que pode criar uma memória social. Assim, diz ele, os objetos culturais, ou seja, “o conjunto de objetos concretos (livros, escritos, imagens, filmes, arquiteturas, etc.) que resultam de uma produção formal e que são destinados a produzir um efeito simbólico” (Davallon, 1999, p. 35) vão no sentido de uma conjunção, de um entrecruzamento, de uma síntese entre memória coletiva e história.

Davallon supõe que a imagem intervém no estabelecimento de uma forma de memória social própria à nossa época e à nossa sociedade. A imagem é considerada pelo autor um operador de memória social, na medida em que ela pode operar um certo acordo (implícito) dos olhares, constituindo uma comunidade. A imagem define posições de leitor abstrato que o espectador concreto é convidado a vir ocupar.

Os estudantes fazem parte de diferentes “comunidades de olhares”. Por outro lado, a escola participa da construção dessas comunidades de olhares, dessa memória social própria à nossa sociedade. Ao trabalharmos determinadas imagens e não outras, de determinados modos e não outros, estamos lhes fazendo um convite. Um convite que precisa ser amplo o suficiente para abarcar o maior número possível de estudantes numa sala de aula.

A leitura de imagens não pressupõe apenas uma experiência visual individual, mas a inscrição numa história. É necessária uma memória, eu diria, discursiva, para ler imagens.

“Conforme Bacon sugeriu, infelizmente (ou felizmente) só podemos ver aquilo que, em algum feitio ou forma, nós *já* vimos antes. Só podemos ver as coisas para as quais já possuímos imagens identificáveis, assim como só podemos ler em uma língua cuja sintaxe, gramática e vocabulário já conhecemos.” (Manguel, 2001, p. 27)

Estas considerações permitem que se pense a leitura da imagem de um ponto de vista discursivo, ou seja, como produção de sentidos que se inscreve numa memória, numa interdiscursividade. É preciso retomar aqui as considerações que já fiz a partir da linha francesa da Análise de Discurso.

Por memória discursiva, ou interdiscurso, compreende-se “*o saber discursivo que torna possível todo dizer e que retorna sob a forma do pré-construído, o já-dito que está na base do dizível, sustentando cada tomada de palavra.*” (Orlandi, 1999, p. 31). Esta é

uma memória necessariamente esquecida pelo sujeito. Trata-se de um esquecimento estruturante, não de um “defeito”: “*os sujeitos ‘esquecem’ que já foi dito - e este esquecimento não é voluntário - para, ao se identificarem com o que dizem, se constituírem em sujeitos*” (idem, p. 36).

Permito-me parafrasear a citação de Orlandi para o caso da linguagem não-verbal das imagens: o saber discursivo que torna possível todo *ver* e que retorna sob a forma do pré-construído, o *já-visto* que está na base do *visível*, sustentando cada *visibilidade*.

O interdiscurso, ou memória discursiva, está implicado simultaneamente na constituição histórica dos sentidos e dos sujeitos, fenômenos inseparáveis, já que “a toda formação discursiva é associada uma memória discursiva, constituída de formulações que repetem, recusam e transformam outras formulações.” (Maingueneau, 1997, p. 115)

Por memória discursiva compreende-se que “algo fala [foi visto] sempre antes, em outro lugar e independentemente” (Pêcheux, 1995, p. 162).

As imagens que vemos (lemos) se inscrevem numa rede que lhes permite a própria visibilidade. Podemos construir verbalmente uma história que relacione diferentes imagens.

“Quando lemos imagens – de qualquer tipo, sejam pintadas, esculpidas, fotografadas, identificadas ou encenadas –, atribuímos a elas o caráter temporal de uma narrativa. Ampliamos o que é limitado por uma moldura para um antes e um depois e, por meio da arte de narrar histórias (sejam de amor ou de ódio), conferimos à imagem imutável uma vida infinita e inesgotável.” (Manguel, 2001, p. 27)

Mas há uma historicidade implícita, não verbalizada, que constitui a visibilidade das imagens que olhamos.

Alberto Manguel observa que,

“(…) na efervescência da Bolonha do século XVI, uma pintura, fosse um retrato ou uma cena, fosse religiosa ou alegórica, histórica ou privada, era criada com a *intenção* de ser lida.” (Manguel, 2001, p. 143)

E acrescenta:

“Paradoxalmente, na nossa época, quando as imagens ganham novamente preeminência sobre a palavra escrita, falta-nos esse vocabulário visual compartilhado. Temos permitido que a propaganda e a mídia eletrônica privilegiem a imagem para transmitir informações instantaneamente ao maior número de pessoas; esquecemos que a própria velocidade as converte na ferramenta ideal de comunicação para toda sorte de propaganda, porque, manipuladas pela mídia, essas imagens não nos dão tempo para uma crítica ou reflexão pausada.” (Manguel, 2001, p. 143-144)

Ao vermos (lermos) imagens, de ontem e de hoje, inscrevemo-nos num conjunto de regras anônimas que produzem os efeitos da nossa leitura. Não é por não refletirmos sobre as imagens que olhamos, que elas deixam de fazer sentido. O que deixa de ser significado enquanto tal é o próprio fato de as estarmos lendo e o fato de elas representarem também uma leitura da realidade.

Embora a imagem possa ser lida e sua leitura considerada como um discurso, é preciso considerar dois aspectos. Em primeiro lugar, que este discurso opera sobre uma materialidade diferente da materialidade lingüística do discurso verbal. Em segundo lugar, que este discurso não-verbal pode ou não estabelecer uma relação, e de diferentes formas, com um discurso verbal.

Há também diferenças entre as diversas naturezas de imagens, como por exemplo entre a fotografia e a pintura. Manguel aponta uma especificidade da fotografia, tipo de imagem que também está na base do funcionamento da TV e do cinema:

“(...) todas essas formas de arte – escrita, escultura, pintura – definem-se como subjetivas, admitem as próprias ficções, exigem do público, a fim de existirem (conforme Coleridge assinalou), a ‘suspensão voluntária da descrença’. A fotografia, porém, embora admitindo a subjetividade da câmera, repousa na nossa convicção de que aquilo que nós, os espectadores, vemos existiu de fato, que aquilo ocorreu em determinado e exato momento e que, como realidade, foi apreendido pelo olho do observador.” (Manguel, 2001, p. 92-93)

Esta especificidade é fundamental para a compreensão do funcionamento discursivo das imagens, no âmbito da Análise de Discurso francesa. Imagens são produzidas e estabelecem, assim como os textos escritos, diferentes relações com suas condições de

produção. É justamente a imagem fotográfica a que parece melhor se prestar ao *esquecimento*, de que nos fala Pêcheux (1995), que produz uma identificação completa entre a imagem e a realidade. Este aspecto ganha ainda nuances discursivas diferentes se se trata de um conjunto de imagens funcionando num discurso destinado a produzir “verdades”.

Souza (2001) vai apontar uma diferença importante entre, de um lado o cinema e do outro o documentário⁹ e a TV, quando diz que “no cinema a imagem é explorada em toda a sua densidade como forma de linguagem e significa sem vir ancorada no verbal” (p. 70). A TV pode ser simplesmente ouvida, ainda que o discurso verbal e o das imagens interajam na produção mútua de seus sentidos. Normalmente, na TV e em documentários, assim como na mídia impressa, existe um parafraseamento da imagem, ou seja, falas que se sobrepõem à imagem, que falam *a* imagem, interpretando e direcionando sentidos, como se discurso verbal e não-verbal coincidissem, dissessem a mesma coisa. No cinema, diferentemente, as falas e outros sons, músicas, são inerentes, elementos constituintes da imagem.

Um texto verbal pode estabelecer ou não, e de diferentes modos, uma relação com o texto não-verbal (imagem). Estas relações constituem formas de heterogeneidades fundamentais na compreensão do funcionamento discursivo das imagens (e dos textos verbais).

Outro elemento importante para pensar o funcionamento das imagens do ponto de vista discursivo é considerar a incompletude. A questão da incompletude é fundamental na Análise de Discurso, tanto no caso do texto verbal quanto do não-verbal. Ambos os textos são objetos acabados mas incompletos do ponto de vista da significação. Por isso, em toda leitura, seja do texto verbal ou não-verbal, há interpretação (mesmo que não consciente, intencional), na tensão constante entre repetição e deslocamento de sentidos.

Na interpretação do texto não-verbal há produção de outras imagens (outros textos), produzidas pelo espectador (Souza, 2001), assim como imagens já-vistas, em outros lugares, outros tempos, significam na visualização da imagem, aliás, tornam-na visível.

⁹ Há muitos tipos de documentários; refiro-me aqui aos documentários típicos que geralmente possuem uma voz em off, um locutor não identificado que fala, verbalmente, o que supostamente a imagem estaria dizendo não-verbalmente.

“Ao se interpretar a imagem pelo olhar - não através da palavra - apreende-se a sua matéria significativa em diferentes contextos. O resultado dessa interpretação é a produção de outras imagens (outros textos), produzidos pelo espectador a partir do caráter de incompletude inerente, eu diria, à linguagem verbal e não-verbal. (...) Quando se recorta pelo olhar um dos elementos constitutivos de uma imagem produz-se outra imagem, outro texto, sucessivamente e de forma plenamente infinita.” (Souza, 2001, p. 73)

A leitura de imagens se dá pela articulação com outras imagens, implícitas, silenciadas, ausentes, presentes, passadas.

Na leitura da imagem intervêm imagens que não estão visíveis, porém sugeridas, implícitas a partir de um jogo, previamente oferecidas, e outras que podem ter sido apagadas, silenciadas (Souza, 2001).

“O trabalho de compreensão do espectador passa, assim, pela inferência dessas imagens (sugeridas), movimento que imprime também ao texto não-verbal o caráter de sua heterogeneidade (...)” (idem, p. 75)

“(...) as imagens não são visíveis, tornam-se visíveis a partir da possibilidade de cada um projetar as imagens possíveis que, necessariamente, não compõem a estrutura visual do texto não-verbal em si, mas compõem a rede de imagens mostradas, indicadas, implícitas, metaforizadas ou silenciadas.” (idem, p. 81)

É neste sentido que o trabalho de leitura de imagens, assim como o de textos verbais (sejam orais ou escritos), é um trabalho sobre e a partir de uma memória discursiva.

Imagem e escola

Na escola parece operar um processo de seleção de objetos culturais também ao nível das imagens. Do mesmo modo que comumente se privilegiam determinados textos, “escolares”, como livros didáticos, apostilas, resumos colocados na lousa, em detrimento de suportes textuais que circulam em nosso cotidiano, freqüentemente imagens, e principalmente fotos, que circulam em nossa cotidianidade, não são trabalhadas na escola ou não adquirem a mesma importância que outras imagens mais “didáticas” e “escolares”, embora elas possam ser encontradas ilustrando livros didáticos, outros materiais textuais, painéis, murais. Bernuy

et al. (1999), analisando livros didáticos de ciências e de física, apontam que imagens não são apenas ilustrações subordinadas ao texto escrito, mas constituem-se também no conteúdo do texto propriamente dito e constataam um crescente uso das imagens e a crescente variedade destas imagens nos livros didáticos, assim como uma grande complexidade de suas estruturas visuais. O fato de a escola comumente não trabalhar as imagens cotidianas e seus suportes não significa que elas não estejam agindo na significação, na visualização dos estudantes. Não é exatamente pela falta de determinadas imagens na escola que opera esta seleção, mas pela diferenciação na forma de trabalho efetivo, implicando numa diferente valorização implícita de determinadas imagens em detrimento de outras.

Implicadas nesse processo de valorização, seleção, encontram-se as diferentes relações que se estabelecem entre o discurso verbal de professores e estudantes e as diferentes imagens, em diferentes situações e contextos. As imagens trabalhadas na escola, em disciplinas como ciências, física, biologia, química, raramente podem ser lidas sem o discurso verbal do professor. Freitas (2001) analisa, por exemplo, os espaços ocupados pelas imagens canônicas em aulas de biologia. Diferentemente, imagens cotidianas como fotografias aparecem como ilustrações, enfeites e raramente são relacionadas ao discurso verbal de professores e estudantes, num espaço onde é o discurso verbal que é privilegiado. Ou seja, a escola comumente não trabalha com as imagens que constituem a cotidianidade dos estudantes.

Com Davallon (1999), posso supor que, em se tratando de imagens não-escolares a posição de leitor-escolar, na mediação pela imagem, pode se identificar com a posição de leitor-não escolar, fazendo intervir a experiência (e a memória) da cotidianidade na sala de aula. Isso não seria tão relevante para a escola se não vivêssemos numa cultura onde a relação com as imagens (com determinadas imagens e não outras) faz parte da história de vida dos indivíduos.

Num contexto cultural como aquele em que vivemos, marcado pelo visual, pelas imagens, não podemos deixar de considerá-las parte de um interdiscurso com o qual o discurso escolar necessariamente interage, ainda que implicitamente. As imagens, principalmente as televisivas são parte do cotidiano extra-escolar dos estudantes, mediação contemporânea fundamental da nossa relação com a realidade natural, social e política.

“(...) atualmente, há uma grande maioria de pessoas cuja inteligência foi e está sendo educada por imagens e sons, pela quantidade e qualidade de cinema e televisão a que assistem e não mais pelo texto escrito.” (Almeida, 1994, p. 8)

Para Almeida (1994), imagens e sons podem ser pensados como aspectos fundamentais de uma nova cultura oral.

“As imagens e os movimentos sonorizados do cinema e da televisão têm um grau forte de ‘realidade’. Realidade no sentido de que aquilo que a pessoa está vendo ‘é’, mais do que ‘parece ser’. Na projeção de um filme ou na televisão qualquer coisa ou pessoa que apareça está sendo vista e não lida ou escutada. Existe porque está sendo vista. Esta proximidade real das imagens tem uma configuração muito próxima da oralidade (...)” (p. 9)

A linguagem escrita trabalha sempre com abstrações universais, generalizáveis. A casa pode ser qualquer casa e não uma casa específica. Já as imagens nunca são gerais, sempre “reproduzem” particularidades. A imagem de uma casa na TV ou no cinema é *aquela* casa e não outra.

“A imagem/som projetada, por mais fantasiosa que seja, é sempre real; está sendo vista/ouvida como no mundo real. A sua relação com a imaginação é direta e global, quase sem mediações, semelhante à situação da fala (oral). É muito diferente da imaginação reflexiva, mediada pela palavra escrita e pela sintaxe de um texto literário. É essa homologia com a fala (oral) e com a realidade visível/audível que dá ao cinema e à TV sua força e domínio sobre as populações orais atuais.” (Almeida, 1994, p. 26-7, nota de rodapé).

Supor esta forma de oralidade é ir ao encontro da cotidianidade dos estudantes.

Mas ensinar/aprender a ler imagens é trabalhar uma memória, confrontá-las, opô-las às imagens já-vistas (e esquecidas), e às não vistas, mas que constituem a história de um olhar, de uma visibilidade.

Na sala de aula, cada tomada de palavra (oral ou escrita), seja por parte do professor, seja pelos estudantes, se inscreve numa história de sentidos e modos de significar, de dizer (ler e escrever). História escolar, no sentido mais restrito, e história “extra escolar” no sentido mais amplo.

Ao analisar o funcionamento de imagens relativas ao espaço cósmico em sala de aula, recorte compreendido nesta pesquisa, é preciso considerar tanto a história da relação da escola quanto a história da relação dos sujeitos com as imagens, pois é a partir da inscrição nessas histórias e memórias que se dão os processos de interpretação e significação escolares, mediados pelas imagens.

Sobre as imagens relativas ao espaço cósmico, podemos dizer com quase toda certeza: não há estudante que não as tenha visto.

E sobre a memória da relação escola-imagem a diferença apontada por Souza (2001) entre TV e documentário, de um lado, e cinema de outro, é particularmente importante para a compreensão do funcionamento das imagens fílmicas em sala de aula. No espaço escolar há, historicamente, um predomínio e uma valorização do verbal. Pinturas, desenhos ocupam espaços secundários, raramente fazem parte das avaliações (sempre escritas), e as próprias disciplinas em que são elementos essenciais são consideradas menores. O discurso fílmico dos documentários e da TV, na sua relação com o verbal, é mais próximo deste discurso verbal escolar, do que o discurso fílmico do cinema. A posição dos ouvintes/espectadores, enquanto alunos, é portanto, diferenciada quando se exhibe um filme ou um documentário.

Em sala de aula estabelecem-se diferentes relações entre os discursos verbais e as imagens. A forma como o discurso verbal do professor se relaciona com as imagens que utiliza vão configurar diferentes modos de leitura de seu próprio discurso e do discurso das imagens.

Na escola, a função das imagens pode ser a de ajudar a dar visibilidade ao objeto do discurso verbal, e teremos determinadas relações estabelecidas com este discurso verbal do professor, dos alunos e dos textos. Mas também pode ser a de propiciar uma certa compreensão sobre como esta visibilidade é produzida.

Imagem e ciência

Mas a ciência, e as tecnologias a ela associadas, também produzem imagens, e boa parte delas circulam pelos diversos meios de comunicação, desde a TV aos filmes, passando por outdoors, revistas, jornais, internet, inserindo-se numa ampla e complexa gama de processos discursivos que extrapolam os domínios da instituição científica.

Como aponta Sicard (2000), ninguém escapa do empreendimento das imagens poderosas criadas pelos inventores, descobridores, especialistas, cientistas, pesquisadores. “As racionalidades científicas têm uma grande parte de responsabilidade na construção do magazine de imagens em meio ao qual vivemos” (p. 26). Esta racionalidade representa um implícito na leitura destas imagens. Na sua produção, dentro da ciência, há valores, pressupostos, hipóteses, teorias em jogo que não estão visíveis na imagem, mas que fazem parte das suas condições de produção.

Galileu apontou sua luneta para o céu e viu manchas solares, crateras na Lua, “planetas” girando *rapidamente* em torno de outro planeta e utilizou essas imagens como “prova” factual de sua visão do cosmos, refutação factual da visão cosmológica aristotélica. No entanto, era a sua visão do cosmos que dava visibilidade a essas imagens. Seus contemporâneos aristotélicos não conseguiram ver o que ele via, mesmo olhando os mesmos objetos pelo mesmo instrumento. Pode-se dizer que o olhar telescopicamente instrumentalizado da astronomia que se inicia com Galileu no século XVII, já inscrevia as imagens do espaço cósmico num processo discursivo que opunha duas formações discursivas antagônicas: a que concebe a Terra como lugar singular, diferente dos lugares cósmicos e a que concebe a Terra como um corpo cósmico. É dentro deste espaço discursivo que questões como a mobilidade ou não da Terra, e a própria mecânica galileana-newtoniana vão ser construídas.

Entre estas muitas imagens produzidas pela ciência, as referentes ao espaço cósmico sem dúvida nenhuma ocupam, por vários motivos, um papel de destaque. Considero como imagem relativa ao espaço cósmico qualquer imagem que tenha como objeto uma situação, um evento que tenha ocorrido no céu ou esteja de alguma forma relacionado ao ambiente espacial. As imagens do espaço cósmico incluem assim a própria Terra, cuja visibilidade fotográfica só foi possível com o desenvolvimento das tecnologias espaciais.

Algumas dessas imagens estão relacionadas a representações envolvidas na geopolítica que define relações de poder entre os países. O caso mais evidente foi a Guerra Fria, em que o domínio dessas tecnologias espaciais se vinculava ao “sucesso” de um ou outro sistema econômico e político. O lançamento de um foguete, a chegada do homem à Lua, eram celebrações do poder e do sucesso de um determinado sistema político e econômico. Há toda

uma arena de posições discursivas de cuja configuração estas imagens participaram e ainda participam, assim como há uma grande desigualdade no domínio/controlado de sua produção e divulgação. O domínio dessas tecnologias espaciais permite um domínio também sobre visibilidade do espaço geográfico terrestre.

Estas imagens, parte das aquisições científicas pelo conhecimento cotidiano, como este conhecimento é entendido por Lopes (1999), mediam nossa relação com o espaço cósmico de maneiras singulares. Elas estão associadas à visibilidade do invisível, a uma profusão enorme de objetos e eventos, a um campo de fenômenos os quais não podemos “experienciar” senão através de imagens, mas que, por conta de sua maciça divulgação, e pela própria força que une o visual, principalmente o fotográfico, à realidade, acabam se tornando cotidianos, familiares, como se fossem parte do vivido. É certo que certas imagens se prestam mais que outras a esta identificação total entre representação e realidade. É certo também que, como aponta Sicard (2000), nem a ciência escapa a esse fenômeno, mas nela ele se torna ainda mais paradoxal. As imagens da ciência não são “fotografias” do real, mas são usadas como se fossem a natureza falando por si mesma (Sicard, 2000).

Sicard ainda aponta um fato importante no que tange à divulgação dessas imagens que constituem nosso cotidiano, ao notar que “as intenções, as escolhas que introduziram a realização, os modos de fabricação, as restrições e artefatos, são deixados em silêncio” (p. 32). E ainda, “(...) essas imagens funcionam apenas inseridas nos sistemas de racionalidade que misturam escritos, saberes implícitos, não ditos, outras imagens materiais e psíquicas” (p. 32-33).

Imagens do espaço cósmico

Em todas as culturas, de todas as épocas, significações sobre o homem e a Terra estão e estiveram interligadas, de diferentes maneiras, a significações sobre o céu, o cosmos, o espaço cósmico, definindo-se mutuamente.

Em nossos dias, estas representações sobre o espaço cósmico passam necessariamente pelas imagens produzidas pela ciência e tecnologia, nos campos da pesquisa espacial, da cosmologia e da astrofísica, ou a elas estão de algum modo associadas.

Nas falas do fotógrafo americano Michael Light¹⁰ podemos ver um exemplo desta significação recíproca na correlação céu/espaço cósmico-Terra/homem,

“O conjunto de fotos [da Lua obtidas durante as missões do projeto Apollo] conota tanto uma sedução como a violência da expansão territorial, radicalmente mudando a maneira como os seres humanos se percebem no universo, para sempre.”

“Nós pensávamos que as missões Apollo eram apenas para chegar à Lua, e eram mesmo, mas sua herança mais duradoura é a reflexão que propiciaram sobre a Terra mesmo.”¹¹

Algumas imagens do espaço cósmico, do céu, podem ser analisadas em termos da relação entre dois espaços discursivos: os discursos que remetem à Terra e ao homem e os discursos que remetem ao céu, ao cosmos. Um funciona como o implícito do outro. A relação pode se dar na própria materialidade da imagem ou como inferência. As imagens do espaço cósmico não apenas participam da significação de seu objeto, mas, implicitamente, da significação da Terra e do homem, mesmo que estes estejam ausentes daquelas imagens.

Esta relação é fundamental, tendo-se como foco o discurso da gravitação newtoniana que sintetiza, funde, epistemológica e ontologicamente estes dois espaços discursivos.

As imagens das páginas I e II foram criadas pelos irmãos Limbourg no século XV para ilustrar um manuscrito do Duque de Berry na França. Trata-se de uma espécie de calendário iconográfico, numa época em que havia uma estreita relação entre o tempo terrestre, social, cotidiano e o tempo astronômico. Nestas pinturas temos as duas representações na mesma imagem: do homem/da Terra e do céu/do espaço cósmico.

Na imagem da página I há uma estrutura vertical polissêmica. O céu acima, a Terra, abaixo, dividem a imagem em duas partes. Na Terra, outras subdivisões: acima, a igreja (o lugar do clero) e o castelo (lugar da nobreza), abaixo, o lugar do trabalho, dos homens comuns. Entre os homens, o homem acima, a mulher abaixo. Trata-se não apenas de uma verticalidade espacial da imagem, mas de uma hierarquia, onde os elementos se sucedem de

¹⁰ Em entrevista publicada no jornal *O Estado de São Paulo*, em 31/10/99.

¹¹ Michael Light fez uma exposição de fotos da Lua chamada Full Moon, trabalhando, ampliando imagens da NASA do projeto Apollo, exposta no MoMA de São Francisco, Estados Unidos, em 1999.

cima para baixo numa escala descendente de valores. Ao descermos o olhar pela imagem, descemos uma hierarquia de posições sociais que transcendem a própria esfera terrestre, uma hierarquia de lugares “naturais” numa ordem cósmica marcada por uma diferenciação e uma hierarquização ontológicas. O espaço da imagem, sua verticalidade não existe independentemente dos corpos que o ocupam, assim como as qualidades destes dependem do lugar que ocupam nesse espaço. Não se trata de uma verticalidade geométrica, mas metafísica, política, ideológica. Esta é a única posição em que esta imagem poderia ser colocada. Invertê-la significaria a privação de seu sentido.

Na imagem da página II temos uma outra organização “geométrica”, agora com simetria quase circular. Não é verticalmente que lemos esta imagem, mas do centro para as bordas e vice-versa. No centro da imagem, o homem. Mas o centro da imagem, o lugar do homem e da Terra que ele habita, é também o centro da esfera celeste, aqui cortada no plano de eclíptica, onde estão as constelações do zodíaco.

Essas imagens se inserem na história das representações das relações entre o homem e o Universo. As colocações de Arthur Koestler (1989) em seu *O homem e o universo*¹² nos ajudam a ver estas imagens e a compreender estas representações:

“Era um universo fechado, como fechada cidade medieval. No centro a terra, escura, pesada e corrupta, rodeada pelas esferas concêntricas da Lua, do Sol, dos planetas e das estrelas numa ordem ascendente da perfeição, até a esfera do *primum mobile*, e, além desta, o empíreo de Deus.

Mas a hierarquia de valores, que se prende a esta hierarquia no espaço, a simples divisão original em regiões sublunar e supralunar cede lugar a um infinito número de subdivisões. Mantém-se a diferença básica original entre a rude e terrena mutabilidade e a permanência etérea; mas ambas as regiões são subdivididas de tal modo que o resultado é uma escada contínua, ou escala gradativa, a se estender de Deus até a mais baixa forma de existência. (...)

(...)

A corrente assim unificada, ia então do trono de Deus ao mais ínfimo dos vermes. Foi mais estendida para baixo, através da hierarquia dos quatro elementos, até a natureza inanimada. (...)

(...)

O segredo do universo medieval é que é estático, imune contra a mudança; que cada artigo no inventário cósmico tem seu lugar

¹² A primeira edição deste livro foi publicada com o título “Os sonâmbulos”.

permanente, a sua posição, a ele atribuída num dos degraus da escada. (...) A ordem social é parte da corrente, e parte que liga a hierarquia dos anjos à hierarquia de animais, vegetais e minerais.” (Koestler, 1989, p. 60-63)

A síntese newtoniana criou condições para que se construísse outra imagem da relação céu/espaco cósmico – Terra/homem que implicou, como aponta Koyré (1968), o abandono do cosmos, ou seja, dessa ordem hierárquica, e a geometrização, ou matematização do espaço.

2.4. Discursos pelos textos

Texto, memória, escola e aulas de física

Como apontei anteriormente, alguns pesquisadores na área de ensino da ciência (como Ricon e Almeida, 1991; Almeida e Ricon, 1993; Almeida, 1998; Korpan et al., 1997; Wellington, 1991), vêem a leitura como parte do currículo da educação escolar em ciência. Nesta perspectiva, a leitura é pensada não apenas como instrumento, mas como uma prática, um hábito para cuja formação as aulas de ciência (física, química, biologia) podem contribuir. As estratégias de ensino que envolvem leitura, assim como os textos selecionados, se modificam quando a perspectiva de trabalho pedagógico envolve outras finalidades além da formação conceitual.

Neste trabalho compartilho desta consideração da formação do sujeito-leitor como parte dos objetivos desse ensino. A leitura aqui é pensada como mediação com pretensões culturais mais amplas, entre o público em geral e não especificamente aquele que seguirá carreira em ciência ou engenharia, e a produção científica corrente, e não apenas os produtos do conhecimento científico.

Nesta perspectiva, interessa mais a relação que se estabelece entre o leitor, a natureza do texto e a produção da ciência, do que propriamente a aprendizagem de determinados conteúdos, ainda que esta função não esteja descartada.

A leitura de textos na escola se inscreve em práticas, espaços e tempos que, implicitamente, contribuem para sua significação no ambiente escolar. A leitura numa

determinada situação envolve a memória de outras situações ou expectativas de situações futuras. A existência destes significados, destes implícitos que constituem as práticas de leitura (e outras práticas escolares) precisa ser levada em consideração na proposição e análise de práticas alternativas ao que se tem comumente feito na escola em aulas de ciências naturais. O uso de textos não se trata de uma prática nova em aulas de física. No entanto, esta prática e o funcionamento dos textos podem ser alterados completamente quando as intenções, as expectativas, as motivações são diferentes. A prática do uso de textos por professores e alunos se inscreve numa memória e participa de sua manutenção ou transformação.

Em Silva (1997) descrevo e analiso observações de campo visando compreender a inserção de práticas de leitura em aulas de física. Nas classes observadas, a intenção, o propósito, a motivação para a leitura era única e exclusiva: a resolução de exercícios do livro didático e/ou a preparação para provas. O texto escrito aparecia dentro de uma estrutura seqüencial e mais ou menos fixa que se repetia a cada novo tópico do conteúdo. Nesta seqüência, os textos não eram efetivamente lidos em sala de aula pelos estudantes, mas se supunha e se cobrava sua leitura para as provas. A exposição do professor, seja de modo explícito ou implícito, aparecia como sendo a voz do texto, o que tornava a leitura secundária em relação à “explicação” do professor, contribuindo para instaurar um contexto onde a leitura propriamente dita se tornava irrelevante. Nesta estrutura, o lugar da voz dos estudantes, mesmo na leitura de enunciados de exercícios, era bem delimitado: ele só falava após a fala do professor.

Esta desvalorização implícita da relação dos estudantes com os textos enquanto produtores de (outros) sentidos, também é apontada em Ricon e Almeida (1991) quando analisam um ensaio no qual fora utilizado um texto de divulgação científica ao notarem que os professores pareceram atribuir uma única significação ao texto.

Se pensarmos a leitura do ponto de vista discursivo, podemos compreendê-la necessariamente como uma instância de interação que envolve leitor e autor mediados por interlocutores virtuais inscritos no texto (Orlandi, 1993). A mediação do professor pode constituir um espaço em que esses sujeitos-leitores reais e virtuais se aproximam ou se afastam. Distanciamento que está implicado na própria compreensibilidade do texto.

A divulgação científica e o discurso pedagógico

Falar da divulgação científica de modo geral é algo complexo, antes de tudo, pela sua diversidade. Podemos considerar como sendo de divulgação científica textos que se produzem visando a um público mais amplo que aquele específico da comunidade científica, cujos textos centrais seriam os publicados em periódicos especializados, os chamados *papers*. No entanto, alguns destes periódicos contém, além de textos mais técnicos, comentários, apreciações, avaliações, críticas, escritas por outros cientistas, como é o caso da *Nature*¹³ ou da *Science*, revistas que, embora publicados em inglês, podem ser encontradas em algumas bancas de jornais.

Além disso, não se pode considerar que entre o público mais amplo para o qual estes textos ditos de divulgação se dirigem, não se incluam também outros cientistas. A divulgação também é necessária internamente à comunidade científica, principalmente pela alta especialidade técnica dos artigos científicos. Não se pode considerar que parte desta literatura, embora se dirija prioritária ou explicitamente ao público mais amplo, também não se dirija implicitamente a grupos de cientistas, talvez rivais. Frequentemente, textos mais técnicos, os *papers*, não explicitam determinados pressupostos, valores, hipóteses, concepções que constituem a produção do conhecimento científico, e influenciam na escolha entre uma teoria e outra por exemplo, e, portanto, fazem parte da argumentação que visa a mostrar aos outros cientistas que aquilo que estão publicando é um fato.

Também não se pode considerar que a divulgação científica, por não ser voltada estritamente à escola e à universidade, como os livros didáticos e manuais, não vise à formação e à extensão da comunidade de origem, ainda que este não seja propriamente o caso das notícias em jornais, sendo mais o caso de livros de divulgação. E mesmo essa pretensão, menos explícita de formação, e extensão da comunidade de origem, se realiza de modos diversos, mas principalmente trabalhando com emoções, procurando despertar paixões.¹⁴

¹³ Na revista *Nature*, por exemplo, há a seção *News and Views*, onde um outro cientista da área comenta artigo (*paper*) publicado no mesmo número. Notei que os textos da notícia de jornais, assim como uma das imagens utilizadas ali, são construídos também a partir desses artigos de comentários.

¹⁴ Este é o caso, por exemplo, do livro de Alan H. Guth, **O universo inflacionário**, cujo subtítulo é “*Um relato irresistível de uma das maiores idéias cosmológicas do século.*” (Rio de Janeiro: Campus, 1997).

De qualquer forma, mesmo abarcando uma enorme gama de variedades, em estilos (às vezes próximos do literário), em profundidades e amplitudes temáticas, a divulgação científica representa um espaço de interlocução que extrapola os circunscritos círculos de leitores especialistas capacitados a compreenderem *papers* de sua própria e restrita área de trabalho. Nesta extrapolação, não há dúvida de que outros recursos e gêneros, mais próximos da linguagem comum, são colocados em funcionamento, em narrativas, ficcionais ou não, diálogos, memoriais, autobiografias e biografias, utilizando analogias e metáforas. Ela faz parte do espaço público de circulação de discursos sobre a ciência e da ciência que não se pode dizer que não constituam parte do processo de produção do conhecimento científico. Espaço em que é cada vez mais fundamental que participemos e que implica, como todo espaço de participação pública, em última instância, um viés político, e uma diversidade de modos de participação com diferentes níveis. Fazer com que o estudante se sinta parte desse espaço é um dos objetivos implícitos do uso desses textos na unidade de ensino que desenvolvemos. É esta “externalização” da situação discursiva no espaço escolar, uma das funções discursivas do uso destes textos que pretendo apontar.

Authier-Revuz (1998) considera que a divulgação científica¹⁵ se dá como uma prática de reformulação de um discurso-fonte (D1) em um discurso segundo (D2), ou seja, de tradução de um discurso existente em função de um novo público receptor. O discurso da divulgação se constitui em relação a representações tanto do discurso científico de produção de conhecimentos quanto do discurso pedagógico de transmissão institucional de conhecimentos. Visando a chegar à função da divulgação científica, ela caracteriza seu funcionamento como derivado da sua relação com essas representações.

As características do funcionamento do discurso da divulgação científica apontadas pela autora são, em grande parte, opostas a características gerais do funcionamento do discurso pedagógico, como apontadas por Orlandi (1987), o que permitirá compreender como a divulgação científica na sala de aula pôde modificar aspectos do discurso pedagógico.

Enquanto que em outros casos de tradução uma característica central é o “apagamento” do sujeito tradutor, cujo trabalho é explicitado fora do próprio texto-produto-da-tradução

(D2), em notas de rodapé, num prefácio, numa menção do tipo “traduzido de... por...”, no caso da divulgação científica, ao contrário, uma característica central seria a explicitação, a recordação constante e enfática desse trabalho de reformulação de um discurso fonte, o científico, marcada explicitamente em seu próprio texto. “Longe de esconder a maquinaria, ela a mostra sistematicamente” (Authier-Revuz, 1998, p. 109), fazendo do discurso científico não somente a fonte mas o objeto de D2, assim como por marcas de operações locais explícitas de citação, ajuste, glosa.

Destaco algumas das características levantadas pela autora colocando como exemplos trechos dos textos trabalhados em sala de aula, quando este for o caso.

Uma das características que esta autora aponta é a existência de uma insistente remissão explícita a um discurso primeiro. No D2 aparece a menção de D1 e sua enunciação, fazendo de D1 o objeto explícito de D2. Não se trata da substituição de um texto por outro equivalente, o que ocorreria numa tradução típica. D2 coloca-se face-a-face com D1 e se distancia dele. No caso dos dois artigos utilizados na unidade de ensino, ambos mencionam o suporte do texto D1, do discurso fonte, a revista *Nature*. “Os parâmetros do ato de enunciação de D1 (pessoas, datas, lugares, modalidades e circunstâncias) estão presentes de maneira insistente no fio dos textos” (p. 111).

“A teoria mais aceita (...) foi posta à prova por um trio de pesquisadores liderado por Raghunathan Srianand, do Inter University Centre for Astronomy and Astrophysics, na Índia.”

“Driblando essa dificuldade, astrônomos da Universidade da Califórnia em Los Angeles (EUA) (...).”

Uma outra característica apontada pela autora está no fato de o discurso da divulgação científica levar para D2 nada mais que a manifestação de sua própria enunciação. A ancoragem temporal da enunciação de D2 parece ser uma regra, situando os artigos como um momento dentro de um desenvolvimento, datando-os de forma explícita e repetitiva.

¹⁵ O corpus da trabalho de Authier-Revuz é composto por duas revistas de divulgação científica francesas *Science et Vie* [Ciência e Vida] e *Science et Avenir* [Ciência e Futuro] e pelo caderno *Ciências e Técnicas* do jornal francês *Le Monde*.

“O segredo do estudo, publicado hoje na revista britânica ‘Nature’ (...).”

No caso dos textos de jornais utilizados na unidade de ensino há um exemplo bastante particular dessa continuidade temporal, numa estrutura de discurso direto:

“Mesmo assim, ele [o cientista, principal autor da pesquisa relatada] faz questão de lembrar uma velha máxima da ciência. ‘Nenhuma teoria é segura’, afirma. ‘Tenho certeza de que o Big Bang, como o conhecemos hoje, é apenas parte da verdade.’”

“O veredicto será dado nos próximos anos, (...)”

Há uma menção regular do par de interlocutores de D2 e o ato de comunicação que os liga, na verdade, a existência de dois “nós”, um que reúne o leitor e o divulgador de um lado e o cientista (“eles”) de outro e, outro que reúne os três, o divulgador, o leitor e os cientistas, numa coletividade preocupada com o futuro da Ciência e do Homem.

Para a autora,

“Estes dois ‘nós’ que coexistem nos textos, marcando a separação ou a reunião do público e dos cientistas, constituem, no discurso, uma primeira imagem da mediação de que o discurso se quer como meio e da qual ele é, de fato, o lugar cênico.” (idem, p. 113)

O ato de enunciação de D2 e seus interlocutores não estão somente presentes mas são largamente representados no D2 (falam de si mesmos, de quem são).

Outra característica destacada é a dupla estrutura enunciativa, constitutiva de toda reformulação sob a forma do discurso relatado, que, no caso da DC, reveste-se, nos dois níveis, D1 e D2, de um caráter fortemente explícito. “(...) D2 mostra a enunciação do D1 que ele pretende relatar, ao mesmo tempo em que se mostra em uma atividade de relato” (idem, p. 114).

Uma quarta característica seria a existência de sequências heterogêneas no “fio do discurso” que justapõem elementos dos dois discursos, o científico e o cotidiano, não havendo sentido privilegiado, fazendo-os ocuparem uma posição simétrica, constituindo no e pelo discurso uma relação de “exterioridade-interioridade” de um discurso em relação ao outro. Simetria que, no entanto, não significa colocá-los em pé de igualdade. “No fio do

discurso, é comum que diversos elementos lembrem que os dois pólos não têm o mesmo valor”, fazendo lembrar que “o segundo discurso não é mais que uma imagem inexata e aproximativa do original” (idem, p. 119), reforçando as imagens das oposições: um discurso seria preciso, o outro incerto.

O discurso da divulgação científica diz de si mesmo e esforça-se por mostrar que é aproximativo, heterogêneo, dialógico, e ao fazê-lo, representa implicitamente o Outro:

“(...) dizer o aproximativo é remetê-lo, implicitamente, ao absoluto... Assim, esse discurso é também o lugar em que se celebra, ausente, um discurso absoluto, homogêneo, monológico, de que ele próprio é só mais uma imagem degradada.” (p. 125)

Authier-Revuz aponta ainda uma configuração de papéis na realização da enunciação da divulgação científica, composta por três lugares com duas extremidades: de um lado, o lugar da ciência ocupado por múltiplas pessoas, que se exprimem, concretamente identificadas, cuja autoridade produz a garantia da seriedade na divulgação científica; de outro lado, o público, o leitor, “aquele homem aberto, curioso pelas ciências, inteligente, e ainda consciente da distância que o separa dos especialistas, estimável ‘homem honesto’ contemporâneo” (idem, p. 114); e no meio, o divulgador, “esforçando-se para colocar os dois pólos em contato” (idem, p. 115).

O discurso pedagógico tem funcionado diferentemente, produzindo outros efeitos, configurando outros lugares e papéis, produzindo outra representação de si mesmo, da ciência, e de seus interlocutores, professor e estudantes.

O discurso pedagógico, como vem sendo praticado na maioria das escolas, não apresenta o discurso científico como um discurso relatado, como uma tradução. Como aponta Orlandi (1987), “o professor apropria-se do cientista e se confunde com ele sem que se explicita sua voz de mediador” (p. 21). Se a divulgação científica, como mostra Authier-Revuz faz questão de explicitar seu distanciamento, de se mostrar aproximativa, heterogênea, o discurso pedagógico, ao contrário, faz questão de apagar sua função mediadora, de se equivaler ao científico-fonte; ele não “relata” a ciência, ele a pronuncia como se fosse o lugar de sua origem.

Se a divulgação científica faz questão de marcar sua diferença, sua limitação, seu menor valor em relação ao discurso científico, o discurso pedagógico, faz o contrário, ele se afirma, e se faz representar como o próprio discurso científico. Assim, linguagem científica e linguagem escolar se identificam nas representações que o próprio discurso pedagógico constrói, como se na escola se *falasse ciência*.

Deste modo, a assimetria entre a voz do professor e a voz do aluno, essencial na mediação escolar, transforma-se em imposição ao silêncio, em imposição ou restrição a um modo específico de falar, cujo extremo está na repetição empírica da voz do professor ou do texto (geralmente é o livro didático que encarna a “legitimidade” de uma voz que precisa ser repetida). Não que a repetição, a memorização, o efeito papagaio impeçam a significação por parte do locutor. Não que o silêncio signifique ausência de significação. Uma consequência importante desse funcionamento, do ponto de vista metodológico de ensino, está no fato de ele dificultar ao próprio professor o acesso às significações dos estudantes e às suas condições de produção.

Vários autores, como é o caso de Lopes (1999) têm insistido sobre a necessidade de se estudar, caracterizar, compreender a epistemologia própria do conhecimento escolar, que não é o científico, que não é o comum, mas que se constitui em relação a eles. Noções como a de transposição ou mediação didática, vêm sendo propostas no sentido de compreender esse processo, caracterizar essa diferença apagada pelo/no discurso pedagógico.

Se a divulgação científica traz o discurso cotidiano e o relaciona com o científico, ainda que para produzir o efeito de uma simetria e um intercambiamento semântico, e, simultaneamente uma assimetria ao nível do valor de legitimidade de cada discurso, o discurso pedagógico “exclui” o discurso cotidiano de si, porque a escola precisa ser identificada como o lugar do científico.

A função de diferenciação, no entanto, não deve justificar uma assimetria de valor, mas ela é fundamental para a própria compreensibilidade do discurso científico. No entanto, é justamente na inexistência de um intercâmbio semântico que reside o aspecto fundamental desta diferenciação, já que é pelas condições de produção que o discurso cotidiano e o científico se diferenciam e não quanto à verdade de cada proposição, como nota Possenti (1997). Não só a diferenciação como o que essa diferença efetivamente produz. Entre o

discurso científico e o cotidiano não há simetria, e sim irreduzibilidade, se lembrarmos Bachelard (1996). E está justamente nessa assimetria, o papel fundamental da mediação escolar, enquanto mediação cultural e histórica.

3. PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

3.1. Procedimentos gerais de coleta de informações

As aulas que compõem a unidade de ensino sobre gravitação desenvolvida configuram o contexto imediato que constitui os discursos analisados nesta pesquisa. A elaboração desta unidade de ensino inspirou-se nas considerações colocadas no capítulo anterior e configurou-se também condicionada pelas condições concretas de trabalho nas escolas.

A unidade de ensino foi desenvolvida em duas escolas, uma pública, estadual e outra particular, porém gratuita para estudantes, situadas em duas grandes cidades do interior de São Paulo. Ambas as escolas pareceram possuir clientela bastante heterogêneas do ponto de vista de suas condições econômicas, conforme indícios obtidos em conversas informais com os estudantes e com professores das escolas.

Em ambas as escolas a unidade foi trabalhada no início do ano letivo em classes de 1ª série, nível médio. Na escola particular, apenas durante o primeiro bimestre, em todas as três classes da escola, no período noturno. Na escola pública, em duas das classes do período diurno, sendo que os estudantes conheciam a professora responsável pela classe, que havia ministrado algumas aulas no início do ano letivo, antes do planejamento escolar, e sabiam que o pesquisador assumiria as aulas por tempo determinado.

Em termos de recursos materiais, a escola particular possuía um sistema de xerox gratuito; um laboratório de informática com computadores ligados à internet; uma biblioteca funcionando em tempo integral; dois vídeos móveis que poderiam ser levados para as classes, além de um vídeo na biblioteca. A escola pública possuía uma biblioteca inicialmente desativada, que, durante minha permanência na escola, foi limpa e organizada por um pequeno grupo de alunos ao longo dos primeiros meses do ano, passando a funcionar nos intervalos do período da manhã e a tarde toda, sendo estes estudantes os responsáveis pelo trabalho bibliotecário. As duas bibliotecas eram muito parecidas em termos de acervo, composto basicamente (na área de ciências) de livros didáticos, alguns livros de divulgação

científica, enciclopédias e revistas. A biblioteca da escola particular possuía algumas assinaturas de revistas e jornais.

Todas as classes possuíam em média 40 alunos. Embora maior na escola particular, a expectativa de um vestibular para o prosseguimento dos estudos no nível superior não era a única entre os estudantes, dividindo-se com uma expectativa de entrada ou avanço no mercado de trabalho. Gravações em áudio e vídeo de algumas aulas foram feitas pelo próprio pesquisador. Carvalho (1996) aponta o registro em vídeo como um instrumento importante de coleta e análise de informações quando se quer conhecer o desenvolvimento do ensino em condições reais, isto é, o que realmente ocorreu em sala de aula. A partir das gravações selecionam-se as seqüências de ensino para análise, os episódios, ou seja, “o momento em que fica evidente a situação que queremos investigar” (idem, p. 6). Ainda segundo esta autora, um episódio pode ser dividido em cenas, quando o problema que se está analisando tem sua seqüência interrompida. “Um aspecto importante da gravação em vídeo de uma aula é que podemos vê-la e revê-la quantas vezes forem necessárias” (idem, p. 6). Além disso, a gravação em vídeo permite identificar mais facilmente os falantes para levar em conta, nas análises, gestos, expressões e atitudes.

A câmera de vídeo, em todos os casos, permaneceu fixa, geralmente no canto da frente da sala, à esquerda da mesa do pesquisador-professor, voltada para a classe. A distância não permitia o enquadramento de toda a classe, mas da maioria dos estudantes. Nem todas as aulas foram registradas em áudio e vídeo.

É preciso fazer algumas considerações sobre a relação entre o contexto de gravações e os problemas e as limitações técnicas desse tipo de registro. A grande participação e envolvimento dos estudantes nas aulas se tornou um limitador técnico do áudio no registro em vídeo. As soluções sugeridas por técnicos, como o uso de um microfone sem fio na mão de quem falava, ou a utilização de uma mesa com vários canais para posterior tratamento do som, tornariam as aulas artificiais demais, muito longe do contexto real que os estudantes vivenciam normalmente, além de seus custos muito elevados. Eventualmente utilizei um gravador posicionado longe da câmera para o registro em áudio.

Uma primeira leitura de todo conjunto de informações escritas e algumas gravações em áudio e vídeo, resultou num primeiro conjunto de dados gerais e, parte dela, foi feita concomitantemente ao desenvolvimento da unidade de ensino nas escolas. No entanto, para

efetivar uma análise mais aprofundada dessas informações, optei por selecionar apenas dez estudantes da classe de onde havia obtido um conjunto mais completo de informações, principalmente das gravações em áudio e vídeo.

Assim, o eixo das análises se dá sobre a produção desses dez alunos de uma das classes da escola particular. No entanto, eventualmente, também utilizo na argumentação, informações obtidas em outras classes, seja da mesma escola particular, seja da escola pública.

3.2. A organização da unidade de ensino

Os dois grandes blocos da unidade de ensino

O tópico gravitação newtoniana está presente na maioria dos livros didáticos, figura nas listas de conteúdos dos vestibulares, e está em projetos de ensino; não se trata aqui da introdução de um tópico novo, mas de uma abordagem que configura determinadas condições de produção de sentidos. Apesar de ser um conteúdo “típico”, na realidade das escolas ele é efetivamente pouco ou nunca trabalhado.

A unidade de ensino foi pensada para estudantes de 1ª série do ensino médio, para ser trabalhada no início do ano letivo, iniciando um curso de mecânica.

Sua finalidade básica foi propiciar aproximações dos estudantes a aspectos da cultura científico-tecnológica, visando a contribuir para a compreensão da ciência como produção da sociedade, e, ao mesmo tempo, contribuir para o aprendizado de elementos da ciência escolar, além de mediar a leitura de textos e imagens.

A unidade teve uma temática abrangente, centrada na teoria da Gravitação Universal de Newton, particularmente na significação da síntese newtoniana, mas abarcando elementos de astrofísica e cosmologia. A característica essencial com que esta unidade foi organizada foi abordar o conteúdo de modo a inseri-lo no contexto cultural científico-tecnológico atual, destacando questões relacionadas às relações do homem com o espaço cósmico.

Textos e imagens (transparências, fotos, vídeos) foram os principais recursos utilizados, quer porque assuntos relacionados com o espaço sejam amplamente divulgados pela mídia

jornalística e televisiva, quer porque a relação do homem com o espaço cósmico é basicamente mediada por imagens, quer porque a leitura desses recursos foi considerada um dos objetivos das aulas. Diferentemente de outras épocas, vivemos num contexto em que se olha pouco para céu visível a olho nu, mas se tem amplo contato com o espaço através de imagens em fotos, vídeos, documentários, filmes, reportagens; uma época em que homens já pisaram na Lua, já experienciaram corporalmente o espaço cósmico.

Estes elementos culturais que compõem esta abordagem da gravitação newtoniana têm sido pouco trabalhados em sala de aula. Para que esses eles façam parte do contexto de ensino, procurou-se provocar, nas interações em aula, mudanças nas expectativas dos estudantes.

Além de ensinar gravitação newtoniana, pretendia-se: despertar interesse e motivação pelas aulas, pela Física; criar um ambiente que propiciasse a participação e o envolvimento dos estudantes nas aulas; trabalhar aspectos do processo de produção do conhecimento científico; construir um ambiente propício à leitura que pudesse contribuir para a formação do sujeito-leitor em ciência.

Considereei que esta abordagem cultural e mais amplamente contextualizada poderia tornar significativos para os estudantes futuros aprofundamentos no estudo da mecânica newtoniana, e outras práticas e estratégias de ensino que viessem a ser adotadas, como resolução de problemas, experimentação, etc.

A sua elaboração se deu concomitantemente a leituras de diversos projetos de ensino de física produzidos ou traduzidos no Brasil, de livros de divulgação científica nas áreas de pesquisas e tecnologias espaciais, astrofísica e cosmologia. Durante grande parte do trabalho de pesquisa, seja durante a aplicação das atividades em salas de aulas, seja durante as análises, procurei manter-me informado sobre assuntos relacionados ao espaço cósmico divulgados pela imprensa televisiva, em jornais e revistas, além de consultas constantes a sites na internet. Também assisti a inúmeros filmes em vídeos e documentários relacionados a esses assuntos.

QUADRO I - PLANO DE AULAS - QUADRO-SÍNTESE

AULA	TEMA E OBJETIVOS	RECURSOS E ATIVIDADES
BLOCO 1: Aproximações do espaço cósmico nos dias de hoje: questões, teorias, pesquisas, tecnologias envolvidas no espaço, de universo e de sistema solar; objetos e eventos celestes; aspectos da produção do conhecimento		
1 e 2	<p>O Universo e o espaço cósmico</p> <ul style="list-style-type: none"> ⌘ aproximações com a concepção de Universo atual da física, com recentes descobertas, questões e tecnologias que envolvem a pesquisa atual nos campos da astronomia, astrofísica e cosmologia; ⌘ familiarização com os objetos celestes, dimensões, distâncias, escalas e eventos astronômicos ⌘ familiarização com a teoria do Big Bang; ⌘ despertar o interesse pela Física, pelas aulas; participação, envolvimento; ⌘ motivar a leituras, propiciar intertextualidade; ⌘ propiciar contato com portadores de textos sobre ciência que fazem parte de nossa cultura (jornais e revistas e textos de divulgação científica); 	<p>textos principais: <i>“Medição confirma previsões do Big Bang ” (Folha de São Paulo)</i> <i>“Grupo localiza buraco negro da Via Láctea ” (idem, Folha de São Paulo)</i></p> <p>textos extras: Brody e Brody (1999) - <i>O Big-Bang e a formação do Universo</i> Gleiser, M. (1997) - <i>O Universo está em constante expansão</i></p> <p>imagens: transparências, fotos, cartazes, mural vídeo: Documentário da Folha de São Paulo sobre a Aproximação do Universo</p> <p>Atividades e estratégias: Exibição e discussão de imagens sobre astronômicas (ver anexos)</p> <p>Leitura: - entrega anterior dos textos principais para discussão com os alunos, direcionada pelos destaques da leitura do professor (ver anexos) - leituras dos alunos, enfatizando alguns aspectos dos textos que interessarem; enfatizando a fonte dos textos e sua importância no mural sobre o assunto; - sondar questões, dúvidas, curiosidades, interesses e conhecimentos prévios dos alunos.</p>
3 e 4	<p>O Sistema Solar</p> <ul style="list-style-type: none"> ⌘ ter noção das distâncias entre os planetas, do “vazio” do espaço, das escalas astronômicas; ⌘ ter idéia de que o sistema solar não é o universo mas uma parte muito pequena da nossa galáxia; ⌘ contato com recentes descobertas, questões e tecnologias atuais que envolvem a pesquisa sobre planetas ⌘ propiciar interesse para entrar em contato com outros portadores de textos sobre ciência e tecnologias (revistas de divulgação científica) ⌘ contato com tecnologias envolvidas na pesquisa espacial 	<p>tabela com dados sobre os planetas do sistema solar escala de distâncias; escala de tamanhos; fotos de planetas vídeo mostrando os movimentos orbitais e “paisagens planetárias”</p> <p>Textos extras: Gleiser, M. (1998) - <i>O colapso gravitacional e o nascimento de novas estrelas</i> - Veja - 21/04/99 <i>O efeito estilingue</i> - Veja - 25/08/99 <i>Missão Voyager - Viagem a Júpiter</i> - Ciência Hoje, 1 <i>A um passo do infinito</i> - Superinteressante - fev. 1999</p> <p>Atividades e estratégias Exposição do professor com auxílio das escalas e imagens para fazer as órbitas em escala; análise da tabela com características dos planetas; trabalhando os movimentos planetários; comentar sobre as Voyagers; incentivar leituras (falando com a biblioteca).</p>
2 aula	<p>Satélites artificiais</p> <ul style="list-style-type: none"> ⌘ contato com uma tecnologia atual relacionada com a gravitação newtoniana 	<p>Recursos: computadores com conexão à internet Site: http://liftoff.msfc.nasa.gov/RealTime/Jtrack/3d/J</p>

s	<ul style="list-style-type: none"> ≠ procurar relacionar velocidade orbital, distância da Terra, tipo de órbita 	<p>Atividades e estratégias</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em grupos de dois ou três alunos por computador, or visualização de órbitas de diversos satélites artificiais em sobre alguns deles. - Construir uma tabela com nome de alguns satélites, tij orbital, altitude. - (opcional) - terminada esta atividade, se sobrar tempo internet usando sites como o Cadê, procurando por site espaciais.
5 e 6	<p>Kepler e Tycho Brahe</p> <ul style="list-style-type: none"> ≠ compreender as leis de Kepler sobre o movimento planetário; ≠ discussão de aspectos da produção do conhecimento científico: a formulação de hipóteses corretas e equivocadas, a análise de tabelas de dados, descobertas esquecidas, formas de obtenção de dados astronômicos, a formulação de leis matemáticas empíricas a partir de dados numéricos, etc. trabalhar a leitura de textos 	<p>Recursos:</p> <p>texto principal: PSSC - vol. III, cap. 22, tópicos sobre Tycho Brahe e</p> <p>vídeo: <i>Cosmos n° 3</i></p> <p>Atividades e estratégias</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Exibição de vídeo e discussão 2. Leitura: em sala de aula em duplas com anotações de posterior 3. Discussão coletiva de texto com base nas dúvidas e c
<p>2 aulas : Filmes em vídeo: <i>Apollo 13</i> ou <i>Contato</i> - Pedir questões por escrito e comentários; conversar sobre os filmes com os estud</p>		
<p>BLOCO 2: Aproximações da síntese newtoniana a partir da análise do movimento de projéteis e corpos em que</p>		
9 a 12	<p>A gravitação newtoniana</p> <ul style="list-style-type: none"> ≠ aproximação de aspectos do raciocínio de Newton em direção à síntese newtoniana; ≠ trabalhar a leitura de texto de divulgação científica 	<p>Recursos:</p> <p>texto principal: Feynman, R. - (2000) - <i>A lei da gravitação</i> - In Física Ediouro.</p> <p>textos extras: Gleiser, M. - <i>O mistério gravitacional e as perguntas c</i> 28/02/99</p> <p>Atividades e estratégias</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Resolução individual e discussão coletiva de questões: projéteis (ver anexo) 2. Leitura do texto individual com levantamento de que 3. Trabalho em grupo respondendo uma seleção de que 4. Discussão coletiva das questões levantadas 5. Resolução individual de questionário (avaliação final
<p>ATIVIDADE EXTRA: 1: construção de um Mural de Notícias sobre o Espaço Cósmico, tecnologias e pesquisas espaciais, cosmologia, astrofísica, etc. (os e reportagens recentes sobre astronomia, cosmologia, astronáutica, astrofísica, etc.)</p>		

Como consequência, o material efetivamente utilizado em sala de aula variou um pouco entre as duas aplicações da unidade de ensino. No Quadro I apresento os dois grandes blocos de aulas que compuseram a unidade.

Bloco 1

O primeiro bloco possui, na verdade, duas partes. A primeira, orientada para o estabelecimento de aproximações do espaço cósmico nos dias de hoje: questões, teorias, pesquisas, tecnologias envolvidas, instrumentos, concepções de espaço, de universo e de sistema solar; objetos e eventos celestes. A segunda parte, trata-se de um aprofundamento no que tange ao conhecimento de aspectos da produção científica e tecnológica, a partir da história da ciência.

Na primeira parte deste primeiro bloco, procurou-se configurar um campo amplo de palavras e imagens que remetesse a uma diversidade de objetos, instrumentos, conceitos, eventos, teorias, questões. Enquanto professor, eu pretendia que as idéias, questões, informações não fossem trazidas para este contexto apenas por mim, mas também pelos alunos, configurando um espaço amplo de participação. Neste primeiro bloco procurei explorar o potencial de interesse e motivação que estes assuntos despertam nos estudantes e, ao mesmo tempo, configurar um ambiente de participação, de trocas.

Embora os temas fossem considerados por mim motivadores em si, o ambiente de sala de aula poderia restringir ou inibir a participação dos estudantes. Por isso, procurei configurar situações bastante abertas. Neste sentido, a unidade foi montada com o intuito de que os estudantes pudessem participar, não apenas no sentido de dar-lhes “permissão”, como também no sentido de que eles tivessem como participar, trazendo questões, dúvidas, comentários, informações, conhecimentos. O que talvez não fosse possível se os assuntos trabalhados não fossem tão amplamente divulgados pela mídia.

Meu objetivo era criar um contexto que interconectasse o espaço de significação da sala de aula com o espaço de significação sócio-cultural mais amplo. Com essa interconexão pretendia obter entusiasmo com essa participação, criando um espaço de envolvimento, de questionamentos, de dúvidas, de querer-saber, saber mais, de

compartilhamento de informações e saberes, trazendo assim para a sala de aula a relação contemporânea, cotidiana, que os estudantes têm com o espaço cósmico, não apenas em termos de conteúdos mas também dos objetos culturais que mediam sua relação com o espaço cósmico, como filmes, documentários e imagens, além de jornais e revistas.

O propósito foi estabelecer uma continuidade com a cotidianidade dos estudantes, mais especificamente com as aquisições científicas dessa cotidianidade. Aqui é importante lembrar o que coloca Lopes (1999), a partir de Agnes Heller:

“O saber cotidiano pode, inclusive, acolher certas aquisições científicas, mas não o conhecimento científico como tal.

“(…) as aquisições científicas do conhecimento cotidiano não interferem em sua estrutura, não modificam o caráter pragmático do conhecimento.” (idem, p. 143)

É importante notar também o quanto a própria escola participa desse processo de aquisições científicas pelo cotidiano ao não explicitar e trabalhar as condições de produção do conhecimento científico.

“Há uma relação de exterioridade e aceitação acrítica das afirmações científicas. São dados e leis que simplesmente aceitamos; não conhecemos sua gênese ou a razão que os subsidia.” (Lopes, 1999, p. 143)

No que tange à nossa relação cotidiana contemporânea com o espaço cósmico, as aquisições científicas têm um papel fundamental, pois elas estão na base dessa relação. Embora elas não modifiquem sua estrutura, pelo menos a partir da segunda metade do século XX, há uma profunda modificação nos nossos conhecimentos cotidianos sobre céu, o espaço cósmico.

Procurei estabelecer assim uma continuidade entre o cotidiano não-escolar e o cotidiano escolar, que considerei fundamental para uma participação plena dos estudantes na sala de aula. Os saberes e as práticas cotidianas dos estudantes, relacionados com as aquisições científicas desse cotidiano, são incorporados às práticas de sala de aula, se aprofundam, se ampliam. As imagens e os vídeos têm um papel fundamental nesse processo, enquanto práticas que compõem fundamentalmente a nossa cotidianidade como uma forma de oralidade característica do mundo contemporâneo (Almeida, 1994).

Este contexto definiria um amplo campo de fenômenos e objetos “cotidianos”, aos quais a teoria da gravitação está relacionada, e aos quais não teríamos hoje acesso sem a ciência e a tecnologia. Diferentemente de alguns fenômenos cotidianos como a queda de um objeto qualquer no chão, os buracos negros são objetos “cotidianos” cuja “existência” está diretamente relacionada à ciência e à tecnologia e cujo contato dos estudantes se dá pela divulgação científica, pela mídia, pelos jornais e revistas e, principalmente, pela televisão.

Ao mesmo tempo que esta cotidianidade seria trazida para a sala de aula, buscando-se como efeito a ampliação das possibilidades de participação dos estudantes, eu supunha que ela poderia criar um contexto em que o conhecimento científico aparecesse intimamente conectado com a tecnologia e a sociedade em que vivemos.

Este contexto criou um amplo leque de possibilidades de trabalho em sala de aula. No entanto, pretendi elaborar uma proposta que fosse factível nas condições vigentes na escola, tais como um pequeno número de aulas de física. Assim, algumas possibilidades foram excluídas como, por exemplo, uma discussão mais aprofundada sobre a corrida espacial, os aspectos geopolíticos envolvidos nessa questão, sobre a tecnologia dos foguetes, sondas e missões espaciais. Na situação em que realizei a pesquisa, dispunha de duas horas-aulas semanais e não pretendia que a unidade se estendesse muito além de um bimestre letivo, dada a própria situação em que me encontrava não como professor efetivo da escola, mas como pesquisador.

Na segunda parte deste primeiro bloco, o objeto central de conhecimento proposto residiu em aspectos sobre como a ciência aborda este objeto, o céu, o espaço cósmico. A intenção foi trabalhar a idéia de que a construção da gravitação newtoniana teve antecedentes. Optou-se por focar os trabalhos de Kepler e Tycho Brahe.

Bloco 2

O segundo bloco de aulas teve como foco o estabelecimento de aproximações da síntese newtoniana a partir da análise qualitativa do movimento de projéteis e corpos em queda.

A expectativa foi a de que o bloco anterior, além da criação de um contexto participativo em sala de aula, propiciasse elementos para uma significação mais profunda da síntese newtoniana. Para tal foram trabalhados aspectos do mundo cósmico, na relação

contemporânea e cotidiana que os estudantes estabelecem com esse campo de objetos, fenômenos e discursos.

Ao elaborar o segundo bloco, pressupus um trabalho num contexto preparado pelo primeiro, seja no que tange às concepções de espaço cósmico, seja no que tange à configuração de um ambiente no qual os estudantes tivessem espaço para questionar, colocar idéias, participar, ler, debater, seja quanto ao aprofundamento de possíveis tensões entre o conhecimento cotidiano e o conhecimento científico, para o que a participação dos estudantes seria ainda mais fundamental.

É a este movimento, inacabado, de significação e suas condições, que pretendo dar visibilidade nas análises; movimento de aproximação e constituição de um objeto de conhecimento, o movimento na mecânica clássica, objeto que não é nem “terrestre” nem “celeste”, mas universal.

Sobre a escolha dos textos

Vários são os fatores que influenciaram ou foram levados em consideração na seleção dos textos trabalhados na unidade de ensino. O princípio geral para o uso desses textos decorre do objetivo de criar um ambiente de leitura diferenciado daquele em que a voz (e o sentido) do texto é representada como idêntica à voz (e ao sentido) do professor, e ambas, idênticas à voz (e ao sentido) da ciência (Orlandi, 1987; Silva, 1987). Na construção deste ambiente, a relação dos estudantes com o texto foi colocada em primeiro plano, e conseqüentemente seu papel de leitores, produtores de sentidos, também legítimos, no espaço escolar. Essa finalidade faz intervirem, simultaneamente, diversos aspectos como a linguagem dos textos, os assuntos de que eles tratam ou abordam. No entanto, atingir esse objetivo não resulta *apenas* da escolha dos textos, mas da configuração das situações em que eles são postos a funcionar. Os textos são condições fundamentais mas não suficientes.

O trabalho com os textos foi pensado de modo a se explorar a intertextualidade, mesmo que apenas implícita ou suposta, e a interdiscursividade, principalmente no que tange à consideração de que os leitores fazem parte de um determinado contexto sócio-cultural mais amplo do que a sala de aula, contexto em que circulam de diferentes modos discursos sobre a ciência, a tecnologia, e o mundo natural. A seleção dos textos procurou levar em consideração o estabelecimento de conexões com este contexto discursivo mais amplo,

contemporâneo dos estudantes, o que implicou na diversidade das atividades em que os textos foram propostos e num menor controle sobre as leituras dos estudantes do que aquele que comumente é praticado na escola quando se pressupõe um sentido único para o texto.

Primeiramente foi feita uma busca bastante ampla de textos envolvendo assuntos relacionados direta ou indiretamente com a gravitação e o espaço cósmico, abarcando temas que vão desde o movimento dos corpos, astronomia, astrofísica, cosmologia, tecnologias e pesquisas espaciais, incluindo textos¹ de história da ciência, textos e livros de divulgação científica, de revistas semanais, revistas de divulgação científica populares e jornais, projetos de ensino elaborados no Brasil ou traduzidos para o português, livros didáticos e paradidáticos, literários (romances, peças teatrais) e outros materiais didáticos como apostilas de cursos.

Este material foi sendo constantemente atualizado ao longo da pesquisa. Os próprios estudantes participaram dessa busca, trazendo espontaneamente textos para mostrar para o professor, ou para colocar no mural da sala, requisição que “valia nota”.

Deste grande conjunto de material foram selecionados dois conjuntos de textos, ambos variáveis, conforme as duas versões de aplicação da unidade de ensino. Um dos conjuntos de textos foi selecionado para ser efetivamente trabalhado em sala de aula, ou seja, todos os alunos deveriam lê-los, e foram elaboradas atividades direta ou indiretamente relacionadas com estes textos. Outro conjunto de textos teve como propósito servir de apoio, seja para uso eventual em sala de aula, seja como sugestão de leitura para alunos interessados em conhecer mais sobre determinado assunto. Trabalhei com o pressuposto de que a abertura à participação dos estudantes iria implicar numa gama variada de questões, objetos de conhecimento, e nem todos seriam efetivamente trabalhados. É importante notar, no entanto, que esta perspectiva de trabalho está relacionada a um dos objetivos da unidade de ensino que era a contribuição para a formação de leitores.

Os critérios gerais utilizados para a composição desses conjuntos foram:

a) *intertextualidade*: relacionada principalmente aos textos de jornais e revistas, ou seja, a idéia de que estes textos deveriam tratar de temas bastante divulgados pela mídia, de modo

¹ Uma lista completa dos textos encontrados encontra-se na Bibliografia da Unidade de Ensino.

que os alunos pudessem espontânea e eventualmente encontrar outros textos parecidos ou ouvir os mesmos assuntos ou assuntos análogos nos jornais televisivos;

b) *linguagem comum e linguagem científica*: textos com conteúdo físico aprofundando, no caso, sobre a gravitação newtoniana. Na seleção, optei por textos predominantemente escritos em linguagem comum, podendo ou não conter também a linguagem matemática;

c) *diversidade quanto às fontes*: textos de fontes variadas de modo a incluir aqueles que circulam fora do espaço escolar (jornais, revistas e livros de divulgação científica), aos quais os estudantes podem ter acesso cotidiano, mas também outros provenientes de projetos de ensino (textos didáticos);

d) *diversidade de temas e conteúdos*: textos que incluíssem aspectos das tecnologias espaciais atuais, aspectos da gravitação newtoniana (da lei e da teoria propriamente dita), aspectos da história da gravitação, incluindo os trabalhos de Kepler, Copérnico, Newton e outros); textos que abordassem temas de astrofísica e cosmologia.

Este trabalho de busca e seleção de textos representou simultaneamente uma ampliação do repertório e do conhecimento do pesquisador sobre os temas envolvidos na unidade de ensino, principalmente no que tange ao contexto científico-tecnológico atual².

A seleção efetiva variou um pouco conforme as condições das escolas em que desenvolvi a unidade de ensino, como a disponibilidade de xerox, o número de alunos envolvidos, conforme o total de salas trabalhadas.

Almeida (1999) defende o trabalho simultâneo no ensino da física tanto com a linguagem comum quanto com a linguagem matemática. Segundo a autora,

“Assim, se pensarmos a linguagem matemática como um sistema de representações, se admitirmos que não há continuidade e sim ruptura entre o conhecimento pré-científico e o conhecimento científico, e se a linguagem da Física for vista como uma estrutura a ser apreendida, estrutura que possui peculiaridades em se tratando do conhecimento produzido em Física, então, concluímos sugerindo a importância de um trabalho contínuo com a linguagem matemática da Física para que seja possível a internalização de conteúdos dessa disciplina,

² Na ampliação deste conhecimento foi importante minha participação num curso oferecido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

incluindo as próprias condições de produção desse conhecimento.”
(p. 6)

O estabelecimento de uma relação mais pessoal e significativa dos estudantes com os textos supõe que eles utilizem a linguagem que já possuem, e que melhor dominam, ou seja, a linguagem comum, a linguagem a que estão acostumados a representar o mundo, a produzir suas idéias, a se comunicarem. Mas, num contexto pedagógico cujo objetivo é ensinar física, é preciso supor que eles, simultaneamente, vão construindo uma história de leitura que envolva gradativamente a linguagem matemática.

Todos os textos, embora de diferentes modos, ao serem elaborados predominantemente em linguagem comum, trazem diferentes aspectos do processo de produção do conhecimento científico, seja a explicitação de aspectos do raciocínio dos cientistas, suas hipóteses, pressupostos, concepções, intenções, sejam aspectos de sua vida e do contexto histórico-social em que viveram e produziram seus trabalhos.

As atividades

a) Imagens e textos sobre ambiente espacial, o Universo

Nestas primeiras aulas da unidade foi trabalhada a leitura de textos de jornais e revistas, relacionados a pesquisas atuais sobre os Buracos Negros e o Big Bang, além de serem exibidas imagens em transparências, fotos e cartazes, relacionadas às tecnologias e pesquisas espaciais e a eventos e objetos cósmicos, e exibidos vídeos, documentários e filmes como *Apollo 13*³, *Contato*.

Iniciou-se o trabalho de construção de um painel de notícias sobre estes assuntos. Nesta atividade, cada aluno deveria trazer, no mínimo, uma reportagem de jornais ou revista de no máximo dois ou três meses atrás para ser afixada num mural na sala de aula.

Alguns textos foram trabalhados em sala de aula em atividades nas quais todos deveriam ler o mesmo texto e escrever dúvidas e questões por escrito que seriam consideradas na avaliação final e discutidas nas aulas posteriores.

³ *Apollo 13* (*Apollo 13*, EUA, 1995), direção de Ron Haward.

Foram utilizados dois textos⁴:

- ? NOGUEIRA, Salvador. Grupo localiza buraco negro da Via Láctea. *Folha de São Paulo*, 21 set. 2000. Caderno A, seção Ciência, p. A19.⁵
- ? NOGUEIRA, Salvador. Medição confirma previsões do Big Bang. *Folha de São Paulo*, 24 dez. 2000. Caderno A, seção Ciência, p. A15.⁶

Ambos foram publicados no mesmo espaço reservado do jornal: “Ciência”, como aparece no cabeçalho de um deles. Cada texto possui uma imagem (colorida no original). Cada um deles trata de sintetizar uma pesquisa publicada recentemente na Revista *Nature*.⁷

A seleção destes textos se pautou em diferentes propósitos: mostrar aos alunos que se fala de física nos jornais; propiciar que tivessem algum contato com pesquisas em física relacionadas com o espaço cósmico realizadas hoje; propiciar um primeiro contato com o objeto de conhecimento, a concepção de gravidade da física, inserida em contextos diferenciados: no contexto da teoria do Big Bang e no comportamento de um objeto bastante conhecido popularmente, o Buraco Negro. Além disso, tratam de assuntos bastante divulgados pela mídia, e, em geral, de grande interesse e curiosidade por parte dos estudantes, além de serem bastante recentes⁸. Estes dois assuntos, Big Bang e Buraco Negro

⁴ Na escola pública também foram trabalhados junto a estes dois textos, outros três textos de Marcelo Gleiser, todos publicados na sessão Micro/Macro do Caderno Mais da *Folha de São Paulo*: O colapso gravitacional e o nascimento de planetas (19 de abril de 1998); O mistério gravitacional e as perguntas da ciência (28 fevereiro de 1999); O universo está em constante expansão (30 de novembro de 1997).

⁵ Cujá chamada dizia: “**ASTRONOMIA**: Observações de 5 anos indicam estrelas orbitando objeto com massa 2,6 milhões de vezes maior que a do Sol.”

⁶ Para o qual havia a seguinte chamada: “**COSMOLOGIA**: Indianos registram variações de temperatura que mostram o resfriamento do Universo, como prevê a teoria.”

⁷ O texto sobre o Big Bang relata o trabalho publicado no artigo: Srianand, R. et al. *The cosmic microwave background radiation temperature at a redshift of 2.34*. **Nature**, **408**, p. 931-935, 21/12/2000 (seção Articles); e ao artigo: Bahcall, J. *Astronomy: the Big Bang is bang on*. idem, p. 916-917 (seção News and Views). É interessante notar que a imagem que aparece no respectivo artigo do jornal na verdade é de outro artigo também publicado na Nature meses antes: Bernardis, P. et alli. *A flat Universe from high-resolution maps of the cosmic microwave background radiation*. **Nature**, **404**, p. 955-959, 27/04/2000. O texto do jornal também faz menção a este artigo de onde foi retirada a figura.

Já o texto sobre Buraco Negro relata o trabalho publicado no artigo: Ghez, A. M. et alli. *The accelerations of stars orbiting the Milky Way's central black hole*. **Nature**, **407**, p. 349-351, 21/09/2000 (seção Letters to nature); e ao artigo de Kormendy, J. *Astronomy: Galactic rotation in real time*, idem, p. 307-309 (seção News and Views). Observando que a figura que aparece no texto do jornal está no artigo do Kormendy e não no artigo original da pesquisa relatada.

⁸ O desenvolvimento desta versão da unidade de ensino iniciou-se em janeiro de 2001.

parecem ser, no momento, os preferidos dos jornalistas em se tratando de divulgação científica.

Note-se que não utilizei efetivamente em sala de aula textos mais aprofundados sobre assuntos de cosmologia e astrofísica como o Big Bang e os Buracos Negros, embora esses textos tivessem sido selecionados, e sua leitura incentivada em todas as versões da unidade de ensino. Isso por dois motivos. De um lado, porque considerei importante a introdução em aula de artigos de jornais, pelos motivos expostos anteriormente, e, de outro, porque o aprofundamento sobre esses temas não fazia parte dos objetivos da unidade de ensino, embora os assuntos tivessem sido discutidos em aula.

Ambos os textos tratam de assuntos cujas controvérsias vêm sendo já há alguns anos amplamente divulgadas, as que giram em torno de uma das teorias sobre o surgimento e a formação do Universo, a teoria do Big Bang e as relacionadas com a busca por indícios experimentais da existência de Buracos Negros. Big Bang e Buracos Negros são palavras bastante divulgadas e familiares, e utilizadas até mesmo em outros discursos que não aqueles referentes à ciência e tecnologia.⁹

Trata-se de dois textos “típicos” de divulgação científica que vêm sendo veiculados em jornais. A mídia jornalística escrita e televisiva reserva um espaço mais ou menos fixo para a ciência, que também é notícia. E isso dá ao tema dos textos, à descoberta em questão, uma certa importância, porque virou notícia.

Este espaço possui sua própria memória, na medida em que a mídia, ao selecionar assuntos, descobertas científicas e os transformar em notícia, o faz com um determinado foco que elege alguns temas e exclui outros. Estudos experimentais relacionados com Buracos Negros e com o Big Bang estão entre esses temas bastante veiculados, tanto na televisão quanto nos jornais, o que constrói uma memória própria, um arquivo próprio.

Do ponto de vista da metodologia de ensino, esse aspecto era relevante na construção de um ambiente que ligasse os assuntos trabalhados em aula com os divulgados pela mídia.

⁹ Um levantamento realizado no Portal do Grupo O Estado de São Paulo, entre os anos de 1995 a agosto de 2001, utilizando estes termos como palavras-chave, mostrou um grande quantidade de matérias eletrônicas, de assuntos que variam de Esportes a Economia, em que aparecem estas palavras, além das matérias relacionadas ao discurso científico.

Toda notícia, todo discurso da notícia é marcado pelo tempo presente. A rapidez da notícia está relacionada com a imagem de qualidade do jornalismo que noticiou. A notícia traz em si a representação do tempo presente e faz questão de marcar essa rapidez. Os fatos da notícia aconteceram no máximo ontem, senão hoje, instantes atrás, ou estão acontecendo agora (em se tratando da Internet e da TV). A televisão, aliás, permite o limite dessa representação com o “ao vivo”, o “aqui e agora”, as inserções de notícias durante a programação normal, no momento em que estão acontecendo os fatos noticiados. Ambos os textos explicitam esta contemporaneidade em marcas como:

“O segredo do estudo, publicado hoje na revista britânica ‘Nature’ (...)”

“O novo estudo, publicado na última edição da revista ‘Nature’ (...)”.

Por outro lado, também fiz circular textos para leitura-livre, que qualquer aluno poderia levar para casa e trocar depois com outros estudantes. Um outro conjunto de textos de divulgação científica foi deixado para consulta numa pasta na biblioteca da escola.

Numa das aulas, por exemplo, após a exibição do documentário sobre as missões na Lua e do filme Apollo 13, foram distribuídas algumas cópias de artigos da Superinteressante e da Revista da Folha de São Paulo¹⁰ sobre as missões Apollo e sobre o próprio filme, além de uma reportagem publicada na revista Veja sobre a então recente descoberta de um sistema composto por três planetas orbitando a estrela Upston Andrômeda. Eram também mostradas as revistas originais de onde foram feitas as cópias, e, eventualmente essas situações geravam conversas sobre os textos com alguns alunos.

Quanto ao documentário, foram exibidos apenas trechos enfatizando a visualização de situações que mostravam homens caminhando ou trabalhando em solo lunar, confrontando algumas concepções que apareceram em um questionário previamente aplicado, no sentido de considerar a gravidade apenas como um fenômeno terrestre e ligado à queda dos corpos, com as imagens que “mostravam” o ambiente gravitacional da Lua.

¹⁰ Edição da Grande São Paulo

b) Distâncias e características do sistema solar, entre a Terra e as galáxias e a Terra e as estrelas

Esta atividade teve como objetivos: 1) propiciar um conhecimento melhor sobre o sistema solar; 2) trabalhar as dimensões e escalas astronômicas de distâncias; 3) relacionar a gravidade à distância entre os corpos e às suas massas; 4) mostrar que todos os planetas possuem gravidade.

Foram utilizados alguns recursos descritos em Canalle (s/d.; 1994)¹¹. Um deles é uma tira de papel de 6 m de comprimento onde são desenhados pontos que representam os nove planetas do sistema solar, cujas distâncias estão numa escala de 10 milhões de quilômetros para cada 1 cm de papel. Com este recurso pode-se tornar “visível” a diferença significativa entre as distâncias dos planetas interiores¹² entre si e em relação ao Sol, quando comparada com as distâncias dos planetas exteriores¹³. Extrapolou-se a fita para dar, na mesma escala, a distância da estrela mais próxima. Outro recurso, análogo, mostra em escala todos os diâmetros dos planetas do sistema solar, como círculos recortados, colados num grande círculo de cartolina amarela que representa o Sol (numa escala em que o Sol é representado por um círculo de 80 cm de diâmetro). Estes recursos foram usados juntamente com uma tabela com dados de cada planeta do sistema solar entregue aos alunos¹⁴.

c) Satélites artificiais num site da internet

Esta atividade foi realizada apenas na escola particular, que possuía uma sala de computadores conectados à internet. Os alunos em duplas navegaram num site da Nasa que dá a posição em tempo real de mais de 500 satélites artificiais em órbita da Terra atualmente. Além das imagens de suas órbitas, é possível obter informações técnicas sobre as órbitas como altitude, velocidade, e sobre os satélites, como ano de lançamento, país, missão, tipo de satélite, peso, etc. Numa das classes os estudantes escolheram 5 satélites e montaram uma tabela de dados sobre eles para uma comparação.

¹¹ Este referência encontra-se na Bibliografia da Unidade de Ensino.

¹² Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

¹³ Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão.

¹⁴ Dados como a distância de cada planeta ao Sol, sua massa, período orbital, gravidade na superfície, número de satélites naturais, composição da atmosfera, etc.

d) O modelo geocêntrico x o modelo heliocêntrico: Tycho Brahe e Kepler

Trata-se de uma aula expositiva sobre os modelos geocêntrico e heliocêntrico. Neste momento do curso foi distribuído aos alunos o texto do PSSC, o capítulo 22 do volume III, sobre gravitação. Nesta aula expositiva foram apresentados alguns aspectos das concepções de mundo e da Física aristotélicas e enfatizadas as diferenças e similaridades entre os dois modelos.

Os objetivos dessas aulas eram: 1) trabalhar alguns aspectos da construção do conhecimento científico, tomando os trabalhos de Tycho e Kepler como exemplos; 2) trabalhar a leitura de texto; 3) aprimorar a concepção dos alunos sobre o sistema solar; 4) mostrar aos alunos que o sistema solar e o Universo nem sempre foram concebidos como hoje.

Esta seqüência de aulas foi iniciada com exibição de um trecho do vídeo Cosmos nº 3, de Carl Sagan, sobre Kepler, seguida de uma discussão com os alunos.

Na aula seguinte foi-lhes solicitado que lessem em classe os tópicos do texto do PSSC referentes a Tycho Brahe e Kepler (PSSC, vol. III, cap. 22, tópicos 22-4 e 22-5), e anotassem dúvidas, questões que seriam discutidas posteriormente. Conforme os alunos liam, eu passava pelas carteiras conversando com alguns deles.

No caso do texto do PSSC (1966)¹⁵, a matemática não é apenas parte da linguagem do texto, do discurso com que a física representa o mundo natural, mas também um de seus objetos, quando este apresenta aspectos do trabalho e das concepções de Kepler.

O critério que determinou a seleção desse texto foi a inclusão de aspectos da história da ciência, da vida e do trabalho de cientistas, além de conter a explicitação, inclusive matemática, das leis de Kepler¹⁶.

A aula seguinte foi preparada a partir das dúvidas levantadas por escrito pelos alunos durante a leitura.

¹⁵ O trecho efetivamente utilizado inclui os tópicos 22-4 (Tycho Brahe) e 22-5 (Kepler), p. 53-57.

¹⁶ O critério do tamanho também foi utilizado para optar entre o texto do PSSC e o do Projecto Física (Harvard), sendo este segundo muito mais longo que o primeiro.

e) A maçã e a Lua: a síntese newtoniana

Neste conjunto de aulas foi trabalhado o texto, numa das escolas, e na outra o texto “A lei da gravitação” de R. Feynman¹⁷. Uma característica desse texto é que ele é escrito predominantemente em linguagem comum, sem excluir a linguagem matemática.

Os textos de Feynman e Gamow possuem conteúdos parecidos. Eles foram selecionados por serem textos escritos em linguagem comum que abordam efetivamente a lei da gravitação universal de Newton. Ambos, por exemplo, incluem versões do raciocínio de Newton para estender a gravitação terrestre à órbita da Lua e a generalização mais ampla para todo o sistema solar. No texto de Feynman, esta generalização é continuada abarcando escalas astronômicas cada vez maiores, incluindo a atração entre estrelas duplas, a atração interna de uma galáxia e outros fenômenos astrofísicos em que a atração gravitacional tem papel fundamental. Apesar de considerar este aspecto mais interessante para um curso que visa a relacionar o conhecimento físico com o contexto científico-tecnológico atual, incluindo o conhecimento sobre o espaço cósmico, o texto de Feynman é mais longo. Pensando em alunos que não estão acostumados a ler textos longos, ainda mais em aulas de física, este seria um aspecto a ser considerado. Outro aspecto é o tempo de leitura. Como considerei conveniente a leitura pelos estudantes em sala de aula, optei pelo uso de um texto curto.

Nessa seqüência de aulas tive como objetivos: 1) trabalhar a leitura de texto; 2) trabalhar aspectos da síntese newtoniana, notadamente a extensão da gravidade à órbita da Lua, ao sistema solar e ao universo; 3) trabalhar a relação entre trajetória e força gravitacional. Na leitura, os estudantes foram requisitados a anotarem suas dúvidas e questões por escrito.

Antes da leitura, os alunos, responderam a um questionário¹⁸ dividido em duas partes. As três questões da frente da folha foram trabalhadas individualmente, uma a uma, com sua respectiva discussão. As questões do verso da folha foram respondidas individualmente sem interferência ou pausas para discussão.

¹⁷ Na escola pública este texto foi substituído por “A maçã e a Lua”, capítulo 2, do livro **Gravidade** de G. Gamow (1965, p. 30-39).

¹⁸ Este questionário foi inspirado em Bar, Sneider e Martimbeau (1997) e encontra-se em anexo.

A formulação de questões

A proposta de formulação de questões pelos alunos foi recorrente na unidade de ensino, enfatizada em todas as leituras de textos e outras atividades, assim como parte fundamental das dinâmicas de interações em aula.

Esta requisição implicaria numa mudança nas expectativas de papéis atribuídos reciprocamente por professor e alunos. Pretendeu-se tensionar memórias escolares. Quem, tradicionalmente pergunta é o professor, sendo esta uma das atribuições fundamentais de seu papel e de suas funções, principalmente vinculada à avaliação. Pergunta-se para verificar o conhecimento adquirido pelo aluno, geralmente após a “transmissão” deste conhecimento pelo professor. Neste funcionamento típico, as perguntas do professor têm geralmente um caráter avaliativo. Mas há ainda outro implícito neste funcionamento do discurso pedagógico: o de que são as respostas, e apenas elas, que dão indicativos da aprendizagem dos alunos, e não as perguntas. Em que esta mudança no discurso pedagógico implica na produção de conhecimentos escolares?

Algumas intenções estiveram na base da adoção dessa estratégia: procurar fazer com que os alunos tivessem um contato mais pessoal com os textos, “cobrar” a leitura sem estabelecer um controle rígido sobre a produção de sentidos, dar espaço às diferentes histórias de vida, de leitura, concepções, interesses e expectativas que fazem parte das condições de leitura dos alunos, fazer com que os alunos se sentissem parte da produção de conhecimentos em sala de aula. Segundo Barnes (1976), fazer questões e formular hipóteses são habilidades que a escola deveria desenvolver, e não impedir. Neste sentido, a proposição deste tipo de requisição, sua insistência como aspecto “típico” destas aulas, visava a constituir uma outra memória escolar, procurando deslocar a falsa identidade entre o discurso do professor e o discurso do texto.

4. OS SENTIDOS PELAS IMAGENS

“amar uma imagem é encontrar, sem o saber uma metáfora nova para um amor antigo.”

Gaston Bachelard¹

4.1. Aspectos gerais do funcionamento de imagens

Nas aulas que compuseram a unidade de ensino foram utilizadas diferentes formas de imagens: filmes e documentários em vídeo, fotos em papel, transparências, cartazes, além das imagens que compõem os textos. Elas apareceram em diferentes momentos, envolvidas em diferentes situações, mas principalmente durante as primeiras aulas, as que compunham o Bloco 1 da Unidade.

As análises que se seguem enfocam como algumas dessas imagens funcionaram discursivamente em sala de aula, ou seja, como elas contribuíram para a produção de sentidos e que sentidos se produziram nessas condições.

Foram muitas as dificuldades para se trabalhar com imagens nas escolas. A falta de equipamentos com a mínima qualidade, a sala não apropriada, geralmente com muita luz, sem cortinas.² Em conversas informais com outros professores da escola pública, percebi que um deles utilizava documentários relacionados à sua disciplina quase que diariamente. Os filmes também faziam parte desse cotidiano escolar, no entanto, em situações diferentes da rotina escolar estritamente vinculada a práticas de ensino: nos dias que faltavam muitos alunos, como aqueles próximos a feriados, quando o semestre estava terminando e a “matéria” já havia sido “encerrada” mas ainda faltavam dias letivos no calendário. Tudo isso

¹ BACHELARD, Gaston. *A água e os sonhos*. São Paulo: Martins Fontes, 1989, p. 120.

² Por ser já muito antigo, o vídeo da escola pública não possuía o controle remoto. Isso impossibilitava que algumas funções fossem utilizadas como a mudança de tipo de gravação de PAL-M para NTSC e vice-versa, o pause, o contador. Numa das exibições, não havia nem cor, nem som audível. Uma das aulas foi perdida enquanto o coordenador me ajudava a resolver os problemas do vídeo. É interessante observar que nesta escola havia uma sala de vídeo recém mobiliada com equipamentos novos, cortinas e cadeiras confortáveis e apropriadas, uma espécie de mini-auditório. No entanto, a sala era proibida pela direção para o uso com os

contribui para significações (implícitas) que o vídeo adquire na escola diante das outras atividades e situações escolares.

Em várias aulas pude notar como as imagens chamaram a atenção dos estudantes, tanto em vídeo, quanto em transparências. Aliás, isso acontecia com qualquer situação que implicasse numa certa forma de visibilidade, diferente da lousa e giz, por exemplo, no uso de materiais concretos pelo professor, quando algum componente ou ação exigia atenção visual dos estudantes, fazendo parte da cena (aula), vista/ouvida, assistida.

A fala destacada abaixo, por parte de um aluno, indica a força dessa visualização. Na avaliação do curso Gab lista os aspectos que considerou positivos nas aulas, entre eles:

Quando o professor trouxe a maquete demonstrando o movimento da terra, da lua, entre elas e com o Sol.

Quando o professor trouxe uma tira imensa para demonstrar a distância dos planetas em relação ao sol e entre si. (...)

Na aula em que exibi as transparências sobre o espaço cósmico na escola pública, notei estudantes mudando de carteira, sentando-se à frente, atitudes que indicam um interesse que não foi percebido nos mesmos alunos em outras situações. Numa das aulas, também na escola pública, pude perceber uma nítida diferenciação de atitude entre a exibição de um trecho do filme, *Apollo 13* e, na mesma aula, logo em seguida, de um documentário. Nos dez ou quinze minutos de exibição de um filme, nas cenas do lançamento do Saturno V até sua injeção em órbita lunar, os alunos sentaram-se mais próximos, e observei que durante o filme a atenção era completa. Alguns apoiaram-se sobre os cotovelos como ver/ouvir melhor. Quando começou a exibição do documentário, a atenção em geral foi nitidamente relaxada. Um aluno levantou-se, deu as costas, foi sentar-se num lugar mais para o fundo da sala, distante da TV. Outros passaram a conversar baixinho, a mexer em seus materiais.

Como aponta Souza (2001), a relação entre o discurso verbal e o não-verbal é diferente entre os documentários típicos e os filmes. No documentário, geralmente, há uma voz em *off*, professoral, um discurso verbal com pretensão de verdade, um discurso bastante similar ao discurso pedagógico autoritário (Orlandi, 1987). Já num filme, o verbal é um

estudantes com a justificativa que eles iriam depredar o mobiliário. Sua utilização estava restrita ao uso de palestras relacionadas a um dos cursos técnicos da escola.

componente da imagem. Em especial, no trecho exibido do filme Apollo 13, a música ao fundo, as cenas de despedida, câmeras lentas, gestos, expressões e falas dos atores, dão um clima de suspense nas cenas da partida para uma viagem heróica, uma despedida rumo ao desconhecido, à aventura. Quantas vezes já não vimos esta imagem do lançamento do Saturno V, um ícone do século XX, da era espacial, auge do desenvolvimento tecnológico da “humanidade”? Imagem histórica, imagem coletiva, imagem geopolítica, imagem tecnológica, imagem contemporânea da relação do homem com o espaço cósmico.

Exibir um filme pode significar uma espécie de subversão da rotina escolar. O filme pode contrastar com o discurso da verdade, com o monologismo do discurso pedagógico. Não exige um modo de proceder escolar. Mas, contraditoriamente, é esta significação produzida no espaço de uma memória escolar que acaba “trazendo” os estudantes para a sala de aula.

É preciso notar que esta memória da relação dos estudantes com o filme se funda tanto frente ao espaço “exterior” à escola, à sua experiência em ver filmes no cinema e na televisão, como, por outro lado, frente ao espaço “interior”, à sua experiência das rotinas escolares.

De qualquer modo, em se tratando de filmes, documentários e outras imagens relativas ao espaço cósmico, o assunto contribuía para atrair e interessar boa parte dos estudantes.

4.2. Sentidos produzidos na relação das imagens com o discurso do professor

Os episódios da transcrição de gravação em vídeo que apresento a seguir correspondem a uma aula, na escola particular, em que o pesquisador-professor exibiu em retroprojeter 13 transparências com imagens relacionadas ao espaço cósmico enquanto ia tecendo comentários sobre elas. No final da aula foram distribuídos os textos sobre o Big Bang e sobre o Buraco Negro para leitura em casa e entrega na aula seguinte, por escrito, de questões e dúvidas sobre os textos. Tratava-se da segunda aula do curso. Na aula anterior fora realizado, junto com os alunos, um levantamento de palavras relacionadas com o universo e o espaço cósmico e a discussão de algumas dessas palavras. Na aula seguinte seria realizada uma discussão do texto sobre o Big Bang.

A exibição dessa imagens teve várias finalidades. Procurou-se mostrar alguns objetos celestes sobre os quais se falaria em sala de aula ou que apareceriam nos textos, como galáxias, planetas, a Lua. Buscou-se também mostrar alguns artefatos tecnológicos utilizados nas pesquisas atuais em astronomia. Considerei que estas imagens remetem, implicitamente, a outras tantas, conhecidas dos estudantes, buscando subsidiar a ampliação do espaço de uma interdiscursividade visual sobre o espaço cósmico no contexto das aulas.

As imagens exibidas em transparências encontram-se em anexo. Selecionei episódios que permitem dar visibilidade a aspectos que configuram os modos como se deram as relações entre o discurso (verbal) do professor e o discurso das imagens.

Transparência 1 - A constelação de Orion (As Três Marias)³

P - Essa primeira imagem, não sei se vai dar pra vocês reconhecerem. Quando a gente olha pro céu a gente não vê nem 1% das estrelas existentes. [...] Não dá pra ver quase nada. Aqui, é uma foto do céu tirada por um telescópio..., mas não desses telescópios enormes, é um telescópio [...], um bom telescópio. Alguém reconhece...?

A - As Três Marias.

P - Isso, as Três Marias. As Três Marias seriam essas três aqui. Olha bem como aqui elas aparecem maiores. Quando a gente olha pro céu e vê assim uma coisa maior do que outra não quer dizer que ela seja realmente maior. Eu tenho que pensar duas coisas [...] [Luminosidade]. Depende da distância. Então, assim olhando não dá pra saber. Essas estrelas aqui realmente são maiores. Essa estrela aqui realmente é muito grande.

O professor então prossegue falando das constelações, conjuntos de estrelas aos quais se atribuiu uma figura no céu, no caso, a constelação de Orion.

Pode ser notado que o professor inicia a seqüência por uma imagem que supõe conhecida pelos alunos. Uma imagem, no entanto, ausente, mas trazida/lembrada pela fala do professor: a imagem das Três Marias vistas a olho nu. “*Alguém reconhece...?*”.

A fala do aluno “*As Três Marias*” indica sua memória de olhar o céu. O discurso do professor se dá na interseção dessas duas imagens, confrontando-as: a implícita no discurso

³ As referências completas de todas as imagens citadas neste capítulo estão contidas no tópico 2 das Referências das imagens, na página 213. Os números em romano indicam a numeração na página no texto e os números em arábico indicam as respectivas transparências utilizadas em sala de aula.

do professor e lembrada pelo estudantes, e a apresentada na transparência. *“Quando a gente olha pro céu a gente não vê nem 1% das estrelas existentes.”*. *“Olha bem como aqui elas aparecem maiores.”*. A fala do professor, e nela, a comparação dessas imagens, aponta os limites da visibilidade do céu a olho nu. As Três Marias aparecem num fundo de estrelas impossível de se ver a olho nu. Mas, mesmo a imagem telescópica também tem seus limites de visibilidade. O real da imagem não é igual à realidade, *“quando a gente olha pro céu e vê assim uma coisa maior do que outra não quer dizer que ela seja realmente maior”*

Transparência 2 - Relevo da Lua e de Ganimedes

P - Bom, essa também já é conhecida nossa. Tirada por telescópio aqui na Terra, um telescópio... bom. É a imagem da Lua. Veja como a Lua é bem parecida com a Terra. Em alguns aspectos, em outros não. Mas ela tem um relevo, montanhas... Essas crateras aí provavelmente são de impacto de asteróides. Como lá não tem vento, nem ar, esse relevo é bastante... sofre poucas transformações com o tempo. Aqui eu tenho já uma outra imagem de uma outra lua. Aqui tirada por um telescópio [referindo à imagem anterior], e aqui reconstituída por computador [...]. Essa aqui é uma Lua de Júpiter que se chama Ganimedes.

Também essa fala do professor produz uma significação sobre estas imagens a partir do estabelecimento de uma relação com outra imagem não presente, implícita, a da Terra. *“Veja como a Lua é bem parecida com a Terra.”* *“Mas ela tem um relevo, montanhas...”*. Esse gesto de leitura convida o leitor a ver os objetos celestes como iguais à Terra, com a mesma imagem, a mesma “realidade”; a transferir a realidade da nossa visão terrestre para a paisagem da Lua.

Esse gesto, aliás, tem uma história. Galileu, no século XVI, tentou usar as imagens de seu telescópio como argumentos contra a separação aristotélica entre os dois mundos ontologicamente diferentes: o mundo celeste e o mundo terrestre. Vejamos dois trechos de seu *A mensagem das estrelas*, de 1610, quando apresenta suas observações do relevo da Lua feitas com um instrumento então recentemente chegado à Itália, o telescópio:

“Graças a isso, qualquer um pode dar-se conta com a certeza dos sentidos que a Lua não é coberta por uma superfície lisa e polida, mas áspera e desigual que, do mesmo modo que a Terra, é coberta

em todas as partes por enormes proeminências, profundos vales e sinuosidades. (Galilei, 1987, p. 36)

“Por acaso não ocorre o mesmo na Terra, onde antes da saída do Sol os mais altos cumes dos montes se encontram iluminados pelos raios solares enquanto a sombra ocupa ainda as planícies? (idem, p. 41)

Na transparência 3 o professor fala das sondas Voyager⁴ que fotografaram esses planetas (Saturno e Urano) e de algumas das características gerais dos planetas exteriores do Sistema Solar.

Transparência 4 - Foto do litoral paulista tirada por satélite e foto do Rádio-telescópio de Arecibo em Porto Rico.

P - Bom, esta já é uma foto... da Terra, tirada ao contrário, tirada de cima para baixo, por um satélite. Agora que quero ver quem é que acerta que lugar é esse.

A - [...]

P - Quase.

A - [...]

P - Santos. Agora eu não sei exatamente onde aqui, tá? Mas aqui estaria Santos, São Vicente, nessa região aqui. Tirada por um satélite. Eles usam essas fotos... eu também não sei interpretar. Tem que aprender a olhar para a foto. Mas eles usam para ver como está a situação do relevo, principalmente, aqui no caso, da mata atlântica. É... do relevo, não, da vegetação. (o professor sobe a transparência fazendo aparecer a segunda imagem).

Alguém assistiu ao filme Contato? (alguns alunos levantam a mão). Isso aqui é uma espécie de telescópio. Observe o tamanho dele. Olha aqui embaixo o tamanho do carro. Ele não é um telescópio pra captar a luz visível, ele é um telescópio pra captar ondas de rádio. Porque no espaço não tem só luz visível, tem onda de rádio, ultravioleta, raio X, raio gama. E através da análise disso dá pra descobrir uma série de coisas sobre as estrelas, sobre o universo. Aqui no caso é pra captar ondas de rádio. Como elas são muito fracas... isso é uma parabólica, tá? Imaginem, hoje a gente pode ter em casa algumas parabólicas grandes e já tem as pequenas e que pegam ondas de TV. [...] Então, olha o tamanho da parabólica! São 300 metros de diâmetro, três quarteirões.

⁴ As duas sondas americanas Voyager 1 e 2, lançadas respectivamente em 05/09/1977 e 20/08/1977, passaram por Saturno, respectivamente em 12/11/1980 e 26/08/1981. A Voyager 2 passou por Urano em 24/01/1986. (Mourão, 1999).

O professor media um discurso supondo que as imagens mediem, simultaneamente, uma memória e uma novidade. O discurso do professor toma a imagem como objeto e procura trabalhar o implícito de suas condições de produção, incluindo os instrumentos que são usados para obter essas imagens, que também aparecem configurados no discurso das imagens. A esse discurso, o professor associa um discurso sobre os objetos de estudo da ciência e das tecnologias a ela associadas. Esse discurso do professor subentende a suposição de que os alunos vão entrando em contato com diversos instrumentos utilizados para produzir essas imagens (telescópios terrestres, telescópios espaciais em órbita da Terra, que captam luz visível, outros que captam ondas de rádio, radiação ultravioleta). E, ao mesmo tempo, vão conhecendo o espaço cósmico, sendo apresentados a diversos fenômenos e objetos celestes, às enormes escalas de distâncias, fundamentais para concebê-los.

No que diz respeito às fotografias de objetos celestes (galáxias, Lua, planetas) pude observar nas que selecionei um silenciamento quanto à questão das escalas de distâncias e tamanhos. A foto de um planeta, como Saturno por exemplo, e a foto de uma galáxia, ambos os objetos, ao preencherem respectivamente quase todo seu quadro, não possuem elementos que possam produzir a “visibilidade” de suas dimensões. Este aspecto foi trabalhado numa aula específica (vide Quadro I, capítulo 3) em que foram utilizadas escalas de distâncias para o sistema solar e para os tamanhos dos planetas. De fato, é bastante difícil tornar visível o tamanho dos objetos destas imagens.

No entanto, duas transparências (9 e 10) apresentaram mapas encontrados nas próprias revistas de divulgação científica que circularam na sala de aula, para dar visibilidade à escala de tamanhos e distâncias. O discurso do professor aponta a diferença entre estas imagens e as anteriores (fotografias).

Vejamos agora a leitura da transparência 7, que mostra dois astronautas trabalhando do lado de fora de um ônibus espacial em órbita da Terra. Na leitura desta imagem, diferentemente das demais, intervém um discurso não-verbal do professor, constituído no gesto de girar a imagem.

O trecho a seguir foi transcrito de uma gravação em áudio, em aula similar, na escola pública:

1. *“P - Aqui outra imagem muito interessante que seria bom, melhor, se a gente pudesse ver maior, mas não dá. É a Terra. Nós estamos aqui, em cima disso. As nuvens, o ar... A gente vai estar em cima de algum lugarzinho.*
2. *A - [...]*
3. *P - Não, espera aí. Aqui você tem uma nave que também está em órbita. Isso é um [ouve-se um sinal] ônibus espacial. Que sinal é esse?*
4. *A - É do ... [...]*
5. *A - (vários alunos falam ao mesmo tempo).*
6. *P - Aqui é uma dessas naves: Columbia, Atlantis, Endeavour. São ônibus espaciais. Você já viram, acho.*
7. *A - Já [...].*
8. *P - Geralmente aparece quando ele está saindo, ele está colado num foguete.*
9. *A - [...]*
10. *P - Hã?*
11. *A - [...?]*
12. *P - Não. Quando ele*
13. *A - [...]*
14. *P - ... vai...*
15. *A - [...?]*
16. *P - É. ... Ele tá colado num foguete. Quando ele solta, ele volta sozinho, parece um avião. Mas ele fica lá em órbita. É ele que colocou o Hubble em órbita, por exemplo. Ele serve para isso. Entre outras coisas ele serve pra levar as coisas lá e deixar lá no espaço. Mas ele serve também pra fazer experimentos. Alguns experimentos precisam ser feitos em condições diferentes de gravidade. Então eles levam lá, fazem o experimento e depois voltam. São astronautas sim, eles estão trabalhando. Montando alguma coisa. Tá? O que é interessante é que dá pra virar. Olha. A Terra está lá, né? Se eu virar isso aqui. (um tempo, enquanto o professor gira imagem em 180). Observa bem (um tempo). Tá certo colocar assim?*
17. *A - Não.*
18. *P - Por que não?*
19. *A - Tá errado.*
20. *P - Mas porque tá errado?*
21. *A2 - Tá certo porque [...].*
22. *P - E se eu colocar assim? (professor gira mais uma vez a imagem em 90).*
23. *A - [vários alunos...]*
24. *P - Espera aí, tá certo se eu colocar assim?*
25. *A - [vários alunos...]*
26. *P - Quem acha que não... quem acha que não, porque acha que não? Por que que tem essa impressão?*
27. *A - [...] Eu tô olhando daqui [...].*
28. *P - Olha, aqui está a Terra. A Terra é redonda, e esse negócio tá girando em torno da Terra. (pausa). Tem jeito de eu saber onde que ele está? ... Ou ele ter uma noção ... aqui você não tem noção de cima e embaixo. Você olha pra Terra e vê ela lá, mas se você está girando, em órbita, você não tem noção do que é em cima e do que é embaixo. Pro astronauta, a sensação física que ele tem, a sensação do corpo dele... tanto faz se está deitado, se ele está em pé, ou se ele está... Porque que a gente tem essa impressão? É uma ... enganação do nosso... que dizer, a gente precisa ter essa certeza, mas o que dá essa certeza*

pra gente é que a gravidade tá ... puxando tudo pra baixo, pro centro. Então se você estiver embaixo a Terra, entre aspas “embaixo”, ela vai estar puxando pro centro. Então o que é embaixo pra você? Pensa bem. (professor vai à lousa, faz um círculo). A Terra é redonda. Você pode estar aqui, ou estar aqui. Quem está aqui vai dizer... onde é o embaixo dele?

29. A - [...]

30. P - *O embaixo dele é pra cá. Ele vai apontar pra cá. Pra onde é o embaixo desse? Pra cá! Os dois vão estar apontando pro mesmo lado. Mas o em cima desse é o embaixo desse e vice versa. Entendeu? A gente tem a impressão que existe uma direção privilegiada. O em cima é aqui, na nossa cabeça. Pra lá. E embaixo é pra cá. Só que se você vai do outro lado da Terra... Se eu saio, se eu estivesse aqui... qual que é o embaixo, aqui? (pausa) E em cima? Agora, pro outro, é o contrário! O em cima desse é o embaixo desse. É o contrário. É a direção. (...). O embaixo e o em cima não é uma coisa real. É uma sensação que a gente tem devido à gravidade. O que dá a sensação de embaixo e em cima. (...) Se você tira a gravidade, não vai ter como distinguir o em cima e o embaixo. Então você pode virar de ponta cabeça que não vai ter impressão nenhuma de que tá de ponta cabeça. Você vai ficar deitado, você não tem impressão nenhuma de que está de ponta cabeça ou não. O astronauta, a mesma coisa. Ele não sabe, ele pode dormir assim. (...)*

No turno 1 a fala do professor recorta e produz uma outra imagem, fazendo intervir a imagem, implícita, da Terra inteira vista do espaço, ou de um globo terrestre, ao mesmo tempo em que situa o leitor na imagem. Do turno 3 ao 16 o professor recorta outro aspecto da imagem, e sua fala sugere também outras imagens, comumente vistas principalmente na TV que freqüentemente noticia lançamentos de ônibus espaciais. Estas imagens, que ele supõe façam parte da memória dos estudantes, produzidas no discurso verbal do professor, ampliam o quadro da fotografia para além do recorte da moldura. No entanto, isso não parece ser suficiente para deslocar a leitura de alguns estudantes. E, a partir do turno 16, o professor gira a imagem e a estranheza e discordância de alguns (turnos 17 e 19) pôde ser notada (*Tá errado!*). Do turno 28 em diante, a fala do professor desconstrói uma posição de leitor, inscrita numa memória que fixa a imagem numa verticalidade. As falas dos turnos 17 e 19 permitem supor que a extensão da moldura da fotografia na leitura deste estudante é diferente da do professor. A fala do professor supõe e vai contra esta leitura. Nas falas do turno 28 em diante, constrói-se um outro lugar não apenas de visibilidade da imagem, mas o lugar “físico” ocupado pelos astronautas em relação ao ambiente cósmico.

Esta fotografia possui algumas características peculiares. Em diversas situações que a apresentei a diferentes leitores, a maioria se espanta quando giro a imagem em 90° ou 180°.

Vejam a imagem primeiramente do modo como se encontra na página III. Há dois aspectos dessa imagem que compõem uma relação de verticalidade entre si. Abaixo, na imagem dos equipamentos do ônibus espacial, há uma horizontalidade que, de certa forma, nivela a imagem como um todo com o chão/solo/terra. Acima, as cores e a curvatura pouco acentuada da Terra nesta distância lembra um céu azulado e com nuvens. Estes dois aspectos configuram a verticalidade espacial com que lemos esta imagem de imediato: abaixo a terra, o solo, o chão, acima as nuvens, o céu. Este olhar terrestre, memória que permite entender muitas imagens, dificulta a significação deste texto como imagem de um ambiente espacial, ou seja, fora da Terra. É a nossa experiência visual cotidiana, terrestre, que produz essa leitura da imagem, fazendo relacionarem-se outras duas imagens que a compõem. (Peço ao leitor que gire a imagem uma, duas vezes). Ao girá-la, estes elementos “abaixo” e “acima” se confundem, trocam de lugares e passamos a ver com mais “nitidez” a Terra enquanto corpo celeste e os astronautas no espaço. Observe como muda de sentido visual a imagem da Terra. Girada em 90 graus, percebemos (visualizamos implicitamente) o que falta, a Terra como um todo, redonda. A imagem que o discurso verbal do professor fez intervir. Imagem implícita que compõe a imagem material colocada nesta posição, mas que na posição anterior aparece apagada.

A posição anterior da imagem (“vertical”) é, no entanto, a posição do nosso corpo na Terra enquanto não a percebemos como uma bola gigante. É a posição em que nossa orientação do que está “em cima” e do que está “abaixo” faz sentido. A imagem girada, no entanto, coloca o leitor numa outra posição visual, de fora da Terra, como um espectador que vê uma cena e a partir do próprio espaço celeste.

A leitura dos estudantes se inscreve numa formação discursiva que define uma posição de visualização, um olhar. Um olhar terrestre. As tecnologias espaciais trouxeram, no entanto, outras possibilidades de olhares. O olhar celeste. A possibilidade de ver a partir do céu. Imagem que poderia ser produzida mentalmente por um discurso verbal, mas jamais apreendida pelos sentidos.

Considerando a atribuição de uma realidade às imagens fotográficas, algumas dessas imagens espaciais podem ser consideradas como uma ampliação da nossa experiência vivida

para além do contexto terrestre. “Experenciemos” fenômenos como a “flutuação” de objetos em espaçonaves ou na Lua, como se os presenciássemos ao vivo.

Em síntese, pôde-se notar que o discurso verbal do professor estabelece diferentes relações com as imagens. No início (transparência 1 a 7), trata-se de imagens de objetos conhecidos. As falas do professor remetem ao objeto das imagens mas também a aspectos da sua produção. Além disso, várias delas são de instrumentos, artefatos relacionados à produção de imagens de objetos e eventos espaciais (telescópio espacial, rádio-telescópio). A produção da imagem é um dos focos do discurso pedagógico, produzindo sentidos como a diferenciação entre o visível a olho nu e o visível instrumentalizado da imagem. O discurso referente às transparências 1 e 2, produz uma diferença entre o objeto da imagem e o objeto real, significando a imagem como produção. O discurso verbal do professor produz uma mediação nas condições de produção do discurso não-verbal das imagens. No entanto, a partir da foto da galáxia (transparência 8), tratam-se de objetos menos conhecidos, e predomina um discurso sobre o objeto da imagem. Aqui, ela é quem dá visibilidade “concreta” às imagens do discurso verbal do professor.

A produção das imagens em astrofísica e cosmologia requer procedimentos, técnicas e instrumentos extremamente complexos. Sem dúvida, o discurso do professor não dá conta desta complexidade, e daria muito menos se fosse apenas um discurso verbal sem a mediação das imagens.

Além da questão já mencionada das escalas de tamanhos e distâncias dos objetos astronômicos, há outro silenciamento na materialidade da imagem da transparência 7, que é preciso considerar. Os astronautas e o ônibus espacial não estão parados enquanto eles trabalham do lado de fora, mas girando ao redor da Terra a uma enorme velocidade⁵, aspecto que se silencia na imagem estática da fotografia.

O discurso das imagens entremeado ao discurso do professor se produz num espaço heterogêneo em que outras imagens, outros sentidos, estão funcionando implicitamente. Há uma heterogeneidade constitutiva (Maingueneau, 1997) no discurso do professor que se dá, na seqüência referente à transparência 7⁶, a partir da pressuposição de um já-visto que

⁵ Em relação a um ponto fixo na Terra, por exemplo.

⁶ Vide páginas 137-138.

constituiria a leitura dos estudantes. Estes discursos se estabelecem em continuidade com discursos de imagens “exteriores” à escola, parte de uma memória da qual os estudantes compartilham. Homens no espaço em fotos, no cinema, na TV. Entrecruzamento de uma memória mítica, de uma memória social inscrita numa prática e da memória construída do historiador (Pêcheux, 1999, p. 50). Aqui, estas memórias se encontram num contexto específico do qual tornam-se parte: aulas sobre gravitação newtoniana.

Se tivesse em vista apenas a questão conceitual, eu poderia ter escolhido trabalhar com outros tipos de imagens, ou selecionado outras imagens do mesmo tipo, ou ainda construir imagens mais “didáticas” para atingir esse objetivo. No entanto, uma perspectiva de formação mais ampla que está na base desta unidade de ensino, fez-me optar por trabalhar imagens (explícitas) que circulam nos meios de comunicação, “externas” à instituição escolar, na perspectiva do estabelecimento de uma continuidade com a visibilidade e as memórias (imagens e sentidos implícitos), que compõem a cotidianidade dos estudantes. Ao mesmo tempo, ao trazer estas imagens, explícitas e implícitas, para uma aula de física, é possível estabelecer uma integração entre a “ciência” de “fora” da escola e a ciência “de dentro” da escola, fundamental para romper o isolamento do contexto escolar em relação ao contexto sócio-cultural mais amplo, cuja inserção dos estudantes é preciso considerar e acredito ser tarefa da escola contribuir para aprofundar.

Diferentemente da maioria das aulas ministradas nesta unidade de ensino, a participação dos estudantes nas aulas que acabei de analisar foi muito pequena, embora pudesse ter constatado indícios de grande atenção por parte deles. Embora esperasse, enquanto pesquisador-professor, maior participação verbal dos estudantes nessas aulas de exibição das imagens, elas foram elaboradas visando a centralidade na voz do professor. Esta atitude poderá parecer bastante contrastante com as atitudes envolvidas nas leituras dos textos, quando privilegiei estratégias que considerassem a voz dos estudantes, e sua relação com os textos, em primeiro plano.

É preciso considerar, no entanto, que o funcionamento de textos e imagens se inscreve num conjunto de práticas escolares e não escolares que possuem diferentes memórias e significações. A mediação pedagógica que teve como um de seus objetos contribuir para a formação de leitores (de imagens e textos escritos) modificando suas condições de produção,

precisou ser diferenciada, pois se inscrevem em histórias diferenciadas que já estavam em curso. Como discutirei no capítulo posterior, pesquisas anteriores (Silva, 1997; Silva e Almeida, 1998), e minha própria experiência como professor em escolas de nível médio, apontaram indícios de uma memória escolar que vinculava fortemente o texto escrito à voz do professor. Textos escolares comumente são compreendidos como a “matéria”, ou seja, aquilo que se deve saber, aquilo que o professor vai ensinar, ou melhor, dizer. A memória de situações recorrentes em anos de escolaridade colocava em segundo plano, ou mesmo silenciava os gestos de leitura dos estudantes, desvalorizando-os implicitamente. O trabalho com os textos nesta unidade de ensino teve, como uma de suas finalidades, reconstruir essa memória. A leitura de textos “fora” da escola não constitui parte da cotidianidade da maior parte dos estudantes, daí que minimizar as situações de controle poderia implicar num maior envolvimento, no estabelecimento e na construção de relações mais pessoais entre os estudantes e os textos, visando a contribuir para a construção desse hábito.

Quanto às imagens, estas se inscrevem num outro conjunto de práticas, quer sejam as escolares, quer sejam as não escolares. Como apontei anteriormente, a relação com imagens já é um forte componente da cotidianidade dos estudantes. Já há uma história de relação com as imagens. Neste caso, tratou-se de trabalhar com (e contra) uma história já construída, supondo-a na construção do discurso do professor, diferentemente dos textos escritos onde a função da escola, no contexto sócio-cultural em que vivemos, requer uma intervenção que construa uma história de relação praticamente inexistente, principalmente tratando-se de textos relacionados ao discurso científico.

O discurso pedagógico autoritário pode ser pensado não como aquele que não permite que os estudantes participem verbalmente, mas aquele constituído por um locutor (geralmente exclusivo), cujo discurso não pressupõe, em sua constituição, outras posições discursivas possíveis, quer elas se formulem expressamente ou não.

O discurso do professor nas aulas analisadas acima não apenas pressupõe outras posições discursivas, como trabalha no sentido de deslocá-las e constituir modos de leitura que provavelmente não fazem parte da história de leitura dos estudantes.

4.3. Sentidos produzidos na mediação de um filme de ficção

No espaço de duas aulas foi exibido quase completamente o filme *Apollo 13*. Foi solicitado aos estudantes, após a exibição, que trouxessem por escrito para a próxima aula suas dúvidas e questões que gostariam de discutir em classe. A seguir estão todas as questões elaboradas por todos os estudantes que entregaram seus trabalhos.

aluno

questões levantadas

- Adr 1. Você disse que no Apollo 13, os E.U.A., já haviam chegado na Lua. Porque eles tentaram fazer a mesma coisa, em vez de tentar chegar em outro planeta, por exemplo?
2. Por que o Apollo 13 ia se dividindo em partes quando estava no espaço?
3. Quando uma nave espacial explode no espaço, onde caem as suas partes?
4. Durante o filme, eles falaram em "12 G", o que significa essa expressão?
5. Você disse que o projeto Apollo teve 17 partes. O que fizeram as outras Apolos depois da 13?
6. A falha que ocorreu no Apollo 13, foi culpa de algum ser humano? Quem foi o culpado?
- And 7. De que material era feito a nave espacial?
8. Gostaria de saber quem deu a idéia de inventar uma nave espacial?
9. Os astronautas nunca chegaram ir para outras galáxias ou eles já foram?
10. A maior estrela é o Sol?
11. Quantos foram os astronautas que pisaram na Lua? E quantos animais?
12. Seria possível vida em Marte, digo, vida humana?
- Bru 13. Por que ocorreu a falha?
14. Eles disseram que não teriam problemas com a porta, mas aconteceu um problema com a parede externa, porque?
15. O problema foi por causa da agitação, que foi feita para os tubos de oxigênio?
16. O que significa a palavra 12G?
- Opinião:
17. Na minha opinião o filme é muito interessante pois mostra uma evolução nos estudos sobre outros lugares como a Lua. Para mim lamento não ter terminado de assistir o filme, mas acho que a partir dele teremos várias coisas para discutir.
- Mar 18. Qual é a força que faz a Terra girar?
19. Como os cientistas conseguem colocar um objeto na órbita terrestre?
20. Por que quando o foguete está no espaço, ele se despedaça, ficando apenas uma cabine?
21. Por que o módulo lunar tem que ser encaixado à nave no espaço e não aqui no chão?
22. Qual a velocidade média de um foguete?
23. A Lua tem atmosfera?
- Tat 24. De quem veio a idéia de construir um ônibus espacial? Porque essa pessoa teve tal idéia?
25. Os astronautas precisam de uma roupa que os mantém em uma temperatura adequada. Do que era feitas tais trajes? O que aconteceria se um astronauta não usasse um desses trajes?

Entre essas questões estão algumas que dizem respeito ao desenvolvimento de tecnologias e pesquisas espaciais, sobre o projeto Apollo, especificidades sobre essas

tecnologias, o funcionamento de foguetes (por exemplo, 2. “*Por que o Apollo 13 ia se dividindo em partes quando estava no espaço?*” e 7. “*De que material era feito a nave espacial?*”). Algumas questões foram formuladas numa relação direta com as situações assistidas no filme (6. “*A falha que ocorreu no Apollo 13, foi culpa de algum ser humano? Quem foi o culpado?*”). Outras questões extrapolam o contexto específico do filme e ganham maior generalidade no tocante a estes temas (5. “*Você disse que o projeto Apollo teve 17 partes. O que fizeram as outras Apolos depois da 13?*” e 9. “*Os astronautas nunca chegaram ir para outras galáxias ou eles já foram?*”).

Implicitamente há outros objetos de conhecimento implicados nas questões desses estudantes como as escalas astronômicas e o ambiente lunar, relacionadas ou não a questões específicas sobre corpos celestes como a Lua (23. “*A Lua tem atmosfera?*”), o Sol (10. “*A maior estrela é o Sol?*”). Na questão 9 (“*Os astronautas nunca chegaram ir para outras galáxias ou eles já foram?*”), por exemplo, percebe-se uma dificuldade deste estudante em compreender os limites científico-tecnológicos em relação a viagens espaciais, associada à dificuldade de compreensão das escalas astronômicas.⁷

Na questão 12 (“*Seria possível vida em Marte, digo, vida humana?*”) pode-se ouvir o eco da divulgação de pesquisas sobre a possibilidade de ter havido vida em Marte⁸, assim como o eco de outros discursos populares que há décadas associam este planeta com vida extraterrestre, os famosos e imaginários marcianos.

Questões formuladas em referência ao discurso da física, também podem ser observadas, particularmente da gravitação, da mecânica newtoniana, como as questões (18. “*Qual é a força que faz a Terra girar?*” e 19. “*Como os cientistas conseguem colocar um objeto na órbita terrestre?*”).

Estas questões se produzem num entrecruzamento entre referências “externas” à sala de aula, ao contexto cultural em que os estudantes vivem, permeado por informações, discursos e imagens sobre tecnologias espaciais e assuntos relacionados ao espaço cósmico, com referências “internas” ao contexto da própria unidade de ensino. Questões que indagam sobre corpos celestes, o movimento da Terra, não dizem respeito diretamente ao filme, mas a

⁷ Uma viagem à galáxia mais próxima na velocidade aproximada da Apollo 13 (40.000 km/h), bilhões de anos.

um espaço de discussões instalado por aulas anteriores. Questões sobre o movimento de satélites em órbita da Terra antecipam discussões de aulas posteriores.

O espaço discursivo da sala de aula, mediado por essas questões é, antes de tudo, um espaço constituído também pela voz dos estudantes, seus saberes, memórias, interesses, curiosidades. Mas também trata-se de um espaço de reflexão em torno de objetos de conhecimento do campo da física, como se pôde ver pela questão produzida por Mar (“*Como os cientistas conseguem colocar um objeto na órbita terrestre?*”). No espaço de discussão propiciado por essas questões não se separam questões estritamente da física (mecânica) de questões sobre astronomia e de questões sobre as tecnologias relacionadas a essas assuntos.

As interconexões entre ciência e tecnologia, entre uma teoria elaborada há mais de trezentos anos e desenvolvimentos tecnológicos praticamente contemporâneos desses alunos, são efeitos implícitos da mediação do filme *Apollo 13* nestas condições de produção.

A exibição do filme e a requisição de questões criaram um ambiente de participação, motivação e atenção nem sempre encontrados em aulas de física. Os estudantes esperam ver suas questões respondidas, esperam conhecer outras questões: “*Para mim lamento não ter terminado de assistir o filme, mas acho que a partir dele teremos várias coisas para discutir*”.

Boa parte das situações da trama do filme *Apollo 13* se passam num ambiente onde a gravidade é muito pequena, um ambiente onde se vêem objetos e homens “flutuando”, um ambiente, uma realidade diferente da vivenciada na Terra. Essas imagens não são provavelmente desconhecidas pelos alunos. Uma das funções da exibição deste filme, foi recordá-las, inserindo-as no contexto das aulas.

⁸ Citar referência da Veja.

5. OS SENTIDOS PELOS TEXTOS E OS SENTIDOS DA LEITURA

5.1. A formulação de questões

Em todas as leituras de textos os estudantes foram requisitados a anotarem dúvidas e questões por escrito. O professor, na aula seguinte, conduzia discussões pautadas nessas questões.

Neste tópico, analiso essas questões enfatizando primeiramente a configuração de diferentes objetos de conhecimento pelos estudantes, na mediação da leitura dos textos e as condições de produção em que isso se deu.

Um dos pressupostos que fundamentam esta análise é o de que a escritura das questões é uma forma de constituir sentidos. O foco da análise recai, portanto, nas próprias questões, em suas condições de produção e não nas suas respostas.

A ausência de um controle direto pelo professor sobre as leituras dos estudantes, por exemplo, através de questionários, constituiu um primeiro contato dos estudantes com os textos, momento em que os próprios textos possuíram um papel mediador fundamental na produção de sentidos e de aspectos da cultura escolar que estas leituras envolveram.

A formulação de questões não é uma atividade típica em salas de aulas, não faz parte da memória dos alunos. Ao formular questões, os alunos estão participando da constituição de possíveis objetos de conhecimento. Que objetos de conhecimento são constituídos, ou pelos menos anunciados, nestas primeiras leituras? Como estes objetos se constituem na relação com os textos? Pela própria natureza aberta da atividade, a marca fundamental dos resultados é a de uma grande multiplicidade.

As questões produzidas pelos estudantes anunciam mais objetos de conhecimento do que aqueles efetivamente trabalhados nas discussões em sala de aula e nas exposições do

professor. Embora houvesse uma seleção operada direta ou indiretamente pelo professor, os alunos tiveram uma participação explícita nesse processo, mesmo que não exclusiva.

Após aproximadamente três meses de aula, o primeiro bimestre letivo, foi solicitado aos estudantes que respondessem a um questionário avaliando o curso, as aulas, o professor. Entre as questões propostas estavam: “1. *Que pontos, aspectos, características dessas aulas você destacaria como positivas?*” e “2. *Quais você destacaria como negativas?*”.¹

Os estudantes significaram as aulas, o curso, a partir de uma memória. Suas respostas fornecem indícios que permitem entrever que representações sobre o espaço e o conhecimento escolares, sobre os papéis e funções do professor e de si mesmos, enquanto alunos, foram tensionados em relação a vivências escolares anteriores.

A maior “*participação da classe*” nas atividades e nas dinâmicas das interações em sala de aula é um aspecto bastante destacado como positivo. Esta participação se deu, entre outras formas, principalmente nesta requisição recorrente da proposição de questões em diversas atividades, principalmente nas leituras de textos.

“Acho interessante o professor sempre perguntar nossas dúvidas e questões, comentários, sobre os textos, filmes e assuntos trabalhados em aula, pois isso nos incentiva a questionar as coisas e refletir melhor as informações que nos são passadas.”

Algumas respostas dão indício de uma sensação de menor controle sobre suas falas: “*nós expressamos tudo o que queríamos*”; “*temos a liberdade de perguntar até!*”; da percepção de uma alteração na estrutura das interações: “*deixamos a aula de ser do aluno, para aluno, de professor para aluno e de aluno para professor*”. Mudança que não se restringiu a uma atividade apenas, uma exceção, dentro de uma estrutura típica, mas algo recorrente, estrutural e não acidental.

Mas, ao falar do presente, suas respostas remetem também a uma memória, falam implicitamente de outras aulas vivenciadas, onde provavelmente se sentiram menos à vontade em dizer, perguntar e participar verbalmente.

¹ Nos Anexos encontram-se integralmente todas as respostas às questões 1 e 2, respectivamente de cada estudante. O aluno Hec não estava presente no dia desta atividade.

Nas falas dos alunos também é possível ver indícios de como eles se viram na sala de aula e como imaginaram serem vistos. Viram-se pensando, buscando respostas, refletindo, e mais do que tudo, como sendo capazes disso. Pode-se entrever um certo prazer no exercício desse papel: *“faz o aluno buscar a resposta, e não a dá ‘de graça’, faz a gente pensar, refletir muito tempo em um caminho”*; *“me abriram a mente, e me fez pensar melhor”*. Uma interação que requisitou-lhes outro comportamento, outras atitudes, outros papéis que alguns parecem ter percebido e cobrado dos outros e de si mesmos: *“quando os alunos não colaboram e conversam muito, eles têm que discutir com a classe não com os colegas; têm que ser mais espontâneos e desinibidos, mas não muito.”*

Segundo Barnes (1976), essas aprendizagens fazem parte, implicitamente, do currículo. Segundo o ponto de vista da Análise de Discurso, elas fazem parte das condições de produção de sentidos, condições que se configuram como parte da cultura escolar, compreendida como conjunto de aspectos institucionalizados que *“incluem práticas e condutas, modos de vida, hábitos e ritos – a história cotidiana do fazer escolar --, objetos materiais – função, uso, distribuição no espaço, materialidade física, simbologia, introdução, transformação, desaparecimento... –, e modos de pensar, assim como significados e idéias compartilhadas”* (Frago, 1995, p. 68).

Configurando diferentes objetos de conhecimento

A grande diversidade de questões produzidas pode ser considerada indício do estabelecimento de uma relação mais pessoal dos estudantes com os textos.

A formulação de questões pelos alunos na leitura dos textos anunciou a configuração de diferentes objetos de conhecimento, cuja análise revela aspectos da mediação da leitura na elaboração dos conhecimentos escolares produzidos nessas aulas.

Os textos têm um papel importante na configuração desses objetos de conhecimento, mas o papel do aluno não é o de reproduzir o conteúdo do texto (embora tenha percebido movimentos de paráfrase em suas leituras). É no encontro de diferentes memórias, outros discursos, outros dizeres “exteriores” à escola que, mediados pelos textos, estas questões foram produzidas.

A maior parte das questões puderam ser classificadas em quatro categorias quanto aos seus objetos de conhecimento: fenômenos, processos, metalinguagem, matemática, embora algumas das questões pudessem ser enquadradas em mais de uma categoria. Antes de tudo, esta separação visa a realçar diferentes componentes do conhecimento escolar cuja produção, mediada pelos textos, se anuncia, e da qual as questões nos dão alguns indícios.

O quadro a seguir mostra as frequências das questões, para cada categoria, em porcentagens relativas ao número total de questões formuladas pelos alunos em cada atividade de leitura². Na categoria *outros* encontram-se questões que não puderam ser alocadas nas demais categorias.

QUADRO 1:

TEXTOS	FENÔME- NOS	PROCES- SOS	METALIN -GUAGEM	MATEMÁ- TICA	OUTROS
de jornais sobre o Big Bang e Buraco Negro	12%	40%	43%	0 %	0%
trecho do PSSC sobre Tycho Brahe e Kepler	4%	58%	4%	44%	5%
de Feynman sobre a Lei da Gravitação Universal	36%	5%	28%	15%	13%

Vejamos com mais detalhes as condições de produção destas questões.

A) Processos

Esta categoria inclui questões que dizem respeito, explícita ou implicitamente, a quaisquer aspectos relacionados com a produção do conhecimento científico, como por exemplo, a formulação de hipóteses, os pressupostos teóricos, metodológicos, estéticos, filosóficos envolvidos no trabalho dos cientistas, o trabalho e a vida de um cientista, o contexto sócio-cultural da época, o uso de instrumentos e processos de medição, obtenção e

² Todas as porcentagens foram arredondadas para números inteiros.

análise de dados. Trata-se de um discurso cujo referente é a produção da ciência, das idéias científicas, o trabalho dos cientistas.

Os diferentes textos contribuíram de diferentes modos para configurar diferentes aspectos sobre os processos de produção do conhecimento científico.

Nota-se, pelo Quadro I, que o texto de Feynman teve pouca influência na configuração dos objetos dessa categoria. No texto do PSSC, sobre Kepler e Tycho Brahe, notam-se questões formuladas pelos estudantes Ale e Rog, que dizem respeito ao contexto sócio-cultural mais amplo:

Ale *Na Idade Média, quando a Igreja dominava as idéias, aquelas que não eram aceitas eram jogadas fora ou guardadas?*

O que levava os astrônomos a contrariar as idéias da Igreja?

Como eles ganhavam a vida, sobreviviam (só com suas descobertas) e quem os financiava?

Rog *Como era a vida de Tycho, o que o povo achava de suas experiências?*

Se o livro era tão importante porque motivo a Igreja o proibia?

Estas questões se configuram numa abordagem *externalista* da ciência, destacando as relações dos cientistas com a Igreja, detalhes sobre a vida, o cotidiano dos cientistas e suas relações com o cotidiano em geral das pessoas de sua época. Trata-se de questões que configuram as condições histórico-culturais e sociais da produção científica como objeto de conhecimento. De modo mais indireto, uma perspectiva histórica também está presente na relação entre o passado e o presente da contemporaneidade dos estudantes, em questões como as de Rog:

Tycho Brahe: geocêntrico ou Copérnico, qual teve mais influência nas descobertas de hoje?

Tycho foi muito importante para as descobertas de hoje, e porque não é tão falado?

Nestas questões o aluno busca compreender a influência do trabalho de Tycho Brahe nos dias de hoje.

A vida dos cientistas e o contexto em que eles vivem e produzem seu trabalho, configuram-se como objetos de conhecimento num movimento discursivo em que os sujeitos são nomeados e representados como pessoas reais. A maioria das questões formuladas pelos estudantes sobre este texto, relacionam, direta ou indiretamente, ações, pensamentos, atitudes, com os respectivos nomes dos sujeitos, individualizados no/pelo discurso: *Como Kepler explicou; Como [ele] conseguiu descobrir o sétimo planeta?; No sistema geocêntrico de Tycho Brahe; O que levou Kepler a distinguir; Como eles ganhavam a vida; Como eles usavam matemática, hein!; Qual é o cálculo utilizado por Tycho Brahe; Como ele chegou nas formas geométricas dos planetas?; Kepler achava que; Porque Tycho Brahe não aceitou; 2. Como era a vida de Tycho; Se ele era tão fascinado por matemática.*

As teorias ou leis científicas também são configuradas como objeto de conhecimento de diferentes formas. De forma mais direta em questões como: as de Gab e de Hec em relação ao texto de jornal sobre o Big Bang: “Os cientistas teriam outras teorias além do Big Bang? Quais?”; “O que falta para os cientistas concluírem a teoria do Big Bang?”; “A teoria do Big Bang é a mais provável?”; “O teoria do Big Bang foi concluída?”.

A existência de processos de medida, obtenção de informações, principalmente numéricas, que muitas vezes incluem complexos procedimentos e artefatos, e que nem se dão de maneira direta.

Como os satélites captam os raios-X emitidos pelos buracos negros?

Eles conseguiram calcular a temperatura da radiação analisando somente a excitação dos átomos?

Como se mede a temperatura do Universo?

A única maneira de confirmar se é um buraco negro é esperando 17 anos até que a estrela SO-2 percorra sua órbita? Com toda essa tecnologia não existe uma forma mais rápida?³

A última dessas questões, aponta para as relações entre teoria e dados empíricos e para as relações entre tecnologia e obtenção de dados.

³ Questões formuladas na leitura dos textos de jornais.

O aprofundamento destas questões dependerá, sem dúvida, de diversas opções do professor que passam por recursos disponíveis a condições concretas de trabalho, como por exemplo o número de aulas semanais reservadas para a disciplina. De qualquer modo, é relevante que estas questões tenham sido produzidas no espaço escolar na medida em que configuram um pensar sobre a ciência. Não são os sentidos estabilizados o foco do trabalho, mas os implícitos que constituem parte do saber escolar produzido pela mediação desses textos. Implícitos que configuram uma ciência humana, produzida num contexto social, político, econômico, cultural, concreto; uma ciência que possui nomes, alguns mais ou menos lembrados, de pessoas concretas, que vivem, “ganham a vida”, precisam de dinheiro para se manter e para pesquisar, uma ciência extremamente vinculada à tecnologia. A seguir, estão listados alguns aspectos da produção do conhecimento científico implícitos nessas leituras a partir de trechos dos textos lidos e de possibilidades de desdobramentos a partir de questões produzidas pelos estudantes:

a) observa-se a existência concomitante de mais de uma teoria, havendo disputas entre diferentes idéias, envolvendo poder e diferentes interesses;

Quarta-feira, dia 31/01/01, discutimos na aula de geografia sobre qual teoria (criacionista ou evolucionista), cada um de nós acreditávamos. Em qual você acredita? Por quê?

Os cientistas teriam outras teorias além do Big Bang? Quais?

Porque Tycho Brahe não aceitou o sistema copernicano?

b) há um jogo complexo na escolha, aceitação ou rejeição de idéias e teorias, envolvendo fatores diversos, entre eles, a concordância ou não com os dados experimentais obtidos;

Se o livro era tão importante porque motivo a Igreja o proibia?

A teoria do Big Bang é a mais provável?

c) a produção de conhecimento na física envolve coleta de dados, medições, que sua vez envolvem complexos procedimentos, trabalhos realizados durante anos e anos a fio, e usos de instrumentos tecnológicos;

A única maneira de confirmar se é um buraco negro é esperando 17 anos até que a estrela SO-2 percorra sua órbita? Com toda essa tecnologia não existe uma forma mais rápida?

Como se mede a temperatura do Universo?

d) a ciência precisa de dinheiro, verbas, financiamentos;

Como eles ganhavam a vida, sobreviviam (só com suas descobertas) e quem os financiava?

e) a matemática faz parte da produção desses conhecimentos, particularmente do conhecimento físico;

Como ele chegou nas formas geométricas dos planetas?

f) há cientistas menos lembrados ou esquecidos que também contribuíram para a ciência;

3. Tycho foi muito importante para as descobertas de hoje, e porque não é tão falado?

g) envolve a formulação de hipóteses, pressupostos;

Kepler achava que as órbitas planetárias baseavam-se em sólidos regulares como seria?

h) envolve árduo trabalho, erros, equívocos cometidos até por grandes cientistas;

i) é uma produção coletiva, seja porque há uma equipe trabalhando em conjunto, seja porque um trabalho se relaciona com outros; trabalhos realizados há séculos estão relacionados com trabalhos desenvolvidos nos dias de hoje;

Rog. 1. Tycho Brahe: geocêntrico ou Copérnico, qual teve mais influência nas descobertas de hoje?

j) as teorias nunca estão completamente concluídas.

2) Os cientistas teriam outras teorias além do Big Bang? Quais?

Trata-se de sentidos e objetos de conhecimento que se anunciam, nem todos se aprofundam, nem todos são compartilhados. Objetos de conhecimento configurados com a

participação dos estudantes a partir de diferentes histórias de vida, interesses, expectativas, mas que configuram uma atmosfera que, de um lado, pode fazer o aluno se sentir parte do processo de construção de conhecimentos, parte da aula, parte da escola, e por outro, numa atmosfera que complexifica a ciência, não restringindo o discurso pedagógico aos produtos do conhecimento científico. Esta atmosfera não foi produzida pela fala do professor, mas pelo encontro entre leitores-alunos e textos, num contexto que possui sua história. E sua própria constituição se dá de forma a tensionar esta história, os lugares que os sujeitos ocupam.

B) Fenômenos

Nesta categoria inclui questões que dizem respeito a fatos do mundo natural, sejam eles observáveis ou derivados de um modelo. Exemplos:

De acordo com o princípio da inércia, como começou o movimento dos planetas?

Se um objeto ou corpo atrai o outro porque não estamos todos juntos? Os planetas, luas, etc.?

A partir do Quadro I, pode-se notar que o texto que mais influenciou a formulação de questões nesta categoria foi o texto de Feynman (36% das questões), seguido pelos textos de jornais sobre o Big Bang e o Buraco Negro (12% das questões) e pelo texto do PSSC sobre Kepler e Tycho Brahe (apenas, 4%).

Na leitura dos primeiros textos, os de jornais, temos quatro questões formuladas por três alunos.

[1] Adr *O buraco negro pode causar algum dano para a Via-Láctea?*

[2] Ale *O que seria exatamente um buraco negro e se ele pode engolir um planeta?*

[3] Hec *Os Buracos Negros emitem Raio X?*

[4] Hec *O Big Bang formou todo o Universo?*

As questões [3] e [4] indagam a partir de informações obtidas nos próprios textos, a informação de que o Big Bang teria originado todo o Universo e a informação de que os buracos negros emitem raio X. Ao formularem estas questões, estes estudantes destacam do texto informações que, de algum modo, lhes chamaram a atenção, aparentemente por se revelarem novas, surpreendentes.

Já as questões [1] e [2] referem-se aos buracos negros e abordam fenômenos não tratados no texto. Elas fornecem indícios de um interesse orientado para o fantástico e associado a uma concepção de buraco negro como algo danoso, maléfico, prejudicial, terrível, assustador. Bachelard (1996) aponta um *interesse* análogo em relação ao fenômeno do trovão, como característica do espírito pré-científico.

“Peguem um livro científico do século XVIII e vejam como está inserido na vida cotidiana. O autor dialoga com o leitor comum um conferencista. Adota os interesses e as preocupações *naturais*. Por exemplo: quer alguém saber a causa do trovão? Começa-se por falar com o leitor sobre o medo de trovão, vai-se mostrar que esse medo não tem razão de ser (...). Todo leitor tem, portanto, a probabilidade de encontrar no livro elementos para o diagnóstico de seu próprio caso. Tal diagnóstico era útil porque a hostilidade da Natureza parecia, então mais direta. Atualmente as principais causas de nossa ansiedade são causas humanas. (...) Os fenômenos naturais estão desarmados porque são explicados.” (p. 31)

A leitura destes textos encontra o leitor numa cotidianidade constituída por objetos *temidos, misteriosos*, como os Buracos Negros.

Já na leitura do texto do PSSC temos duas questões formuladas por dois alunos.

[5] Ale *No sistema geocêntrico de Tycho Brahe o Sol pode se chocar com Marte? Se sim, porque o aceitavam?*

[6] Tat *Se, de acordo com Tycho, o Sol gira ao redor da Terra e os outros planetas ao redor do Sol, os planetas também giram ao redor da Terra?*

Estas questões solicitam uma confirmação do interlocutor sobre uma conclusão a que teriam chegado a partir da interpretação do modelo astronômico de Tycho Brahe representado numa figura do texto. Ambas foram formuladas a partir de um modelo teórico apresentado no texto.

A relação dos estudantes com os fenômenos naturais foram variadas. Elas envolveram implicitamente saberes e interesses do senso comum, cotidianos, discursos que circulam pelas mídias. Além disso, também oportunizou o uso de modelos fornecidos pelo texto, e novas e surpreendentes informações.

Na leitura do texto de Feynman temos 14 questões formuladas por cinco alunos.

- [7] Adr *De acordo com o princípio da inércia, como começou o movimento dos planetas?*
- [8] *Por que os planetas giram na órbita sendo que ela é abstrata?*
- [9] *Por que os satélites não batem na Terra?*
- [10] Ale *Porque um planeta gira com velocidade uniforme em volta do Sol?*
- [11] *O que faz os planetas girarem?*
- [12] *O que faz a Lua girar em volta da Terra?*
- [13] *Porque a atração sobre as estrelas? Porque elas se atraem?*
- [14] Bru *Porque o movimento desvia-se da linha que um corpo percorreria se não houvesse força?*
- [15] *Porque é muito raro a distância das estrelas se colidirem?*
- [16] Gab *Se um objeto ou corpo atrai o outro porque não estamos todos juntos? Os planetas, luas, etc.?*
- [17] *P (sic) as coisas ã grudam na terra?*
- [18] Mar *Porque as estrelas duplas se atraem?*
- [19] *Porque existem tão poucos planetas e tantas estrelas?*
- [20] *A terra e os outros planetas imitam a um giroscópio ao girarem sobre seu eixo quebrando a barreira da gravidade e girando de um só rota?*

Na constituição dessas questões, os movimentos de elaboração de pensamento, construção de conhecimento, de relação com o texto, são bem mais diversos. Mas gostaria de adiantar que se na categoria *processos* temos a ciência, os cientistas, as teorias, processos envolvidos na produção do conhecimento científico como objeto mais ou menos explícito do

discurso pedagógico, outros aspectos que compõem as condições de produção desse conhecimento aparecem como implícitos quando o discurso pedagógico tem como objeto os fenômenos. Irei aprofundar essa questão quando analisar a leitura do texto de Feynman no tópico 5.3.

C) Matemática

Algumas questões elaboradas pelos alunos se relacionam direta ou indiretamente com a linguagem matemática.

O texto que mais suscitou questões sobre matemática foi o do PSSC e o que menos suscitou foram os textos de jornais.

No caso do PSSC, a matemática aparece como um aspecto fundamental, tanto do trabalho de Tycho Brahe, um estudo experimental de coleta e catalogação de posições de planetas e estrelas, quanto no de Kepler, relacionado a concepções filosóficas platônicas e pitagóricas envolvidas nos pressupostos teórico-metodológicos de seu trabalho.

- [21] Adr *Os dados de Tycho estavam realmente corretos?*
[22] *Não entendi o cálculo do flagrante.*
- [23] Ale *O que levou Kepler a distinguir formas de planetas?*
- [24] And *Quais fora as outras relações que Kepler descobriu?*
[25] *O que é órbita elíptica?*
[26] *... Como eles usavam matemática, hein!*
- [27] Bru *Eu gostaria que fosse explicado a terceira lei pois não entendi a razão $R^3/T^2 = k$.*
- [28] Die *Qual é a terceira lei de Kepler?*
[29] *Qual a fórmula utilizada para chegar na segunda lei de Kepler?*
- [30] Gab *O que significa 1/60 de grau e 8/60 de grau?*
[31] *Na tabela 2-O sistema solar, não se sabe o raio médio do Sol e o período de revolução? Não se consegue fazer cálculos?*
[32] *Kepler achava que as órbitas planetárias baseavam-se em sólidos regulares como seria?*
[33] *A lei III de Kepler não consegui entender.*
- [34] Hec *O que é R^3/T^2 ? Se R é o raio o que é o 3?*

- [35] *Na figura 22-8 como ele chegou nas formas geométricas dos planetas?*
- [36] Mar *O que significa $R^3/T^2 = k$?*
- [37] *O que a 3ª lei de Kepler significa?*
- [38] Tat *Em que consistia essa ligação entre seis órbitas e os cinco sólidos geométricos? Como ele chegou a essa ligação?*
- [39] *Como assim uma linha tirada do Sol ao planeta descreve áreas iguais em tempos iguais?*
- [40] *O que é constância da razão?*

As questões [23], [24], [26], [32], [35], [38] relacionam-se ao processo de produção do conhecimento científico e sua relação com a matemática.

A observação de And, “... *como eles usavam matemática, hein!*”, pode sintetizar um aspecto relevante da significação dessas questões. A matemática aqui aparece como parte intrínseca do trabalho de um cientista, de seu raciocínio, implicada na formulação, rejeição ou aceitação de suas hipóteses, na natureza do conhecimento que Kepler buscava: descobrir relações matemáticas, estabelecer ligações entre fatos matemáticos, a forma geométrica das órbitas, regularidades matemáticas. É do trabalho de Kepler que está se falando, é do trabalho da física, é a forma de produção de um determinado conhecimento que está sendo significada.

Essas questões se produziram na incompletude do texto. O texto não as coloca, não as responde. E, como coloca Orlandi (1993), saber ler é saber o que o texto diz e o que ele não diz mas o constitui significativamente.

As dúvidas sobre a 3ª lei de Kepler foram explicitadas por vários alunos. Uma fórmula física!⁴ Grande parte desses alunos sabem que existe uma relação entre a física e fórmulas. Aprenderam-no na escola. Sabem que as fórmulas são parte dessa disciplina. Fórmulas relacionadas a atividades que envolveram fazer contar, cálculos, obter resultados numéricos. Aqui, as fórmulas aparecem enquanto partes não exclusivas de um modo de pensar, conhecer o mundo, resultados de um trabalho que envolve uma série de outros aspectos.

⁴ A 3ª lei de Kepler se expressa matematicamente como $T^2/R^3 = K$, ou seja, os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer são proporcionais aos cubos de suas distâncias médias ao Sol.

Representação diferente daquela que pode ser implicitamente veiculada no seu uso apenas operacional, bastante freqüente em aulas de física, seja no ensino médio, seja no fundamental. Fórmulas não são dadas, não estão prontas. A fórmula matemática é resultado do trabalho científico, envolvida numa certa concepção desse trabalho e de seu objeto, a natureza. Difícil compreendê-las, mas a questão [40] pode ser considerada indício de um direcionamento para uma compreensão do funcionamento dessa linguagem no discurso da física: “A constância da razão R^3/T^2 é chamada terceira lei de Kepler” (PSSC, 1966, p. 55), mas *o que é constância da razão?*. “Uma vez encontrada esta razão, a regularidade era flagrante” (idem, ibidem).

“A terceira lei de Kepler, ou lei dos períodos, foi apresentada no livro Harmonia dos Mundos, publicado em 1618. Após a publicação de suas duas leis, Kepler buscava relacionar, numa única expressão matemática, dados dos diferentes planetas uma vez que estava convencido, desde sempre, que deveria haver alguma regularidade ou ordem especial que ligaria o movimento dos diferentes componentes do sistema solar. Ele nunca deixara de ser um pitagórico convicto.” (Zanetic, 1995, p. 92)

Linguagem relacionada a determinados valores componentes, implícitos da constituição do discurso e do conhecimento físico. Fórmula que aparece envolta num contexto textual verbal que fornece elementos que podem contribuir para o acesso ao sentido que a linguagem matemática em si, por si só, não fornece.

“A utilização da geometria e da matemática enquanto linguagens preferenciais para dialogar com a natureza, para representar aspectos dessa natureza, superando, assim, a hegemonia da experiência espontânea, foi responsável pela substituição de uma física contemplativa e qualitativa por uma matematização da física. Kepler e, principalmente, Galileu foram os mais importantes reintrodutores dessa forma de pensar a natureza, foram os precursores de uma nova epistemologia.” (Zanetic, 1995, p. 83)

Para alunos que estão iniciando seu contato com a física no nível médio talvez esse contato com a matemática, com a relação entre física e matemática seja muito mais relevante (e interessante!) do que a operacionalização. E talvez ele possa constituir uma memória que lhes permita significar as fórmulas e cálculos que encontrarão pela frente e significar também a natureza através delas.

No caso do texto de Feynman, apenas dois alunos produzem questões relacionadas com a matemática, Adr e Tat.

Adr *Como calcular a força da gravidade com números dos corpos?
Não entendi a explicação matemática da elipse.
Não entendi a terceira lei de Kepler.
A que, de fato, está relacionado o número 10^{42} .*

Tat *Como assim, varia inversamente ao quadrado da distância entre eles?
Como se desenvolve a lei de Kepler nº 03?*

A relação da linguagem matemática com o texto de Feynman é diferente do caso do texto do PSSC sobre Tycho Brahe e Kepler. Aqui, ela aparece como parte da argumentação do texto, mais especificamente, parte do raciocínio de Newton descrito pelo autor no texto.

No caso de Adr é possível dizer algo a mais sobre a formulação de suas questões. Adr é considerada pelos próprios alunos e pelo conjunto unânime de seus professores, a melhor aluna da classe. É séria e compenetrada. Senta-se na primeira carteira na fileira do centro da sala, diante do professor. Sua preocupação central é o vestibular.

“Eu acho que o mais importante para todos os alunos, inclusive para mim, é o aprendizado que servirá para o vestibular, ou seja, conteúdos que sirvam para resolver o vestibular.”⁵

Aqui ela formula quatro questões relacionadas com a matemática. Numa delas é bem clara a insistência, a cobrança ao professor sobre que conhecimentos e habilidades ele *deve* trabalhar na disciplina física: *“Como calcular a força da gravidade com números dos corpos?”*. A relação com os textos é mediada também por expectativas, interesses. Algumas expectativas construídas na experiência anterior com a física escolar.

D) Metalinguagem

Aqui, foram incluídas questões que dizem respeito ao significado de palavras, expressões, geralmente definições de conceitos científicos, ao enunciado de leis. Exemplos:

⁵ Trecho de uma atividade em que o professor da classe, na sua volta, sondava expectativas dos estudantes, a partir de material que ele nos forneceu.

O que é órbita elíptica?

O que é força centrífuga?

O texto que mais suscitou questões sobre a metalinguagem foram os textos de jornais, seguido pelo texto do Feynman. Questões dessa natureza serão discutidas no próximo tópico.

5.2. O funcionamento de textos de divulgação científica publicados em jornais

Na leitura destes textos estão bastante presentes questões do tipo: *o que é, o que significa, o que é exatamente.*

A relação dos estudantes com a metalinguagem tem sua história. Uma história construída por um discurso que, por se pretender científico, oculta os fatos, o referente, colocando em primeiro plano a metalinguagem (Orlandi, 1987). Este é um dos aspectos que caracterizam, como já discuti, o discurso pedagógico como autoritário, no qual a polissemia é contida, “pois se coloca o sentido único, o dado e legitimado pela escola, que é a definição” (Orlandi, 1983). Dizer a metalinguagem, as palavras “científicas” é uma expectativa que o aluno constrói sobre si mesmo, e por isso a cobra do professor.

Ser aluno, para esses estudantes, envolve saber definições, notadamente as que o professor sabe e deve saber, ou seja, a imagem de um discurso preciso e coerente (Orlandi, 1987). O trabalho com a metalinguagem faz parte da memória de um discurso pedagógico, da vivência escolar desses estudantes.

No entanto, na mediação desses textos, a metalinguagem fica em segundo plano. Ela aparece com mais frequência justamente na mediação de um discurso, o da divulgação científica de jornais, que, como aponta Authier-Revuz (1998), esforça-se por se distinguir do científico, explicitando-se como heterogêneo, marcando e distinguindo as palavras “científicas” das “não-científicas”.

No caso desses textos é preciso notar também que se trata das primeiras leituras feitas no curso, logo nas primeiras aulas. Neste caso, as expectativas anteriores são bem mais fortes do que aquelas construídas ao longo das aulas da unidade de ensino. O aluno destaca do texto aquilo que imagina lhe será cobrado posteriormente e que o próprio texto não lhes

fornece, ou seja, as definições. Além disso, está subjacente a imagem do que deve/pode ser dito no espaço escolar, espaço onde a metalinguagem comumente é colocada em primeiro plano.

Em pelo menos duas das questões formuladas pelos estudantes, uma de Ale, outra de Die, pode-se escutar o eco dessa “cientificidade” escolar e do modo como ela é representada no/pelo discurso pedagógico: Ale “*O que seria exatamente um buraco negro (...)?*”; Die “*O que é exatamente raio gama?*”. É bem possível que “buraco negro” e “raio gama” não sejam palavras estranhas aos alunos, mas a escola seria o lugar de substituir esse conhecimento vago por um conhecimento certo, preciso, exato, como aquele representado pela metalinguagem, garantido por uma definição.

Por outro lado, os textos de jornais funcionaram também produzindo sentidos sobre o funcionamento da ciência, nos seguintes aspectos:

a) a vinculação entre teoria e dados experimentais:

Adr: “*Como a temperatura prova a existência do Big Bang?*”

b) o inacabamento, a provisoriedade das teorias científicas:

Hec: “*O teoria do Big Bang foi concluída?*”

c) a existência de divergências entre teorias e concepções científicas:

Adr: “*Quarta-feira, daí 31/01/01, discutimos na aula de geografia sobre qual teoria (criacionista ou evolucionista), cada um de nós acreditávamos. Em qual você acredita? Por quê?*”,

Hec: “*A teoria do Big Bang é a mais provável?*”

d) a vinculação entre ciência e tecnologia na produção do conhecimento científico:

Adr: “*A única maneira de confirmar se é um buraco negro é esperando 17 anos até que a estrela SO-2 percorra sua órbita? Com toda essa tecnologia não existe uma forma mais rápida?*”

e) o fato de que teorias criam objetos:

Mar: “*O que é um objeto hipotético?*”

Na avaliação realizada após o final do primeiro bloco do curso pude encontrar outras verbalizações implicadas na significação da ciência. O estudante Rog diz: “Tive muitas

dúvidas, a maioria ainda inexplicável pois o homem ainda não possui acesso a ela, (...). Representando, no discurso, uma ciência inacabada, com questões em aberto, sem respostas.

Esses textos mediarão uma aproximação com os objetos e fenômenos astrofísicos e cosmológicos, como nas questões abaixo:

Adr: “*O buraco negro pode causar algum dano para a Via-Láctea?*”

And: “*O buraco negro pode ser perigoso?*”

Bru: “*O que é um buraco negro hiperdenso?*”

Ale: “*Como os satélites captam os raios-X emitidos pelos buracos negros?*”

Ale: “*O que seria exatamente um buraco negro e se ele pode engolir um planeta?*”

And: “*O que é uma nebulosa?*”

Bru: “*O que é radiação cósmica de fundo?*”

As questões elaboradas pelos alunos Bru e Mar, referem a gravidade a um fenômeno não terrestre.

Bru: “*O que são objetos em colapso gravitacional?*”

Mar: “*O que significa um objeto estar em colapso gravitacional?*”

A leitura desses textos fez parte de um conjunto de atividades em que foram utilizados outros recursos como as imagens, tabela de dados sobre os planetas do sistema solar, escalas de distâncias astronômicas, além de discussões em aulas em torno dos assuntos dos textos. Este primeiro bloco de aulas e estas leituras contribuíram para a construção de representações sobre o espaço cósmico.

Ao final das aulas do primeiro bloco da unidade de ensino, foi feita uma avaliação solicitando aos alunos que escrevessem uma síntese sobre o que eles haviam conhecido do Universo nessas aulas, dúvidas e questões que haviam permanecido⁶. Suas respostas permitem levantar alguns aspectos de suas concepções sobre o universo e o espaço cósmico.

⁶ As questões propriamente ditas desta avaliação foram: “1. *Escreva uma síntese sobre o que você conheceu do Universo nestas aulas? (idéias, sentimentos, idéias que mudaram, o que é, como é...)*; 2. *Que dúvidas e*

Todos os estudantes falam da teoria do Big Bang e revelam uma compreensão mínima razoável e enumeram uma série de aspectos de que se lembram das aulas. De um modo geral o Universo, para os alunos, trata-se de um espaço muito grande, infinito, frio, povoado por uma grande variedade de objetos, de diferentes tamanhos, cores, muito distantes uns dos outros, palco de objetos como satélites e planetas em movimento.

Um aspecto bastante destacado diz respeito às distâncias astronômicas. Sete dos dez alunos fizeram alguma referência à questão das distâncias entre planetas, estrelas (Hec: “*As estrelas são diferentes porque a distância entre elas são grande*”), galáxias ou às aulas em que isso foi discutido. Apenas nas respostas dos alunos And, Die e Tat não há referências às distâncias. A maioria das respostas é bastante vaga (Rog: “*percebi também o sistema solar, descobri várias distâncias*”), mas parece haver uma noção de que estas distâncias astronômicas são muito grandes (Mar: “*Deu pra notar também como o universo é enorme, e as coisas estão muito longe umas das outras.*”). A resposta de Gab explicita bem esta noção.

Gab

O universo é um infinito espaço em que nele existem várias galáxias, gases, estrelas, constelações, planetas, átomos, neutrons, elétrons, sistemas ... muitas coisas. (...) O universo é cheio de curiosidades, existem milhares de coisas nele que podem ser estudadas e investigadas para que nós possamos conhecer o infinito que são do céu e do universo, (...).

Em algumas das respostas nota-se que a gravidade é um termo que aparece relacionado a fenômenos não terrestres e a grandes escalas de distâncias.

Hec

As estrelas são diferentes porque a distância entre elas são grande, existe várias estrelas uma grandes umas pequenas, umas vermelhas outras brancas, etc. As estrelas de neutrons que tem 2 massa maior que o sol vai virar um buraco negro porque a força da gravidade é grande.

questões surgiram? 3. Sobre que assuntos você gostaria de ler?” As respectivas respostas encontram-se nos anexos.

Mar

No universo há muito gás, e as moléculas destes gases vão se atraindo, gerando uma pressão, a temperatura vai se elevando e o hidrogênio acaba se fundindo tornando-se hélio, formando as estrelas. (...) [fez um desenho]

(...)

A estrela morre da seguinte forma: a gravidade a força pra dentro e o H2 pra fora, quando ele acaba a estrela murcha, fazendo com que o hélio restante se condense expandindo-se formando uma Gigante Vermelha. murchando novamente formando um certo tipo de estrela morta.

Tat

Aprendi também algumas características dos planetas, que hoje a expansão é pequena pois cada coisa no universo atrai a outra.

Como esses sentidos sobre o universo, o espaço cósmico, a gravidade, produzidos neste primeiro bloco da unidade, se relacionam com a produção de sentidos sobre a gravidade no segundo bloco da unidade, na leitura do texto de Feynman?

Os textos de divulgação científica não funcionaram isoladamente, sendo preciso compreender sua mediação dentro do funcionamento mais amplo da unidade de ensino, e da mediação de outros textos que a compõe.

O trabalho realizado com os textos em sala de aula tornou explícito não apenas que os textos são incompletos, e isso faz parte da formação do leitor, como também que a escola e o professor não podem “completá-los” total e definitivamente, pois o próprio conhecimento científico é incompleto. Se não fosse trabalhada a incompletude do discurso científico, a incompletude da divulgação científica cumpriria sim, de fato, a função de remissão ao absoluto, na representação do discurso científico, como discuti no tópico 2.4., a partir de Authier-Revuz (1998). Esse efeito de sentido, de incompletude e inacabamento, não se produz apenas nessas leituras, mas é diluído por toda a unidade de ensino. E este

funcionamento não é exclusivo dos textos de jornais, como apontarei na análise de outros episódios de leitura.

Analisando respostas dos estudantes na avaliação do curso realizada no final da unidade⁷ pude obter indícios de como estas leituras significaram o ambiente escolar instaurado pela unidade de ensino.

Algumas respostas indicam a percepção e a sensação de que algo ficou inacabado, suspenso, de que havia muito mais a ser discutido, falado, ensinado, aprendido. Sensação acompanhada de um certo estranhamento e desconforto, e até mesmo gerando críticas e sugestões:

Adr *“Por outro lado, na maioria das vezes, não só as minhas, como as perguntas da classe não são respondidas.”*

Ale *“A falta de tempo, não pudemos falar mais sobre o universo desvendando mais dúvidas e fazendo assim a criação de mais perguntas, fazendo a gente aprender mais.”*

Mar *“Talvez por causa da matéria, mas várias coisas eu não entendi, e talvez por falta de tempo, havia várias coisas mais que eu queria saber mas o professor não explicou.”*

Rog *“Pouco tempo com a matéria, muitas perguntas não esclarecidas.”;*

Não lhes foi mostrada nenhuma “lista de conteúdos” ou tópicos que deveriam ser cumpridos de modo que eles pudessem comparar o que efetivamente se trabalhou com o que havia sido proposto trabalhar. Esta sensação e percepção vêm do fato de que a quantidade e variedade de questões formuladas pelos alunos foi maior do que as que foram efetivamente trabalhadas, aprofundadas, “respondidas” pelo professor. Está subentendido aqui um papel para o professor e uma característica do conhecimento escolar: o de ter as respostas para *todas* as questões. No entanto, o exercício do questionamento e da formulação de respostas que os alunos vivenciaram não é simplesmente um modo de comunicação entre o professor e

os alunos, mas parte de seu próprio processo de elaboração e reflexão. Questionar um texto é, antes de tudo, trabalhar a sua incompletude, característica de todo texto, conhecimento fundamental na formação do leitor.

Esta sensação e percepção se constróem sob a intervenção inconsciente de uma memória implicada em representações sobre o conhecimento escolar. A participação dos estudantes em todo o curso, principalmente através da formulação de questões, manifestação de seus mais variados interesses, as leituras abertas, configuraram um universo temático extremamente amplo e diversificado que, em parte foi aprofundado, trabalhado, mas em parte permaneceu aberto, inconcluso, inacabado. Indicar o tempo como um fator explicativo para o não fechamento “completo” dos temas levantados em aula significa conceber que o fechamento, a completude são possíveis.

Esta sensação é uma interpretação de uma situação que caracteriza a unidade de ensino, como veremos em detalhes, mas podemos perceber indícios de outras interpretações, forjadas a partir das mesmas representações. Alguns atribuem o *problema* do não fechamento completo às estratégias pedagógicas do professor: “*Na minha opinião, se o professor pede para questionarmos alguma coisa, acho que ele tem que responder a todos fazendo uma seleção e comentando para a classe as mais interessantes.*” A dinâmica de sala de aula cria uma expectativa vinculada à atribuição de um papel ao professor. Mais detidamente, no entanto, percebemos que esta aluna não esperava ver *todas* as questões respondidas, mas pelo menos algumas questões de *todos* os alunos. A dinâmica das aulas criou a sensação e a expectativa de uma interação mais pessoal. De certa forma, expectativa bastante coerente neste caso, já que, ao abrir espaço para a participação dos alunos, suas falas se tornaram mais pessoais, e eles deixaram de se esconder atrás das respostas homogeneizadas e impessoais comumente requisitadas na escola.

Se se colocar na posição de formuladores de questões tensiona a memória dos papéis comumente atribuídos aos estudantes no discurso pedagógico, não terem as respostas para todas as questões, ou para as *suas* questões, tensiona a memória do espaço escolar como lugar de *todo* o conhecimento. Também produz sentidos.

⁷ Entre as questões propostas estavam: “1. *Que pontos, aspectos, características dessas aulas você destacaria como positivas?* e 2. *Quais você destacaria como negativas?*”.

O professor responsável pelas classes, que prosseguiu as aulas que iniciei na escola particular, relata num e-mail me enviado alguns meses depois de terminado o trabalho de campo nesta escola: *“Henrique, quanto às primeiras séries, estou gostando muito de trabalhar com eles, (...). O mais legal é que eles continuam acesos e com bastante curiosidades em termos de tópicos da ciência.”*

Isso se deve provavelmente tanto aos temas trabalhados, como também a este ambiente de participação, debates, discussões, troca de idéias, questionamentos que as aulas ajudaram a constituir pelas estratégias e materiais utilizados.

No entanto, não se tratam de tópicos e estratégias de ensino escolhidos e elaborados apenas por serem de grande interesse por parte dos estudantes ou para simplesmente tornarem as aulas atrativas. Esses elementos são fundamentais se efetivamente puderem contribuir para uma formação cultural em ciência. É preciso considerar que esse interesse, participação, envolvimento, configuram um outro funcionamento discursivo em sala de aula e não há como separar o funcionamento da linguagem dos sentidos que ele produz.

Nessa avaliação final do curso, solicitei também que os estudantes falassem sobre suas leituras: *“Que textos, reportagens você leu sobre esses assuntos durante esse tempo? O que te motivou a ler? Por que não leu?”*.

- Adr *Li algumas reportagens das revistas Superinteressante e National Geographic sobre a gravidade da Lua, se existe vida em Marte o que são buracos negros, que inclusive trouxe para o professor poder ler. Fiquei motivada a ler por ser assuntos comentados e explicados em classe.*
- Ale *O texto da revista Superinteressante (buracos negros). O motivo de desfazer minhas dúvidas e aprender mais.*
- And *Revista Globo Ciência! Sobre o que tinha nas revistas sobre o Universo, me chamava atenção.*
- Bru *Reportagens sobre Marte, sobre estrelas e sobre órbitas. As aulas, as dúvidas me motivaram a ler.*
- Die *Eu li uma reportagem sobre o buraco negro.*

- Gab *Sobre estrelas, planetas, li um pouco de tudo. Pesquisei em revistas, livros... me motivou a ler pelo interesse às aulas, eu queria saber mais para discutir e como eu acho muito interessante procuro saber cada vez mais sobre os assuntos que me interessam, quero acabar com curiosidades, por isso pesquiso.*
- Mar *Li sobre formação de galáxias, estrelas, planetas, sobre o big bang e também reportagens recentes como o pouso de uma sonda em um meteoro em movimento.*
- Rog *A queda do satélite Mir no oceano pacífico, o estudo com esse tipo de assunto.*
- Tat *As reportagens que sai de domingo na revista do jornal Correio Popular. Sempre li a revista inteira e agora com essa nova parte fiz a mesma coisa e também porque eu tive curiosidade de saber sobre o que falava os textos.*

Nesta dinâmica de interações de que falei acima, cujo funcionamento discursivo será analisado em detalhes, o papel e as práticas de leitura também *significam* e contribuem para o tensionamento de significações pré-existentes sobre o espaço e o conhecimento escolares.

Os estudantes se sentiram motivados a ler: *“por ser assuntos comentados e explicados em classe”*; para *“desfazer minhas dúvidas e aprender mais”*; por causa das *“aulas, as dúvidas”*; porque *“eu queria saber mais para discutir e como eu acho muito interessante procuro saber cada vez mais sobre os assuntos que me interessam, quero acabar com curiosidades, por isso pesquiso”*.

A leitura foi motivada justamente pela falta, pela procura pelo que não foi respondido, pela incompletude das aulas. Mas também por querer participar delas, para ter o que falar/perguntar, para poder dar respostas aos seus próprios questionamentos. É justamente por se configurar como um espaço em que não coube tudo, e por ser o aluno parte deste espaço incompleto e do esforço conjunto por completá-lo que outras leituras foram realizadas, que o universo já existente de leituras de alguns estudantes parece ter se ampliado.⁸

⁸ Nos Anexos encontram-se os textos deixados na biblioteca da escola para consulta dos alunos.

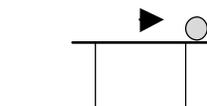
5.3. Sentidos da síntese newtoniana pela leitura de um texto de divulgação científica

Antes da leitura

A leitura de um texto de divulgação científica que focaliza a síntese newtoniana se deu dentro de um conjunto específico de atividades no segundo bloco da Unidade de Ensino. Trata-se do texto “A lei da gravitação universal”, capítulo da coletânea *Física em Seis Lições*, Richard Feynman, lido na escolar particular. Na escola pública foi lido o texto de George Gamow, “A maçã e a Lua”, segundo capítulo do livro *A gravidade*.

As aulas que compuseram esta seqüência foram: 1) resolução e discussão de um questionário, 2) leitura do texto com a requisição da anotação de dúvidas e questões por escrito, 3) discussão coletiva do texto e, 4) avaliação final. Na escola pública, antes da discussão coletiva, os estudantes trabalharam em grupos respondendo a uma seleção de questões feitas pelo professor a partir do conjunto total de questões que a classe levantou na leitura do texto de G. Gamow. Nos dois casos tratou-se das últimas aulas da unidade de ensino.

Abordarei inicialmente o desenvolvimento da primeira atividade desta seqüência. Trata-se de um conjunto de questões dividido em duas partes⁹.

[Frente da folha]	[Verso da folha]
<p>Vamos pensar e discutir juntos as questões abaixo, procurando compreender a queda dos objetos. A figura abaixo representa uma mesa e uma bolinha.</p>  <p>1. Faça 2 desenhos que representem a trajetória da bolinha quando empurrada para fora da mesa com 2 velocidades diferentes, primeiro devagar, depois mais rápido. 2. O que aconteceria com a trajetória da bolinha se você pudesse empurrá-la cada vez mais rápido? Explique. Faça desenhos. 3. Se continuássemos aumentando a velocidade da bolinha seria</p>	<p>Para pensar sozinho... 4. Por que a Lua não cai sobre a Terra como os outros objetos? E o que a mantém girando em volta da Terra? 5. Como você poderia explicar o fato dos planetas girarem em torno do Sol? Como a Terra e os planetas conseguem ficar girando em torno do Sol infinitamente, sem parar? 6. É possível existir gravidade sem ar? Explique como você chegou a essa conclusão e dê exemplos. 7. Até onde vai a gravidade da Terra? Como você chegou a essa conclusão?</p>

⁹ Esta atividade foi inspirada e adaptada de Bar, Sneider e Martimbeau (1997).

possível ela sair da Terra? Por quê? Seria possível ela dar uma volta na Terra? Por quê? (faça desenhos se achar necessário)	
--	--

Na parte da frente da folha os alunos deveriam escrever as respostas, sendo que, entre duas questões era feita uma discussão das respostas, de modo que o questionário ia sendo preenchido ao longo da aula, com tempo para os alunos pensarem individualmente sobre cada questão e depois discutirem suas respostas. A seguir, deveriam ser respondidas, também, individualmente as questões do verso, sem a interferência do professor, embora os estudantes trocassem idéias entre si.

A situação descrita na figura foi feita em sala pelo professor. Durante a atividade, alguns estudantes reproduziam a situação com seus próprios objetos.

As questões 1 e 2 poderiam ser concretamente realizadas. A intenção era fazer com que os estudantes desenhassem as trajetórias e as comparassem. Nesta comparação, há uma variável que se altera entre as situações, a velocidade, fazendo com que o estudante estabelecesse uma relação entre a forma da trajetória e a velocidade. O resultado é o de trajetórias curvas, sendo que, quanto maior a velocidade, menos acentuada é a sua curvatura.

Na discussão em aula, o professor também chamou a atenção para a consideração da gravidade da Terra como um fator implicado na forma dessa trajetória.

A questão 3, implica numa mudança de escala e de visualização da cena, assim como imaginar velocidades muito maiores do que a que conseguimos imprimir à bolinha usando as mãos. Nesta mudança de escala, a curvatura da Terra torna-se um fator a ser considerado. É preciso considerar também que a bolinha cairá fora do alcance da nossa visão. Esta questão também procura estabelecer uma relação entre o movimento da bolinha e o movimento orbital.

As questões 4 e 5 dão continuidade à intenção de estabelecer uma relação entre todas essas trajetórias, sempre envolvendo uma certa velocidade e a ação radial contínua da gravidade. Nestas questões amplia-se ainda mais a escala e mudam os objetos.

As questões 6 e 7 procuraram fazer os estudantes pensarem sobre a noção de gravidade após essa seqüência de ampliação de escala de um mesmo fenômeno, do ponto de vista da mecânica newtoniana.

A figura XIV, análogo à existente nos Principia de Newton, representa esta situação.

A situação de expor suas “próprias” idéias não era nova para os estudantes, tendo sido bastante incentivada ao longo do curso, nas atividades escritas, nas leituras, nas discussões em aula.

Percebi que algumas respostas foram escritas ou modificadas após a respectiva discussão, de modo que idéias surgidas nas discussões misturaram-se nas respostas dos “próprios” alunos. Comparando-se respostas a diferentes questões podem-se notar contradições, e, às vezes, mais de uma explicação para o mesmo fenômeno, na mesma resposta. Frases como “*Vai chegar uma hora que ela terá a mesma inclinação da Terra, dando a volta.*”, “*Continua a mesma, só cairia mais longe. Só muda a velocidade horizontal.*”, “*Navio a 30 km – impossível enxergar pois o chão também é curvo*”, escritas pela aluna ADR na questão 2, foram ditas pelo professor, assim como um desenho que compõe sua resposta foi feito pelo professor na lousa durante as discussões.¹⁰

Esta atividade se insere numa memória própria construída pelas aulas anteriores, ao longo de aproximadamente dois meses de aula. Não se trata aqui simplesmente da situação escolar bastante típica em que o aluno espera ou copia a resposta do professor como sendo a correta. Esta aluna anota informações selecionadas das falas do professor, que não respondem à questão no sentido estrito, mas participam de um raciocínio envolvido na construção da resposta.

As respostas dos estudantes à questão 2 indicam que eles mantêm a visualização da cena do fenômeno (a queda da bolinha empurrada do canto da mesa) na escala da mesa, onde o chão é plano. Já o desenho copiado da lousa pela aluna, implica numa outra posição visual, na qual a curvatura da Terra torna-se um dos elementos a ser levado em conta na compreensão do fenômeno. A questão 3 em si não parece ter sido suficiente para produzir esta mudança de escala e de visualização, tendo sido necessária a intervenção do professor durante as discussões.

As imagens, implícita ou explicitamente, compõem as respostas dos estudantes e as discussões com o professor. Entre a imagem da bolinha caindo da mesa e a imagem da

¹⁰ Vide cópia nos Anexos.

bolinha girando em torno da Terra, há uma mudança de posição visual que implica numa ampliação da escala de visualização do fenômeno. Na escala da mesa, o observador está posicionado no mesmo chão em que se encontra a mesa, posição real de seu corpo na sala de aula. Já na escala da imagem da bolinha circundando a Terra, o observador está posicionado no “espaço cósmico”, fora da Terra. Este movimento do observador é o mesmo movimento implicado na leitura realizada da transparência 7 que analisei no capítulo anterior. Lembra-se da imagem?

Ao ampliar a escala, a gravidade deixa de ser pensada na direção vertical, associada a movimentos de corpos em queda, para ser pensada como direção radial. Os elementos “reais”, concretos, da situação da bolinha são extrapolados para elementos não visualizados concretamente, mas por desenhos esquemáticos colocados na lousa pelo professor. Aqui intervêm outras imagens, outras memórias, como aponta a resposta desta mesma aluna à questão posterior:

“Por um lado eu acho que não [a bolinha não poderia sair da Terra se continuássemos a aumentar a sua velocidade,] pela força da gravidade, mas por outro eu gostaria de saber como os foguetes saem da Terra.”

Bolinhas dando volta na Terra realmente são abstrações, extrapolações produzidas pela intervenção do professor. Mas, a aluna tem à sua disposição o conhecimento, a memória de uma situação concreta, de um objeto concreto, cujo movimento corresponde a essa abstração, o lançamento e a colocação de um satélite em órbita. Memória disponibilizada pelas aulas anteriores que parece ajudar o aluno a dar concretude às abstrações envolvidas nesse movimento discursivo, movimento que implica imagens e palavras.

No entanto, a consideração da gravidade como parte da explicação desse fenômeno, não está explicitamente presente no texto de outros alunos, e a ampliação de escala produz outro efeito de sentido. O aluno Mar respondeu à questão 3 da seguinte forma:

“Não [seria possível a bolinha sair da Terra se continuássemos aumentando a sua velocidade,] pois ela estava sendo mandada na horizontal, sendo assim seguiria a forma da Terra. Sim [seria possível ela dar uma volta na Terra], pois ela seguiria a forma da Terra.”

Também é possível levantar a hipótese de que o peso da concretude deste objeto “bolinha” dificulte a abstração necessária para imaginá-la saindo da Terra.

Mas, a função desta atividade era ampliar ainda mais as escalas do fenômeno, de modo a estabelecer uma identidade entre o comportamento da bolinha ao cair da mesa quando empurrada e o comportamento orbital da Lua em torno da Terra e dos planetas em torno do Sol.

Numa outra classe, durante as discussões da primeira parte da atividade, um aluno chega a esta conclusão, dizendo, no meio da discussão, “então é por causa da gravidade do Sol que os planetas giram em torno dele.”, respondendo antecipadamente à questão 5. No entanto, esta percepção não ocorre facilmente. E podemos, através de algumas respostas dos estudantes, compreender alguns aspectos desta dificuldade.

Volto à aluna Adr., analisando suas respostas às questões 4 e 5,

4. Por que a Lua não cai sobre a Terra como os outros objetos? E o que a mantém girando em volta da Terra?

Porque a Lua tem sua própria órbita.

5. Como você poderia explicar o fato de os planetas girarem em torno do Sol? Como a Terra e os planetas conseguem ficar girando em torno do Sol infinitamente, sem parar?

Por causa da órbita. Ela gira infinitamente, sem parar, porque sua força nunca acaba e se mantém constante.

As respostas desta aluna não se produzem por uma identificação com as situações envolvidas nas questões anteriores. A aluna fez, como vimos, junto com o professor, uma associação entre o movimento da bolinha e o de um satélite ou foguete, mas não consegue fazer sozinha a associação com o movimento da Lua e dos planetas.

Para a aluna Adr, estes objetos e seus movimento parecem ser de outra ordem. A órbita é o elemento explicador. A órbita como coisa concreta. Giram por causa da órbita, porque tem sua *própria* órbita. Discurso que faz ecoar as concepções aristotélicas de lugar e movimento naturais. Não há uma ampliação de escala porque há uma nítida separação de situações, fenômenos, corpos, ambientes, lugares: de um lado o mundo terrestre, de outro o

mundo celeste. Não vemos frequentemente imagens de bolinhas e outros objetos com suas respectivas trajetórias. Como também raramente vemos a imagem do sistema solar sem as respectivas órbitas planetárias. As órbitas são componentes tão reais quanto os planetas. É possível supor a intervenção de imagens escolares e não escolares do sistema solar com as respectivas órbitas dos planetas ali representadas.

Mais à frente mostrarei como a concepção desta aluna em relação à questão discutida, se não se pode afirmar que se alterou, pode-se apontar que foi posta em xeque na mediação da leitura do texto de Feynman.

Nas respostas desta mesma aluna às questões 6 e 7 (respectivamente: “*É possível existir gravidade sem ar? Explique como você chegou a essa conclusão e dê exemplos.*” e “*Até onde vai a gravidade da Terra? Como você chegou a essa conclusão?*”), temos uma concepção bastante comum, apontada, como mostrei, por diversas pesquisas em concepções alternativas: a de que na Lua não existe gravidade, porque não existe ar, associada à idéia de que a gravidade terrestre se estende apenas até o “limite” de sua atmosfera.

Voltando à questões 4 e 5, há movimentos discursivos diferentes nas respostas de outros estudantes, que vão mostrar que essas formulações, produzidas na mediação das questões desta atividade e das discussões em aula, revelam algo mais complexo do que a simples associação a uma concepção alternativa pode revelar. É pelo movimento discursivo que podemos dar visibilidade a esta complexidade.

O estudante Ale responde a essas questões da seguinte forma:

4. Por que a Lua não cai sobre a Terra como os outros objetos? E o que a mantém girando em volta da Terra?

A distância é muito grande e a gravidade da Terra não tem esse poder de puxar um objeto tão grande. A sua órbita.

5. Como você poderia explicar o fato dos planetas girarem em torno do Sol? Como a Terra e os planetas conseguem ficar girando em torno do Sol infinitamente, sem parar?

Eu acho que é um tipo de gravidade, atração coisas desse tipo. Porque não a nada que os puxe para outro lugar.

A questão 4 estabelece uma comparação entre a Lua e os outros objetos, no sentido da queda vertical e no sentido mais amplo do movimento curvo (orbital) causado pela gravidade. A resposta deste estudante não estabelece a relação entre as duas perguntas que compõem esta questão 4. A comparação entre a Lua e os outros objetos está implícita na primeira parte da resposta do estudante. Ele compara a distância entre os objetos e a Terra e entre a Terra e a Lua, compara a gravidade entre Terra-objeto e Terra-Lua, e o tamanho dos objetos. Implicitamente, gravidade neste enunciado diz respeito somente à Terra, ao seu poder de atração e não à interação entre os corpos. Mas na segunda parte da sua resposta, à segunda pergunta, ele fornece outra explicação: “Sua órbita.”. Uma explicação da mesma natureza que a fornecida por Adr. O movimento de queda vertical de um objeto e o movimento orbital, para este estudante, não se tratam do mesmo fenômeno, causados pela mesma força, a gravidade. No entanto, na resposta à questão 5, aparece a gravidade como explicação do fenômeno, mas talvez não exatamente a mesma gravidade relacionada com a queda dos objetos na Terra, mas um outro “*tipo de gravidade*”.

O estudante não estabelece qualquer tipo de relação entre o movimento da bolinha, da Lua e dos planetas. Trata-se de fenômenos diferentes.

A concepção de uma órbita “real”, como lugar natural do movimento dos planetas aparece também nas respostas de outros estudantes:

- And 4. “*Não tem gravidade no espaço, por isso não cai. Porque conforme a terra gira, além de estar em sua órbita, ela cria a órbita da lua.*”
5. [não fez]
- Bru 4. “*Porque ela têm a sua órbita. Velocidade constante.*”
5. “*Por causa da gravidade. Atração do núcleo.*”
- Gab 4. “*A lua não cai porque fora da atmosfera não existe gravidade, portanto ela permanece fora. Mas, ela gira porque tem uma órbita.*”
5. “*Porque os planetas possuem uma órbita, porém com velocidade diferentes, pq existe uma ‘força’ de atração e de repulsão entre o sol e os planetas que mantém as órbitas, mas a velocidade mantém os planetas em constante movimento.*”
- Tat 4. “*Porque a Lua está em órbita e por causa da gravidade.*”

5. *“Porque todos os planetas têm sua órbita e por causa da gravidade do Sol.”*

No entanto, em cada formulação associam-se a essa concepção diferentes elementos, alguns dos quais circularam nas discussões em sala: a velocidade do corpo, a gravidade, a ausência de atmosfera. Nessas associações entram elementos referidos à primeira parte da atividade, como a relação da velocidade (horizontal) do corpo com sua trajetória curva (parabólica ou orbital), a relação entre a gravidade e a trajetória curva (parabólica ou orbital). Não se pode dizer que a associação desses elementos elimina totalmente o sentido da órbita como lugar natural, como sendo “real”. Mas elas podem ser vistas como um indício de um movimento em direção a uma abstração, à “desrealização” da órbita. A órbita pode continuar a ter uma existência “real”, mas esta existência está relacionada a diversos fatores como a gravidade e a velocidade tangencial do corpo. Alguns estudantes parecem ter transferido as associações trajetória-gravidade e trajetória-velocidade produzidas no contexto das discussões mediadas pelas questões 2 e 3, no que tange ao movimento parabólico da bolinha lançada da mesa para os movimentos orbitais da Lua e dos planetas. Nesta “transferência”, os movimentos parabólicos de uma bolinha caindo e os movimentos orbitais dos planetas e da Lua passam a ser relacionados aos mesmos elementos.

Na resposta à questão 5 da aluna Bru, quando ela diz “atração do núcleo” podemos inferir uma imagem muito recorrente e bastante utilizada em aulas de ciência, de química e de física: a analogia entre o sistema solar e o átomo.

São visualizações, imagens, posições visuais, que estão implicadas nessas elaborações verbais. Imagens que também implicam em memórias.

As respostas do estudante Rog se formulam de maneira diferente. Este aluno associa o movimento parabólico/circular-orbital à velocidade dos corpos (“[A Lua não cai sobre a Terra] Por ter uma velocidade constante.”). E na resposta à questão 5 sobre o movimento orbital dos planetas, “O sol possui uma gravidade, com velocidade constante de cada planeta obtendo uma órbita.”, temos uma formulação em que a palavra órbita lembra um tracejado, algo que vai se esboçando (“obtendo um órbita”). Ela não está lá, é produzida na relação entre esses dois elementos, gravidade radial e velocidade tangencial. Na resposta à questão 6 (se é possível existir gravidade sem ar), a gravidade é um elemento implícito na

relação com a órbita. O espaço possui órbitas (e portanto, gravidade) mas não possui ar: “*Sim [é possível existir gravidade sem ar]. No espaço não existe ar, mas possui uma órbita. O sistema solar por exemplo.*” Esta resposta à questão 6 se formula a partir de elaborações produzidas na escritura das respostas anteriores.

Durante o primeiro contato dos estudantes com o texto de Feynman

Após a atividade analisada anteriormente, foi solicitado que estudantes lessem o texto de Feynman em casa e entregassem suas dúvidas e questões por escrito. Vou apontar agora aspectos das condições de produção da leitura deste texto pela análise dessas questões produzidas pelos estudantes¹¹.

A relação de estudantes com textos sempre envolve diferentes expectativas e interesses variados. As questões da aluna Adr, assim como um comentário que escreveu no fim do trabalho, possibilitam inferir algumas dessas expectativas. Elas indicam uma forte preocupação com cálculos e fórmulas, como já mencionei. Mesmo sendo uma aluna de 1ª série do ensino médio, esta foi provavelmente a física que viu na escola no ensino fundamental. Como já comentei, é considerada a melhor aluna da classe e está preocupada com o vestibular. Suas questões indicam o que ela espera, o que acha importante ser discutido a partir do texto, ao mesmo tempo que direcionam sua leitura para recortar determinados aspectos. Assim, das 11 questões que elaborou, seis implicam na memória de um discurso relacionado à prática de resolução de exercícios de física que envolvem algoritmos, cálculos, números, fórmulas:

[1] *Como calcular a força da gravidade com números dos corpos?*

[2] *O que significa dizer que um objeto responde a força acelerando em sua direção em uma magnitude que é inversamente proporcional à massa do objeto?*

[3] *Não entendi a explicação matemática da elipse.*

[4] *Não entendi a terceira lei de Kepler.*

[5] *Não entendi a explicação de que tudo cai a 4,87 metros e a figura 5-3 da página 147.*

¹¹ O quadro com todas as questões elaboradas pelos estudantes encontra-se nos Anexos.

[6] *A que, de fato, está relacionado o número 10^{42} .*

As questões [1] e [2] lembram facilmente enunciados comuns de exercícios de física em livros didáticos. Na questão [2] temos uma linguagem abstrata, generalizante (um objeto) e relacionada a um discurso matemático. Na questão [4], esta lei de Kepler é expressa por uma relação algébrica, assim como na questão [6], este número aparece no texto como resultado de uma razão matemática.

A expectativa de respostas exatas, definições precisas, sintéticas, preocupação com a metalinguagem, aparecem em questões formuladas por diferentes estudantes. Ale, por exemplo, faz *suas* as questões que o próprio professor havia proposto na atividade anterior: “*O que faz os planetas girarem?*”, “*O que faz a Lua girar em volta da Terra?*”.

Mas este movimento demonstra também que a leitura deste texto está contextualizada pela atividade anterior, tanto pelas próprias questões propostas pelo professor, quanto pelas discussões que envolveram aquela atividade.

Se naquela atividade observamos o peso da concretude, diria visual, em movimentos discursivos em que se produziram as respostas de alguns estudantes, a necessidade de visualizar, pensar, conceber situações e objetos concretos, e a correspondente dificuldade em abstrair, generalizar, relacionar fenômenos diferentes, a leitura deste texto trabalha em direção a esta abstração, intervindo na produção das questões pelos estudantes. No texto, encontramos uma linguagem que não trata de situações e objetos específicos; trata-se de uma linguagem genérica: “um objeto” (pode ser um planeta, a Lua, ou uma pedra, uma bolinha), generalizações construídas pela física e que incluem tanto situações e objetos “terrestres” quanto “celestes”. O texto participa de um movimento na linguagem utilizada pelos alunos.

Adr: “*O que significa dizer que um objeto responde a força acelerando em sua direção em uma magnitude que é inversamente proporcional à massa do objeto?*”

Bru: “*Porque o objeto responde a uma força acelerando em sua direção em uma magnitude que é inversamente proporcional à massa do objeto?*”

“*Porque o movimento desvia-se da linha que um corpo percorreria se não houvesse força?*”

Gab: “*Se um objeto ou corpo atrai o outro porque não estamos todos juntos? Os planetas, luas, etc.?*”

Vejamos as questões que se referem a fenômenos naturais. As questões elaboradas pelos estudantes dentro desta categoria foram:

- [1] Adr *De acordo com o princípio da inércia, como começou o movimento dos planetas?*
- [2] *Por que os planetas giram na órbita sendo que ela é abstrata?*
- [3] *Por que os satélites não batem na Terra?*
- [4] Ale *Porque um planeta gira com velocidade uniforme em volta do Sol?*
- [5] *O que faz os planetas girarem?*
- [6] *O que faz a Lua girar em volta da Terra?*
- [7] *Porque a atração sobre as estrelas? Porque elas se atraem?*
- [8] Bru *Porque o movimento desvia-se da linha que um corpo percorreria se não houvesse força?*
- [9] *Porque é muito raro a distância das estrelas se colidirem?*
- [10] Gab *Se um objeto ou corpo atrai o outro porque não estamos todos juntos? Os planetas, luas, etc.?*
- [11] *P (sic) as coisas ã grudam na terra?*
- [12] Mar *Porque as estrelas duplas se atraem?*
- [13] *Porque existem tão poucos planetas e tantas estrelas?*
- [14] *A terra e os outros planetas imitam a um giroscópio ao girarem sobre seu eixo quebrando a barreira da gravidade e girando de uma só rota?*

A questão [1] [*De acordo com o princípio da inércia, como começou o movimento dos planetas?*] revela um interessante movimento de elaboração desta aluna mediado pela leitura do texto. Um movimento que produz um sentido sobre o princípio da inércia. De fato, todo movimento “real”, conhecido, visto concretamente, começa e termina. O movimento real é um evento que tem duração, começo, meio e fim. A aluna teria lido no texto que o princípio da inércia diz que na ausência de *forças* externas um *corpo* qualquer permanecerá indefinidamente em seu estado de movimento, seja uniforme em linha reta ou em repouso. Para a aluna, a inércia se aplicaria ao movimento de um planeta porque este é um movimento que não pára, que continua indefinidamente. A inércia se aplicaria a apenas um dos

componentes desse movimento. A inércia designaria um determinado tipo de movimento “real”, aquele que não cessa, como é o caso dos movimentos orbitais dos planetas. Mas, ainda assim, como todo movimento real, este precisa de um início. Implicitamente há uma associação entre o tipo de corpo (planeta) e o movimento que ele executa, que lhe é próprio, um movimento orbital. Os planetas seriam corpos agrupados numa categoria de movimento: os que só têm começo e não têm fim.

O sentido do princípio da inércia na questão da aluna tem como implícito a concretude, a realidade (visual) dos objetos e seus movimentos. Numa outra formação discursiva, a do discurso da física, os sentidos se constroem a partir da pressuposição implícita de objetos e situações de movimento abstratos.

Do ponto de vista da física, trata-se de uma leitura equivocada do princípio da inércia. Embora o movimento orbital dos planetas não cesse, ele não se dá numa trajetória reta e, portanto, é preciso uma força para mantê-lo. Não para manter sua velocidade tangencial à trajetória, mas para “curvar” a trajetória de modo a formar, no caso, uma elipse.

Mas essa interpretação pode ser considerada um deslocamento em relação a uma concepção também implicada na “concretude” dos movimentos reais: a de que é preciso uma força para manter o movimento, caso que sugerem as questões [5] [*O que faz os planetas girarem?*] e [6] [*O que faz a Lua girar em volta da Terra?*], formuladas pelo aluno Ale.

Da leitura do princípio da inércia no texto, Adr se apropria de duas idéias: a da ausência de força para a continuidade de um movimento e a da eternidade do movimento, e as associa ao movimento dos planetas. Esse movimento discursivo seria difícil sem a imagem conhecida de planetas girando em *suas* órbitas ao redor do Sol.

A produção da questão [2] [*Por que os planetas giram na órbita sendo que ela é abstrata?*] desta mesma aluna, se dá na tensão produzida pelo texto sobre a “concretude” real do movimento. A órbita para esta aluna é algo concreto, real, e não uma abstração geométrica. Os planetas giram em órbita porque esta seria uma espécie de trilho que os mantêm nesse caminho. A questão desta aluna nasce de um confronto de duas formações discursivas implicadas em epistemologias diferentes, a do senso comum e a da física.

Confronto produzido na mediação do texto num contexto em que a aluna pensa com a linguagem cotidiana.

Apontei indícios, em suas respostas à atividade anterior, de que esta aluna compreendia a idéia de órbita como algo que tivesse existência concreta. A partir desta concepção, ela compreendia porque os planetas giram em torno do Sol e a Lua em torno da Terra. Sua questão agora, no entanto, na mediação do texto, requisita outra resposta, outra explicação. Ela parece ter percebido que sua explicação não estava correta, porque a órbita é abstrata. O fenômeno ficou inexplicado mas esta aluna aprendeu, implicitamente, algo muito importante dentro da física. Se desfez a realidade da órbita. Mais do que isso, esta aprendizagem está relacionada à construção de conhecimento através da física, ao processo, e não ao produto. A mecânica clássica, grosso modo, descreve e explica os movimentos dos corpos construindo trajetórias, no caso dos planetas, trajetórias elípticas. Koyré coloca bem esta questão:

“As curvas e figuras geométricas têm que ser vistas, e compreendidas, não como construções de outros elementos geométricos, não como cortadas no espaço pela intersecção de corpos e planos geométricos, nem como representando uma imagem espacial de relações estruturais expressas em si mesmas por fórmulas algébricas, mas como engendradas ou descritas pelo movimento de pontos e linhas no espaço.” (1968, p. 10-11)

E ainda:

“O movimento lidado com essas leis não é o movimento de corpos da nossa experiência; não os encontramos em nossas vidas diárias. É o movimento de corpos geométricos (arquimedianos) no espaço abstrato.” (idem, p. 10)

O texto, no caso desta aluna, participa discursivamente do estabelecimento de uma tensão entre uma memória e uma novidade; tensão entre uma realidade “real” e uma realidade abstrata construída pela física.

À medida em que os alunos iam formulando suas questões, iam trabalhando com informações destacadas do texto. Algumas questões parecem configurar novos fenômenos para os alunos, como é o caso da questão [7] [*Porque a atração sobre as estrelas? Porque elas se atraem?*] de Ale e da questão [12] [*Porque as estrelas duplas se atraem?*] de Mar.

Seria possível interpretar a formulação destas questões como uma extensão da idéia de gravidade, comumente presa e circunscrita à Terra e aos objetos que se movem próximos à sua superfície, para a interação entre duas estrelas. Os alunos não se perguntam porque a Terra atrai os objetos, isso é *natural!* Mas, nas estrelas, este fenômeno se revela misterioso e digno de indagação. No caso das questões [10] [*Se um objeto ou corpo atrai o outro porque não estamos todos juntos? Os planetas, luas, etc.?*] e [11] [*P (sic) as coisas ã grudam na terra?*], da aluna Gab, haveria uma outra extensão da idéia de gravidade, agora para todos os corpos, uma apropriação de uma idéia do texto.

Na questão de Gab podemos ver um trabalho a partir e com a linguagem generalizada e abstrata do texto (“um objeto ou corpo”), voltando para o concreto (“planetas, luas, etc.”), gerando um questionamento. Questionamento que, no entanto, possui um sentido implícito: a Terra como o centro das atrações generalizadas, o que se pode ver numa questão que a aluna parece ter anotado rapidamente durante a discussão¹² desse item: “*P[or que] as coisas ã [não] grudam na terra?*”. Uma concepção geocêntrica interessante. Não se trata de um geocentrismo espacial, mas gravitacional; uma extensão da idéia de gravidade inscrita numa formação discursiva que concebe a Terra como o centro gravitacional do universo.

Se não se pode dizer que o pensamento destes alunos seja correto do ponto de vista da física, também não se pode dizer que ele seja *puramente* cotidiano, senso comum. Mas sem um e sem outro, estas questões não se produziriam. São questões *dos* alunos, *para* o professor, mas que questionam, na verdade, sua própria forma de pensar. E são questões produzidas na mediação de um instrumento cultural que raramente intervém na elaboração de pensamento pelos estudantes em aulas de física: um bom texto escrito!

Das questões [5] (*O que faz os planetas girarem?*) e [6] (*O que faz a Lua girar em volta da Terra?*) podemos inferir outro aspecto de uma concepção de senso comum de movimento: a de que deve existir uma força para mantê-lo.

¹² Os alunos tinham suas questões à mão durante a aula de discussão do texto e esta aluna, em específico anotou “OK” ao lado de cada um de suas questões e escreveu esta última no final, tudo com caneta diferente.

A questão [13] [*Porque existem tão poucos planetas e tantas estrelas?*] extrapola o texto e, na verdade, revela uma conclusão do aluno, elaborada durante a leitura, sobre a estrutura do Universo. De fato, na astronomia atual, pressupõe-se que existam muitos planetas, já que o Sol é uma estrela bastante comum e o fenômeno de formação de planetas está provavelmente relacionado com a formação de estrelas como o Sol. A questão deste aluno ecoa pesquisas recentes sobre a formação e a busca de planetas fora do sistema solar. Note que esta questão implica num outro recorte do texto, orientada por outros interesses e constituída no espaço de outra memória, enquanto as questões que vinha analisando até aqui se relacionam com a atividade imediatamente anterior.

Na questão [14] (*A terra e os outros planetas imitam a um giroscópio ao girarem sobre seu eixo quebrando a barreira da gravidade e girando de um só rota?*) o aluno “abandona” todo o texto, mas não um dos problemas de que ele trata. Abandona para que possa construir sua *própria* explicação, usando uma analogia fundada numa imagem conhecida.

O texto de Feynman possui uma estrutura em que, a partir da extensão da gravidade terrestre à órbita da Lua, o autor produz uma versão do raciocínio estabelecido por Newton em seus Principia, vai descrevendo uma série de fenômenos que podem ser compreendidos pela lei da gravitação newtoniana. “O que mais conseguimos compreender quando compreendemos a gravidade? (p. 150); “O que mais pode-se fazer com a lei da gravidade?”. Nesta estrutura, a escala de fenômenos relacionados à gravitação newtoniana vai sendo ampliada:

“Essa descoberta mostra que as leis de Newton estão absolutamente certas no sistema solar; mas será que se estendem além das distâncias relativamente pequenas dos planetas mais próximos?” (Feynman, 1999, p. 153).

Assim, ele parte da relação Terra-objetos comuns (queda dos corpos), na escala da nossa visibilidade a olho nu, para a relação Terra-Lua, para o Sistema Solar, para a interação gravitacional entre estrelas duplas, num aglomerado estelar, numa galáxia, num aglomerado de galáxias. Há um encadeamento expresso em frases do tipo: “(...) as estrelas atraem-se

umas às outras tanto quanto os planetas?” (p. 153); “Avancemos agora ainda mais, examinando uma *galáxia inteira*, mostrada na Figura 5-9. A forma dessa galáxia indica uma tendência óbvia de sua matéria de se aglomerar.” (p. 155); “A gravidade parece existir em dimensões ainda maiores, como indica a Figura 5-10, que mostra várias coisas “pequenas” aglomeradas.” (p. 156); “Talvez a gravitação exista até a distâncias de dezenas de milhões de anos-luz; ao que sabemos até agora a gravidade parece estender-se para sempre inversamente ao quadrado da distância.” (p. 156).

Esta estrutura do texto é, de certa forma, uma continuação das discussões envolvidas na atividade anterior, mas, na sua compreensão, está implícita a compreensão das escalas astronômicas, o que, como já apontei no capítulo anterior, não pode ser visualizado pelas imagens dos objetos cósmicos como galáxias, aglomerados, etc.¹³ As aulas anteriores, a exibição das imagens em transparências, o trabalho com a escala astronômica tiveram como objetivos, entre outros, trabalhar esses implícitos no sentido de contribuir para as condições de produção da leitura dos estudantes.

Como já apontei, na produção das questões pelos estudantes podem-se perceber movimentos discursivos interessantes em relação a esta extensão da gravidade para outros fenômenos e objetos celestes e dimensões e escalas maiores.

No entanto, a partir da percepção da influência da atividade anterior na leitura dos estudantes, é possível sugerir que seria necessária outra atividade análoga que poderia contribuir para criar condições para a produção deste sentido de ampliação de escala para além do sistema solar.

O texto de Feynman num segundo momento de leitura

Os estudantes tiveram outro contato com o texto de Feynman num segundo momento de leitura em classe. Nesta situação, colocada como uma avaliação final, eles deveriam individualmente responder às seguintes questões:

1. Que relações você pode apontar entre as leis de Kepler e a lei da gravitação universal de Newton?

¹³ Aliás o texto traz, para cada caso, uma figura, no entanto, em preto e branco e de péssima qualidade gráfica. Dificilmente estas figuras podem ser, no mínimo admiradas, quanto mais associadas a seus objetos por quem não conhece astronomia.

2. *Se a Lua é atraída pela gravidade da Terra porque ela não cai sobre a sua superfície?*
3. *Tem que ser necessariamente um planeta, estrela, lua, etc, ou seja, um corpo celeste, para exercer gravidade sobre alguma coisa?*

Se quisessem, poderiam consultar seus cadernos e os textos trabalhados em aula. Observei que a maioria o fez. Isso, porém, só foi dito no momento da aula, sendo que alguns alunos tiveram que emprestar o texto de alunos das outras classes. Com esta atitude, eu pretendia, mais uma vez, deslocar o estudo do texto das práticas de repetição e memorização. Uma avaliação escrita é, antes de tudo, um momento de reflexão. Aqui uma reflexão que poderia ou não ser mediada direta ou indiretamente por uma (re)leitura, considerando que os alunos tiveram também oportunidade de reler os textos em casa ao se prepararem para esta aula.

A primeira questão requisita do aluno a busca por relações entre dois textos, o do PSSC sobre Kepler e Tycho Brahe e o do Feynman, sobre a lei da gravitação de Newton. Independentemente das respostas dos estudantes, ou seja, como eles estabelecem as relações, esta pergunta representa em si uma forma de representar o conhecimento científico, e de pensar a leitura, especificamente, a intertextualidade. Este segundo texto, é preciso lembrar, também faz referência aos trabalhos de Kepler e Tycho Brahe e, portanto, a seu modo, também estabelece uma relação entre esses trabalhos e as idéias desses cientistas. A segunda questão proposta é uma retomada de uma atividade realizada anteriormente, de modo que se pode retomar sentidos já analisados. Já a terceira questão procura desprender a noção de gravidade como algo exclusivo da Terra, em continuidade com as atividades anteriormente realizadas nesta seqüência de aulas do Bloco 2 da Unidade de Ensino.

As respostas indicam uma certa liberdade sentida pelos alunos para exporem suas próprias idéias, prática que vinha há meses sendo valorizada nas discussões em aula, nas atividades escritas, nas leituras.

Os textos provavelmente não deixaram de ser representados como portadores das idéias legítimas, “corretas”, aquelas que um professor, na imagem e expectativa dos alunos, esperaria encontrar (re)produzidas numa avaliação formal. Mas isso não impediu que os

estudantes expressassem suas próprias idéias: às vezes, paralelamente à idéia do texto, às vezes misturadas a frases ou idéias do texto, deslocando sentidos de ambos os lados.

Às expectativas comuns da resposta certa estar no texto e portanto o que se deve fazer numa prova é repeti-lo, ainda mais quando se tem o próprio texto à mão, somaram-se as expectativas criadas pelo ambiente de interações que foi sendo construído aula a aula, de que o professor “quer” e “aceita” as idéias “dos estudantes”.

Analisarei primeiramente a questão 2 (“*Se a Lua é atraída pela gravidade da Terra porque ela não cai sobre a sua superfície?*”). É nesta questão que as respostas de grande parte dos alunos se aproximam empiricamente de trechos do texto. É nesta questão também que pude observar indícios de deslocamentos em relação a sentidos inferidos anteriormente, e de movimentos de significação da noção de gravidade.

Algumas respostas a esta questão se referem aos mesmos trechos do texto em que é abordado o movimento orbital da Lua. Para compreender as respostas dos estudantes, reproduzo a seguir os trechos correspondentes do texto:

“Se um objeto na superfície da Terra cai 4,87 metros no primeiro segundo após liberado do repouso, que distância cai a lua no mesmo tempo? Poderíamos alegar que a lua não cai. Mas se nenhuma força agisse sobre a lua, ela se afastaria em linha reta; em vez disso, percorre um círculo, de modo que realmente *cai* em relação a onde estaria se nenhuma força atuasse. A partir do raio da órbita da lua (de cerca de 384 mil quilômetros) e do tempo para circundar a Terra (aproximadamente 29 dias), podemos calcular que distância a lua percorre em sua órbita em um segundo e, depois, quanto cai em um segundo.(...)” (p. 146)

“Essa idéia de que a lua “cai” é um tanto desconcertante porque, como você vê, ela não chega mais *perto*. A idéia é interessante o suficiente para merecer uma explicação adicional: a lua cai no sentido de que *se afasta da linha reta que percorreria se não houvesse forças*. Tomemos um exemplo na superfície da Terra. (...)”¹⁴ (p. 146-7)

¹⁴ Este trecho culmina com a figura 5-3, uma representação típica em textos de física de um experimento de análise do lançamento horizontal.

“(...) Como isso é possível? Ela continua caindo, mas a Terra, com sua curvatura, se afasta, fazendo com que a bala caia ‘em torno dela’. (...)” (p. 148)¹⁵

Vejam inicialmente a resposta de cada aluno a essa questão 2: “*Se a Lua é atraída pela gravidade da Terra porque ela não cai sobre a sua superfície?*”:

Adr

A lua não cai porque a gravidade é proporcional à distância e como a Lua está ‘longe’ ela é fraca. Outro motivo é que existem outras forças puxando no sentido contrário, o que a deixa ‘equilibrada’. A força provocada pela gravidade, faz somente com que a lua não siga uma reta e sim, dê voltas em torno do Sol [sic]. Além disso, pelo princípio da inércia que diz que se tudo seguiria uma reta mas com a força da gravidade, o planeta tende a ir para o lado, formando uma órbita, por isso não cai.

[fez um desenho com a Terra maior, a Lua, menor e três flechas curvas e curtas acompanhando um pouco a circunferência da Terra, entre esta e a Lua]

Esta aluna tenta incorporar em sua resposta coisas aprendidas, discutidas em sala de aula. Na verdade, ela não fornece apenas uma, mas várias explicações justapostas. Nota-se que o sentido da palavra *órbita*, nesta verbalização, é diferente do que pudemos inferir de verbalizações da mesma aluna em situações anteriores. Aqui, a órbita não é um “lugar natural”, mas uma trajetória, formada tanto pela ação da gravidade quanto pela inércia da componente horizontal da velocidade. Esta descrição do movimento da Lua se inscreve num nível de generalidade que inclui outros “tipos” de movimentos, em outras escalas, como o da bolinha caindo da mesa.

Mas esta explicação não parece ter convencido a aluna. Ela explicita outras explicações: a gravidade é pequena nessa distância, resposta em que, implicitamente está admitindo que a gravidade da Terra interfere no movimento da Lua; há outras forças equilibrando o movimento da Lua (segurando-a para ela não cair).

Ale

Porque mesmo a lua sofrendo uma atração gravitacional forte pela terra, ela também recebe atração de outros planetas ou outros corpos.

¹⁵ Todas as aspas e os itálicos destes trechos estão no original.

[fez um desenho mostrando a órbita da Lua em torno da Terra e com duas flechinas na Lua, uma tangencial (maior) e outra central (voltada para a Terra, e menor).

Aqui, outro deslocamento em relação ao sentido que pude ler em verbalizações anteriores. Assim como Adr, este aluno estende a gravidade da Terra até a Lua. É justamente por estabelecer esta relação que a queda da Lua não pode ser explicada pela própria gravidade, e o estudante tem que supor outras interferências no fenômeno. Mas nesta suposição também está um implícito que indica um outro aspecto da compreensão do conceito de gravidade pelo estudante. A gravidade atua também entre os planetas e a Lua, como no caso da resposta de Adr. Uma concepção que descentra a gravidade da Terra, sentido que havia apontado em atividades anteriores.

And

Nós podemos dizer que a lua não cai. Mas como podemos dizer isso? Porque a lua tem uma força. Se não fosse essa força que agisse sobre ela, ela se afastaria em linha reta. Que ao em vez, ela percorre um círculo, de modo que realmente cai em relação a onde permaneceria se nenhuma força atuasse. Resumindo, a lua não cai porque uma força age sobre ela.

Esta resposta é empiricamente bastante próxima do texto. No entanto, no trecho correspondente do texto, não aparece a palavra gravidade. Não se estabelece no texto uma relação semântica entre a “força” responsável pelo movimento orbital da Lua e a gravidade. O estabelecimento dessa relação é um aspecto fundamental da síntese newtoniana. Outros cientistas, contemporâneos de Newton, já sabiam da necessidade da existência de uma força central para produzir uma trajetória circular (Martins, 1989). Mas só Newton associou essa força com a gravidade. As respostas dos estudantes anteriores está correspondência entre força e gravidade se explicita. Na resposta deste aluno, não.

Bru

*Como todos nós aprendemos, tudo atrai tudo, ou seja, a lua é atraída pela gravidade da Terra, se existe essa atração a lua não tem como cair sobre a superfície da Terra, sabemos que, a Terra e a lua possuem uma rota, sempre continuam juntas, a Lua gira em torno da Terra, a Terra gira envolta do Sol, e todos os outros planetas também.
A atração que existe não faz com que a lua caia, mas que ela não se afaste da Terra, é lógico que cada planeta tem sua órbita e a terra puxando a lua,*

e os outros planetas passando perto da lua fazem que a lua e a terra continuem juntos, fazendo os dias e as noites e fazendo os 365 dias do ano.

Esta é uma outra versão da mesma resposta de And. No entanto, parece se sobrepor o sentido de *órbita* como “lugar natural”.

Die

A lua não cai sobre a terra porque ela é atraída pela gravidade, mas ao mesmo tempo ela está em movimento, então ela faz uma curva por causa da atuação das duas coisas (gravidade e movimento), estão atuando juntas. Num mesmo momento, então ela (lua) não cai sobre a Terra. O satélite Mir foi derrubado porque reduziram a velocidade dele colocando um foguete que o empurrou na direção contrária e reduziu sua velocidade fazendo com que houvesse uma curva mais fechada e o derrubando.

O texto deste aluno também se relaciona com o trecho correspondente do texto de Feynman, no entanto, a distância empírica é bem maior. Este texto também faz referência às discussões em aula. Na discussão desse texto, o professor utilizou-se do exemplo da queda da estação espacial Mir, fato amplamente noticiado pela mídia naqueles dias, havendo toda uma expectativa quanto ao perigo da operação. Há uma associação semântica entre Lua, satélite natural, e Mir, satélite artificial, estabelecida pelo discurso do professor em aula que parece ter ajudado o estudante a compreender o movimento orbital da Lua como resultado tanto da ação da gravidade na Terra, quanto de seu movimento inercial tangencial. É interessante notar que a imagem deste movimento de derrubada da Mir se aproxima da imagem da bolinha caindo na mesa, trata-se de uma trajetória aproximadamente parabólica.

Gab

Porque se nenhuma força agisse sobre a Lua ela se afastaria da Terra, percorrendo uma linha reta, mas ela percorre um círculo que atua assim: a Lua “cai” em relação onde nenhuma força atuasse assim [fez um pequeno desenho] a força atua sobre a lua, mas a gravidade da terra a “segura” fazendo com que ela sempre “caia”, mas não em cima da Terra, em volta dela, ela não cai pois a gravidade existente entre a Terra e a lua é maior do que a força com que a lua “anda”. A lua “cai” no sentido em que ela se afasta da linha reta que percorreria se não houvesse força ou gravidade, ela forma assim a sua órbita, sempre “caindo”.

O texto desta aluna também foi baseado no mesmo trecho do texto de Feynman. Note-se que ele incorpora inclusive as aspas colocadas na palavra “cai”, como faz o texto, mas

amplia esse movimento de interpretação para outras palavras: “segura”, “anda”. Este movimento discursivo procura distanciar o sentido comum dessas palavras do sentido que elas adquirem na interpretação física do fenômeno. *Cair* passa a ter outro sentido, do mesmo modo que *segurar*, *andar*: marca de uma heterogeneidade discursiva. Movimento discursivo do texto incorporado à produção de sentidos pela aluna. O texto de outros alunos não (re)produz esse distanciamento semântico produzido pelo texto de Feynman. Na resposta desta aluna também se produz uma associação entre “força” e “gravidade”.

Hec

A lua tem órbita, ela recebe uma força para ir reto, mas a terra atrai a lua não deixando ela ir reta.

A lua não cai sobre a superfície porque a terra não tem força suficiente para tirar a lua de sua órbita.

[fez desenho mostrando a órbita da lua com flechinhas saindo da Terra de vários pontos em torno dela. O Sol aparece ao lado.]

Assim como o estudante Bru, aqui a concepção de órbita como “lugar natural” é bastante forte (“A lua tem órbita ...”; ... “para tirar a lua de sua órbita”), embora seu texto reproduza informações do texto de Feynman. No trecho “*ela [a Lua] recebe uma força para ir reto, mas a terra atrai a lua não deixando ela ir reta*”, podemos ver indício de uma correlação que o aluno estabelece entre a situação da bolinha caindo da mesa (da atividade anterior) e o movimento da Lua.

Mar

Porque a lua também segue sua órbita. Se a Terra (e todo o resto) não exercesse uma força sobre ela, a mesma continuaria em linha reta, porém a Terra a puxa fazendo com que ela “caia” (no sentido em que se afasta da linha reta que percorreria sem a gravidade), e como a terra é redonda, ela percorre sua órbita ao redor dela sempre circular.

Ou seja, a força da gravidade faz com que ela faça a curva.

Aqui também há uma extensão da idéia de gravidade como ação entre todos os corpos do sistema solar, “Se a Terra (e todo o resto)...”. Há também a associação entre “força” e “gravidade”, quando o estudante copia o trecho do texto, inclusive as aspas, mas introduz a palavra gravidade no lugar de força: “*porém a Terra a puxa fazendo com que ela “caia” (no sentido em que se afasta da linha reta que percorreria sem a gravidade)*”. No entanto, no texto deste aluno, é difícil separar estes sentidos, e elementos do texto lido não parecem

apagar ou deslocar totalmente o sentido de órbita como “lugar natural”. A órbita parece pré-existir a todos os elementos que corresponderiam à sua causa, no sentido físico: “*Porque a lua também segue sua órbita*”, “*ela percorre sua órbita*”.

Rog

*A lua faz um movimento, cai no sentido de que se afasta da linha reta que percorreria se não houvesse forças (elipse). Todo o Universo tem gravidade. Todos os objetos tem o seu “movimento”, estão em órbitas.
Ex.: superfície da Terra [reproduz a figura do texto: lançamento horizontal]*

O texto deste aluno justapõe, com pouca conexão, elementos do texto lido e elementos discutidos em aula. Mas é bem mais explícito o sentido da órbita como lugar natural. Mas há outros indícios de movimentos discursivos interessantes. Ao descrever o movimento orbital da Lua, o autor considera a órbita como sendo circular (cf. p. 146), idéia que se reproduz na figura da página 149 do texto. Ao colocar entre parêntesis a palavra gravidade, o aluno parece estar associando esse raciocínio ligado à “queda” da Lua com as leis de Kepler, onde se enfatiza esta forma de órbita.

Tat

*Porque, além da Terra, outros objetos (satélites, estrelas, planetas) também atraem a Lua. E também porque, segundo o princípio de inércia de Galileu, tudo que está se movendo sem nada o tocando sempre continuará em linha reta e com a mesma velocidade. Assim, ao mesmo tempo que a Lua vai em linha reta, a Terra a atrai, então ela segue em sua órbita.
[faz desenho da Lua em órbita da Terra, com duas flechas saindo da Lua, uma grande na tangente da órbita e outra pequena em direção à Terra]*

Novamente, a justaposição de explicações diferentes, produzidas pela incorporação de elementos do texto e das discussões em aula. Percebe-se a incorporação da relação entre força e gravidade, assim como a idéia de gravidade como atuando entre diferentes corpos. Neste caso, a aluna inclui satélites e estrelas. Mas parece permanecer o sentido da órbita como lugar natural.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para onde os resultados desta pesquisa apontam, sugerem aprofundamentos e perspectivas? É o que procuro responder nestas considerações finais.

Privilegiando a mediação de textos escritos e imagens, analisei sentidos produzidos em aulas que compuseram uma temática abrangente em torno da gravitação newtoniana.

Envolvendo movimentos discursivos diversos, a leitura de textos aparece como espaço de significação, e não apenas instrumento de um processo que ocorre em outra instância, paralelamente. Na constituição deste espaço de significação que é a leitura, as análises permitem destacar a criação de situações que privilegiaram e valorizaram a relação dos estudantes com os textos, deslocando a significação e a memória de um espaço, o da física escolar, que, tradicionalmente, tem produzido uma identificação entre a voz do texto e a voz do professor (Silva, 1997; Silva e Almeida, 1998), dificultando ou impedindo a explicitação de sentidos produzidos nas relações dos estudantes com os textos.

A análise dos processos discursivos em torno da síntese newtoniana revelou que textos e imagens podem funcionar produzindo sentidos que compõem uma perspectiva ampla de formação cultural pela educação científica, incluindo a própria prática de leitura nesta formação. Os textos são importantes na escola porque faltam no cotidiano dos estudantes; as imagens, pelo motivo inverso, porque o constituem implacável, sutil e massivamente. Por isso textos e imagens, suas leituras, suas condições, fizeram parte do currículo que se configurou nas práticas que compuseram a unidade de ensino.

Como se pode sintetizar a produção dos sentidos cujas análises apontaram indícios de constituição? Tenho chamado a este conjunto de aulas de *unidade*, enquanto as análises parecem descrever uma grande dispersão. Que *unidade* pode ser configurada a partir desses sentidos?

Nas leituras dos textos de jornais e do texto do PSSC, apontei a produção de sentidos sobre alguns aspectos da produção do conhecimento científico e tecnológico num discurso

que possuía como referente o próprio conhecimento científico. Esses sentidos foram produzidos simultaneamente a um trabalho que incorporou temas da física dos séculos XX e XXI. Falou-se da ciência de hoje, cuja marca temporal presente ecoou uma ampla gama de informações e sentidos veiculados pelas mídias. Falou-se da ciência de ontem. E neste falar, também foi significada a ciência de hoje, contribuindo para o sentido de sua historicidade.

Por outro lado, a produção do conhecimento científico também foi significada, implicitamente, quando o objeto do discurso era o mundo natural, principalmente na leitura do texto de Feynman. Faço algumas retomadas para aprofundar essa questão.

Como coloca Orlandi (1996), “a vida é função da significação e dos gestos de interpretação cotidianos, ainda que não sentidos como tal” (p. 10).

A dispersão de sentidos observada a partir das análises pode ser interpretada como resultado de um contexto em que as diferentes histórias de vida, interesses, expectativas, memórias dos estudantes tiveram espaço para fazer funcionar *suas* interpretações, *suas* leituras. Contexto que parece ter ligado a sala de aula à cotidianidade, à vida dos estudantes; uma cotidianidade da qual a ciência e a tecnologia fazem parte.

Na perspectiva da AD, sentidos são produzidos em relação a outros sentidos, num processo envolvido na tensão paráfrase/polissemia. As interpretações, leituras, dos estudantes se constituíram tanto em relação a discursos inscritos em formações discursivas da física, quanto em relação a discursos inscritos em outras formações discursivas. Mais do que isso, puseram essas formações discursivas em contato.

A compreensão da especificidade dessa relação entre sentidos, e entre formações discursivas, aponta para a consideração das condições de produção do conhecimento científico como parte fundamental do conhecimento escolar.

Retomo Lopes (1999), onde encontro elementos para uma determinada compreensão desta relação, quando a autora diz que,

“(...) assim como não podemos conceber a cultura como um todo homogêneo e uniforme, não se pode compreender os diferentes saberes sociais como reflexos de uma mesma matriz epistêmica ou de uma mesma razão totalizante e totalitária.” (p. 104)

E continua,

“Neste sentido, o processo de constituição do conhecimento escolar ocorre no embate com os demais saberes sociais, ora afirmando um dado saber, ora negando-o; ora contribuindo para sua construção, ora se configurando como obstáculo a sua elaboração por parte dos alunos. Dentre os diferentes saberes sociais, o conhecimento científico e o conhecimento cotidiano se mostram como dois campos que diretamente se inter-relacionam com o conhecimento escolar nas ciências físicas, mas não sem contradições. Primeiro, porque o conhecimento escolar, por princípio, se propõe a construir/transmitir aos alunos o conhecimento científico e, ao mesmo tempo, é base da transmissão/construção do conhecimento cotidiano de uma sociedade. Segundo, diretamente associado à questão anterior, porque o conhecimento cotidiano e o conhecimento científico têm entre si uma nítida ruptura que, frequentemente, é mascarada pelo conhecimento escolar.” (p. 104)

Se é fundamental a participação do estudante no espaço discursivo escolar, é preciso considerar que o discurso dos estudantes se inscreve numa história e é constituído também “fora” da escola. Nesta instituição, este discurso é posto em contato com outro discurso, o científico. É uma determinada maneira de relacionar esses discursos que configura o espaço discursivo escolar e os conhecimentos que ali são produzidos.

No caso da gravitação e da mecânica newtonianas, este modo de significar o mundo natural constituiu-se, historicamente, como vimos, em oposição a outro discurso que separava o mundo celeste do mundo terrestre. Este discurso, no entanto, tratava-se de uma extraordinária e coerente teoria física e cosmológica, a filosofia aristotélica. E, como afirma Koyré, esta

“não é nem um prolongamento grosseiro e verbal do senso comum, nem uma fantasia infantil, mas sim uma teoria, isto é, uma doutrina que, partindo, bem entendido, dos dados do senso comum, os submete a uma elaboração sistemática extremamente coerente e severa.” (p. 21)

Ainda segundo Koyré, é a matematização (geometrização) do espaço e da matéria, o ponto fundamental desta ruptura, implicada nos trabalhos de diferentes cientistas, entre eles, Kepler, Descartes, Galileu e Newton. Sobre as idéias de Galileu, o autor diz:

“A forma geométrica é homogênea à matéria: eis porque é que as leis geométricas têm um valor real e dominam a física. Eis por que é que, tal como nos diz Galileu numa passagem justamente famosa de *O Ensaaiador*, é uma linguagem matemática que a natureza fala, uma linguagem cujas letras e cujas sílabas são triângulos, círculos e rectas. E é por isso que é nessa linguagem que há que a interrogar: a teoria matemática precede a experiência.

“Esta concepção implica, isso é evidente, uma concepção totalmente nova da matéria: já não será suporte do devir e da qualidade, mas sim, pelo contrário, suporte do ser inalterável e eterno. Poder-se-ia dizer que a matéria terrestre é de ora em diante promovida ao nível celeste. E assim vimos a ciência nova – física geométrica, geometria física – nascer nos céus para descer à terra e tornar a subir aos céus.” (p. 352-3)

Os resultados das análises apontam um movimento discursivo implicado na construção de um *outra* realidade, a realidade da física, diferente da realidade do senso comum. Construção, eu diria, discursiva, pois, “é no discurso que o homem produz a realidade com a qual ele está em relação” (Orlandi, 1996, p. 39).

“Do ponto de vista da significação não há uma relação direta do homem com o mundo, ou melhor, a relação do homem com o pensamento, com a linguagem e com o mundo não é direta assim como a relação entre linguagem e pensamento, e linguagem e mundo tem também suas mediações. Daí a necessidade da noção de discurso para pensar essas relações mediadas.” (Orlandi, 1996, p. 12)

Percebemos, a partir das análises, o peso da concretude dos objetos e situações da cotidianidade dos estudantes, incluindo objetos e situações no espaço cósmico.

“Com efeito, no mundo real – o mundo físico –, não há retas, nem planos, nem triângulos, nem esferas; os corpos do mundo natural não possuem as formas regulares da geometria.” (Koyré, 1986, p. 350-1)

Mas os resultados apontaram também para movimentos discursivos em direção a uma abstração física, produzidos na mediação do texto de Feynman quanto inserido num determinado conjunto de atividades precedentes.

O discurso da abstração da física na escola não luta contra uma *teoria*, ainda que fundada em dados do senso comum, mas contra imagens e experiências (corpóreas e visuais) que fundam o próprio senso comum.

Os discursos dos estudantes parecem ter sido guiados por ontologias assistemáticas, “imagens de natureza”, ou seja, “nossas concepções a respeito das entidades que constituem a natureza, suas propriedades e suas inter-relações” (Abrantes, 1998, p. 9)¹, que não estão organizadas num sistema filosófico coerente, mas ainda assim, imagens da natureza, a partir das quais eles significam o mundo, a realidade. Imagens formadas numa cotidianidade que também tem sua história e que é construída numa sociedade da qual a ciência e a tecnologia fazem parte.

Mas é o sentido do *outro* que é preciso destacar como efeito fundamental deste discurso escolar, caracterizando-o por uma heterogeneidade constitutiva peculiar: a que relaciona duas formações discursivas, e que produz reciprocamente a diferença de ambos os discursos, re-significando nossa relação com o senso comum como a única forma de conceber a realidade, e, simultaneamente, o conhecimento científico como extensão dessa forma única de concebê-la. O sentido implícito deste discurso escolar é o de que o real não é um todo único, e mais, que esta pluralidade, diversidade do real é produção humana, associada à produção social do mundo em que vivemos. O que está em jogo são ideologias diferentes, pois sem ideologia não há realidade.

Ao falar de movimentos discursivos do concreto (cotidiano) para o abstrato (científico e, em última instância, matemático, no caso da física), estou falando implicitamente das condições de produção do conhecimento científico.

Pudemos ver a relevância das imagens nesses movimentos. Boa parte das imagens do espaço cósmico a que estamos acostumados a assistir em filmes, na TV, a língua da realidade², implicam numa ampliação da escala da nossa realidade abarcando situações que incluem o espaço cósmico.³

¹ Sobre esta noção, o autor acrescenta: “Uma imagem de natureza possui um caráter difuso, incorpora de forma assistemática um grande número de idéias e intuições das quais não se tem muitas vezes consciência, ou não se consegue traçar as origens. Diferentes imagens podem superpor-se, havendo uma tolerância com respeito a inconsistências” (Abrantes, 1998, p. 12).

² Expressão utilizada por Almeida, Milton. A educação visual da memória: imagens agentes do cinema e da televisão. *Pro-posições*, 10, n. 2 (29), 1999, p. 9-25.

³ Note-se como as imagens do espaço cósmico do filme *2001: Uma odisséia no espaço* nos incomodam, parecem irrealis, quando são fisicamente “corretas”, enquanto da maioria dos outros filmes como *Asteróide*, *Armagedon*, fisicamente inconcebível, nos parecem mais reais.

A experiência visual dos estudantes, vivendo na “era espacial”, ampliou estes dados do senso comum para abarcar situações, objetos no espaço cósmico. O senso comum dos estudantes é diferente do senso comum de Aristóteles. Para Aristóteles, seria difícil pensar um objeto pesado (grave) flutuando. Para os estudantes, não, porque vivem numa cultura cuja experiência imediata é composta e mediada por outros elementos. Os discursos mediados por textos e imagens sobre o espaço cósmico trouxeram para a sala de aula esta experiência imediata contemporânea dos estudantes.

A importância de se levar em conta o fato de os estudantes de hoje viverem em contato com uma ampla variedade de imagens do espaço cósmico, ao se pensar o ensino da gravitação foi apontada por Noce et al. (1988).

“As crianças vêem a Lua no céu e talvez tenham observado seu movimento e suas fases. Ela está longe no espaço mas alguns homens chegaram lá usando naves espaciais e, através de verdadeiras ou fantásticas histórias, as crianças adquiriram o conhecimento de que na Lua não há ar para respirar e as coisas têm um peso menor. Durante as discussões em sala de aula (...) as crianças pareceram estar muito certas dessas noções, como se elas tivessem pessoalmente viajado para a Lua.” (p. 66)

“Desde que as crianças tenham visto imagens na televisão de astronautas flutuando em suas espaçonaves, elas generalizaram tal flutuação como sendo o estado natural para todos os mundos pelo espaço, incluindo a Lua. O mundo da Terra é especial e diferente: somente aqui existe ar e a queda é um movimento natural. Na Lua, num mundo espacial, as coisas não caem naturalmente mas flutuam.” (p. 66)

Os autores vão notar que os fatos “experimentais” conhecidos pelos alunos sobre a gravidade não se restringem aos presenciados na Terra.

“A maioria das crianças entretanto parecem pensar que a gravidade pertence à Terra. (...) Assim, parece que a Terra e a Lua (no sentido de ser um lugar diferente da Terra) são pensados como dois mundos que diferem quanto ao fenômeno da gravidade, mais ou menos do mesmo modo como era pensado pelas pessoas na antigüidade, antes da introdução de uma teoria física unificadora da gravitação por Newton.”

As situações cotidianas que compõem a base do senso comum dos estudantes fazem parte de uma história da qual a ciência e a tecnologia também participam, contribuindo para a construção do nosso mundo cultural, social.

No entanto, a ruptura com o conhecimento cotidiano implicada na constituição do conhecimento científico passa por uma abstração que requer a linguagem matemática. Nas análises apresentadas, apontei possibilidades de significação da matemática como parte da produção do conhecimento científico.

É preciso lembrar que esta unidade de ensino foi elaborada e desenvolvida no início do ano letivo, com classes de primeira série. Os resultados apresentados apontam para um movimento discursivo que poderia incorporar gradativamente a linguagem matemática na perspectiva de continuidade e aprofundamento dessa abstração.

Estas considerações, baseadas nos resultados que apresentei, se alinham à perspectiva da consideração da relação constitutiva entre linguagem e conhecimento. E é neste sentido que posso apontar como eixo central que dá unidade ao conjunto das aulas, do ponto de vista discursivo, o trabalho, explícito e implícito, sobre as condições de produção do conhecimento científico; trabalho no qual os saberes cotidianos dos estudantes assim como o espaço para que possam expressar esses saberes são imprescindíveis. Unidade, no entanto, inacabada, e por isso mesmo, acredito, rica em suas múltiplas e amplas possibilidades de aprofundamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, Paulo C. C. *Imagens de natureza, imagens de ciência*. Campinas, SP: Papirus, 1998. 248p.
- ABRANTES, Paulo C. C. Newton e a física francesa no século XIX. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 1, série 2, p. 5-31, 1989.
- ALEXANDER, Patricia A. e KULIKOWICH, Jonna M. Learning from physics texts: a synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, n. 9, p. 895-911, 1994.
- ALMEIDA, Maria José P. M. Linguagens comum e matemática em funcionamento no ensino da física. In: MOREIRA, Marco A. e OSTERMANN, Fernanda. *Atas do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Valinhos, 01 a 04 de setembro. Florianópolis: Clicdata Multimídia, 1999. CD-ROM.
- ALMEIDA, Maria José P. M. O texto escrito na educação em física: enfoque na divulgação científica. In: ALMEIDA, Maria José P.M. e SILVA, Henrique C. (Orgs.). *Linguagens, leituras e ensino da ciência*. Campinas, SP: Mercado de Letras: Associação de Leitura do Brasil, 1998. p. 53-68.
- ALMEIDA, Maria José P. M. A luz: enfoque no ensino médio e representações de estudantes. *Pro-posições*, 7, n. 1 (19), p. 34-40, 1996.
- ALMEIDA, Maria José P. M. e RICON, Alan E. Divulgação científica e texto literário: uma perspectiva cultural em aulas de física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 10, n.1, p. 713, 1993.
- ALMEIDA, Milton J. *Imagens e sons: a nova cultura oral*. São Paulo: Cortez, 1994. 110p. (Coleção questões da nossa época, v. 32).
- ALVERMANN, D. E. e HYND, C. R. Effects of prior knowledge activation modes and text structure on nonscience majors' comprehension of physics. *Journal of Educational Research*, 83, n. 2, p. 97-102, 1989.
- APPLE, Michael W. *Ideologia e currículo*. São Paulo: Brasiliense, 1982.
- ASSIS, André K. T. *Mecânica relacional*. Campinas, SP: Unicamp (CLE), 1998. 349p.
- AUTHIER-REVUZ, Jacqueline. A encenação da comunicação no discurso da divulgação científica. In: _____. *Palavras incertas: as não-coincidências do dizer*. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1998. p. 107-131.

- BACHELARD, Gaston. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 314p.
- BAR, Varda, ZINN, B. Similar frameworks of action-at-a-distance: early scientists' and pupils' ideas. *Science & Education*, 7, p. 471-491, 1998.
- BAR, Varda, ZINN, B. e RUBIN, E. Children's ideas about action at a distance. *International Journal of Science Education*, 19, n. 10, p. 1137-1157, 1997.
- BAR, Varda; SNEIDER, Cary e MARTIMBEAU, Nathalie Is there gravity in space?. *Science and Children*, 34, n.7, p. 38-43, 1997.
- BARNES, Douglas. *From communication to curriculum*. Penguin Books, 1976. 202p.
- BARRA, Eduardo S. O. Newton sobre movimento, espaço e tempo. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, 3 (½), p. 85-115, 1993.
- BERNUY, Alfonso A. C., MARTINS, Isabel e FREITAS, C. A. Tipo e funções de imagens em livros didáticos de ciências: uma análise preliminar. In: MOREIRA, Marco A. e OSTERMANN, Fernanda. *Atas do II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Valinhos, SP: Hotel Fonte Santa Tereza. Florianópolis: Clicdata Multimídia, 1999. CD-ROM.
- BORGES, Luiz C. Cosmologia, religião e discurso Guarani Mbyá. *Rua*, n. 6, p. 81-112, 2000.
- CANDELA, Antonia. A construção discursiva de contextos argumentativos no ensino de ciências. In: COLL, C. e EDWARDS, D. (Orgs.). *Ensino, aprendizagem e discurso em sala de aula: uma aproximação ao estudo do discurso educacional*. Porto Alegre, ArtMed., 1998. p. 143-169.
- CANIATO, Rodolpho. *Projeto Brasileiro para o Ensino da Física. Vol. 1 - O Céu*. Campinas, SP: Unicamp, 1974.
- CARVALHO, Anna Maria P. O uso do vídeo na tomada de dados: pesquisando o desenvolvimento do ensino em sala de aula. *Pro-Posições*, 7, n. 1 [19], p. 5-13, 1996.
- CARVALHO, Anna Maria P. e VANNUCCHI, Andréa I. History, philosophy and science teaching: some answers to "how?". *Science & Education*, 9, n. 5, p. 427-448, 2000.
- DAVALLON, Jean. A imagem, uma arte de memória? In: ACHARD, Pierre et al. *Papel da memória*. Campinas, SP: Pontes, 1999. p. 23-37.
- EINSTEIN, Albert e INFELD, Leopold. *A evolução da física*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 237p.
- EINSTEIN, Albert. *Como vejo o mundo*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

- FRAGO, Antonio Viñao. Historia de la educación e historia cultural: posibilidades, problemas y cuestiones. *Revista Brasileira de Educação*, n. 0, 1995
- FRANCO Júnior, Creso. Os livros e a gravidade: uma queda pouco didática. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, 70, n.165, p. 224-242, 1989.
- FRENCH, Steven A estrutura do argumento de Newton para a lei da gravitação universal. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 2, 1, n.1, p. 33-52, 1989.
- FREITAS, Cláudia A. Os espaços ocupados pelas imagens canônicas da biologia em sala de aula em seu processo de construção. In: *Cadernos de Resumos e Programação do III Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Atibaia, SP: Park Hotel Atibaia, 2001, p. 94.
- GALILEI, Galileu. *A mensagem das estrelas*. Rio de Janeiro: MAST: Salamandra, 1987. 72p. (*Sidereus Nuncius*, Veneza, 1610).
- GUSTONE, Richard F. e WHITE, Richard T. Understanding of gravity. *Science Education*, 65, n. 3, p. 291-299, 1981.
- GUZZETTI, Barbara J.; HYND, Cynthia R.; SKEELS, Stephanie A. e WILLIAMS, Wayne O. Improving physics texts: students speak out. *Journal of Reading*, 38, n.8, p. 656-663, 1995.
- GUZZETTI, Barbara J.; SNYDER, Tonja E. e GLASS, Gene V. Promoting conceptual change in science: can texts be used effectively? *Journal of Reading*, 35, n.8, p. 642-649, 1992.
- HARRISON, Edward. Newton and the infinite universe. *Physics Today*, 39, n. 2, p. 24-32, 1986.
- HORGAN, John. Universal truths. *Scientific American*, 263, n. 4, p. 74-83, 1990.
- HURD, Paul D. Scientific literacy: new minds for a changing world. *Science Education*, 82, n. 3, 1998, p. 407-416.
- INSTITUTO DE FÍSICA DE USP. *PEF: Projeto de Ensino de Física*. Rio de Janeiro: FENAME (MEC), 1974.
- IRWIN, A. R. Historical case studies: teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84, n. 1, p. 5-26, 2000.
- JENKINS, Edgar W. Making meaning. *Studies in Science Education*, 33, p. 117-120, 1999.
- JENKINS, Edgar W. Public understanding of science and science education for action. *Journal of Curriculum Studies*, 26, n.6, p. 601-611, 1994.

JONES, L. Talking about 'everyday' issues in the formal classroom setting: a framework for understanding the dynamics of interaction. *Journal of Curriculum Studies*, 29, n.5, p. 559-567, 1997.

KELLY, Greg J. e CRAWFORD, Teresa. An Ethnographic investigation of the discourse processes of school science. *Science Education*, 81, n.5, 1997.

KOCH, A. e ECKSTEIN, S. G. Skills needed for reading comprehension of physics texts and their relation to problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, n.6, p. 613-628, 1995.

KOCH, A. e ECKSTEIN, S. G. Improvement of reading comprehension of physics texts by students' question formulation. *International Journal of Science Education*, 13, n.4, p. 473-486, 1991.

KOESTLER, Arthur. *O Homem e o Universo: como a concepção de Universo se modificou através dos tempos*. 2ª ed. São Paulo: IBRASA, 1989. 426p.

KORPAN, C. A.; BISANZ, G. L.; BISANZ, J. e HENDERSON, J. M. Assessing literacy in science: evaluation of scientific news briefs. *Science Education*, 81, n.5, p. 515-532, 1997.

KOYRÉ, Alexandre. *Estudos galilaicos*. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1986. 426p.

KOYRÉ, Alexandre. The significance of the Newtonian synthesis. In: _____. *Newtonian Studies*. Chicago: The University of Chicago Press, 1968, p. 3-24.

KUHN, Thomas S. *A estrutura das revoluções científicas*. 3ª ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1995. 257p.

LOPES, Alice R. C. *Conhecimento escolar: ciência e cotidiano*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999. 236p.

MACHADO, Andréa H. *Aula de química: discurso e conhecimento*. Ijuí: Editora da UNIJUÍ, 1999. 200p. (Coleção Educação em Química).

MAINGUENEAU, Dominique. *Novas tendências em análise de discurso*. 3ª ed. Campinas, SP: Pontes: Editora da Unicamp, 1997. 198p.

MANGUEL, Alberto. *Lendo imagens: uma história de amor e de ódio*. São Paulo: Companhia das Letras, 2001. 358p.

MARTINS, R. A. Huygens e a gravitação newtoniana. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 2, 1, n.2, p. 151-184, 1989.

MATHEWS, M. R. Historia, filosofía y enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias*, 12, n. 2, p. 255-277, 1994.

- MILLAR, R. Designing a curriculum for public understanding of science. *Education in Science*, n. 166, p.810, 1996.
- MILLAR, R. e WYNNE, B. Public understanding of science: from contents to processes. *International Journal of Science Education*, 10, n. 4, p. 388-398, 1988.
- MOJE, Elizabeth B. 'I teach students, not subjects': Teacher-student relationships as contexts for secondary literacy. *Reading Research Quarterly*, 31, n. 2, p. 172-195, 1996.
- MORENO, Marcio Q. Principia Mathematica 300 anos. *Ciência Hoje*, 7, n. 41, p. 58-64, 1988.
- MOURÃO, Ronaldo R. F. *O livro de ouro do Universo*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2000. 510p.
- MOURÃO, Ronaldo R. F. *Astronáutica: do sonho à realidade: história da conquista espacial*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 686p.
- NOCE, G.; TOROSANTUCCI, G. e VICENTINI, M. The floating of objects on the moon: prediction from a theory or experimental facts? *International Journal of Science Education*, 10, n.1, p. 61-70, 1988.
- ORLANDI, Eni P. *Análise de discurso: princípios e procedimentos*. Campinas, SP: Pontes, 1999. 100p.
- ORLANDI, Eni P. Paráfrase e polissemia: a fluidez nos limites do simbólico. *Rua*, n. 4, p. 9-19, 1998.
- ORLANDI, Eni P. *Discurso e leitura*. 2ª ed. São Paulo: Cortez; Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1993. 118p.
- ORLANDI, Eni P. *A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso*. 2ª ed. ver. e aum. Campinas, SP: Pontes, 1987.
- PÊCHEUX, Michel. Papel da memória. In: ACHARD, Pierre et al. *Papel da memória*. Campinas, SP: Pontes, 1999. p. 49-57.
- PÊCHEUX, Michel. *Semântica e discurso: uma crítica à afirmação do óbvio*. 2ª ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1995. 317p.
- PÊCHEUX, Michel. Análise automática do discurso (AAD-69). In: GADET, F. e HAK, T. (Orgs.). *Por uma análise automática do discurso: uma introdução à obra de Michel Pêcheux*. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1990. p. 61-162.
- POSSENTI, Sírio. Notas sobre linguagem científica e linguagem comum. *Cadernos CEDES*, 41, p. 9-24, 1997.
- PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA (PEF) - São Paulo: Instituto de Física - USP, 1974.

PROJECTO FÍSICA. Vol. 2. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978. (tradução portuguesa de Rutherford, F. J., Holton, G. e Watson, F. G. *The Project Physics Course*, 1970)

PSSC. Physical Science Study Committee. *Física. Parte III*. Brasília: Editora da UNB, edição preliminar, 1966.

RICON, Alan E. e ALMEIDA, Maria José P. M. Ensino da física e leitura. *Leitura: Teoria e Prática*, 10, n.18, p. 716, 1991.

RODRÍGUEZ ZUCCOLILLO, Carolina M. *Língua, nação e nacionalismo: um estudo sobre o guarani no Paraguai*. Tese (Doutorado em Linguística). Campinas, SP: IEL- Unicamp, 2000.

ROBERTS, Douglas A. e ÖSTMAN, Leif. (eds.). *Problems of meanings in science curriculum*. New York e London: Teachers College Press, 1998.

RUBIN, Vera C. Dark matter in spiral galaxies. *Scientific American*, 248, n. 6, p. 88-101, 1983.

RUDOLPH, J. L. Reconsidering the 'nature of science as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 32, n. 3, p. 403-419, 2000.

SACKS, Oliver. Ver e não ver. In: _____. *Um antropólogo em Marte: sete histórias paradoxais*. São Paulo: Companhia das Letras, 1995, p. 123-164.

SALÉM, Sônia e KAWAMURA, Maria R. O texto de divulgação científica e o texto didático: conhecimentos diferentes? *Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*. Águas de Lindóia, SP, 1996, p. 588-598.

SICARD, Monique. Os paradoxos da imagem. *Rua*, n. 6, p. 25-36, 2000.

SILVA, Henrique C. *Como, quando e o que se lê em aulas de física no ensino médio: elementos para uma proposta de mudança*. 1997. 164f. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação - UNICAMP, Campinas, SP.

SILVA, Henrique C. e ALMEIDA, Maria José P. M. Condições de produção da leitura em aulas de física no ensino médio: um estudo de caso. In: ALMEIDA, Maria José P. M., SILVA, Henrique C. (Orgs.). *Linguagens, leituras e ensino da ciência*. Campinas, SP: Mercado de Letras: Associação de Leitura do Brasil, 1998. p. 131-162.

SNEIDER, Cary I. e OHADI, Mark M. Unraveling students' misconceptions about the Earth's shape and gravity. *Science Education*, 82, n. 2, 265-284, 1998.

SOLOMON, Joan. Meta-scientific criticisms, curriculum innovation and the propagation of scientific culture. *Journal of Curriculum Studies*, 31, n. 1, p. 1-15, 1999.

SOUZA, Tania C. C. A análise do não-verbal e os usos da imagem nos meios de comunicação. *Rua*, n. 7, março, p. 65-94, 2001.

TEODORO, Sandra R. e NARDI, Roberto. A história da ciência e as concepções alternativas de estudantes como subsídios para o planejamento de um curso sobre atração gravitacional. In: NARDI, Roberto (Org.). *Educação em Ciências: da pesquisa à prática docente*. São Paulo: Escrituras, 2001, p. 57-68.

TREAGUST, David F. e SMITH, Clifton L. Secondary students' understanding of gravity and the motion of planets. *School Science and Mathematics*, 89, n.5, p. 380-391, 1989.

VAN ZEE, E. H. e MINSTRELL, J. Reflective discourse: developing shared understandings in a physics classroom. *International Journal of Science Education*, 19, n.2, p. 209-228, 1997.

WELLINGTON, J. Newspaper science, school science: friends or enemies? *International Journal of Science Education*, 13, n.4, p. 363-372, 1991.

ZANETIC, João. Literatura e cultura científica. In: ALMEIDA, Maria José P.M. e SILVA, Henrique C. (Orgs.). *Linguagens, leituras e ensino da ciência*. Campinas, SP: Mercado de Letras: Associação de Leitura do Brasil, 1998. p. 11-36.

ZANETIC, João. Física e literatura: uma possível integração no ensino. *Cadernos CEDES*, 41, p. 46-61, 1997.

ZANETIC, João. *Gravitação - notas de aula-1ª parte*. São Paulo: USP-Instituto de Física, 1995.

REFERÊNCIAS DAS IMAGENS

1. Imagens que antecedem o capítulo 4

- | | | |
|-----|---------------------------------|--|
| I | Calendário
- Junho | Irmãos Limbourg - Les très riches Heures du Duc de Berry - Juin, iluminura em manuscrito, 1413-16, Chantilly, Musée Condé.
Web Gallery of Art : http://www.kfki.hu/~arthp/search.html
Três irmãos, Paul, Jean e Hermann, iluminadores de manuscritos nascidos em 1370-80 e mortos em 1416, provavelmente durante a peste. |
| II | Zodiaco | Irmãos Limbourg - Les très riches Heures du Duc de Berry - Le Zodiaque - folha 16 verso, iluminura em manuscrito, 1413-16, Chantilly, Musée Condé.
Site: http://sunsite.icm.edu.pl/cjackson/limbourg e também http://sunsite.org.uk/cgfa/limbourg/p-tfol16.htm |
| III | astronauta
em órbita | Michael Light (1999)
http://www.projectfullmoon.com
Fotógrafo americano que digitalizou, melhorou a qualidade e ampliou imagens do projeto Apollo da NASA, obtidas entre 1966 e 1972. |
| IV | relevo da
Lua | idem. |
| V | Rover
andando
sobre a Lua | idem. |
| VI | Terra vista
da Lua | NASA |

2. Imagens utilizadas em transparências na sala de aula ¹

- VII 1. Constelação de Orion (As Três Marias) - Magnificent Orion. Bill e Sally Fletcher. In: *Explore de Universe, 2000* (Astronomy), dezembro, 1999, p. 101.
- VIII 2. (abaixo) Relevo da Lua - Renaud Leduc, *Astronomy Now*, 13, n. 7, julho, 1999, p. 62.
- IX (acima) Relevo de Ganimedes (lua de Júpiter) - *Superinteressante*, 11, n. 1, janeiro, 1997, p. 9 (Crédito: Nasa). (Imagens construída por computador a partir de dados obtidos pela sonda Galileu ao passar por três satélites de Júpiter em 1996).
3. Saturno e seus anéis (acima à direita); detalhe de uma das luas de Júpiter (acima à esquerda); Urano em cor real e em falsas cores (abaixo) - todas obtidas pela Voyager.

¹ A numeração em arábico indica o número da transparência no ordem em que foram exibidas nas classes.

- X 4. (acima) Litoral paulista fotografado por um satélite - *Superinteressante*, 2, n. 5, maio, 1988, p. 55 (Foto obtida pelo satélite francês SPOT, lançado em 1986, a aproximadamente 832 km de altitude, captadas pelo INPE em Cuiabá);
- XI (abaixo) Antena do Rádio-Observatório de Arecibo, Porto Rico -
- XII 5. Telescópio Espacial Hubble em órbita da Terra - Nasa - Hubble Space Telescope and Earth Limb; 19/02/1997; <http://grin.hq.nasa.gov/IMAGES/SMALL/GPN-2000-001064.jpg>
Segunda missão de serviço do Ônibus Espacial (HST SM-02, STS082. - Johnson Space Center)
6. Espelho do Hubble; a mesma galáxia fotografada pelo Hubble com duas resoluções diferentes e uma concepção artística do telescópio; Galáxia M100: duas fotos com resoluções diferentes tiradas pelo Hubble - 31/12/1993; <http://ftp.seds.org/pub/images/hst/WFPCM100Comp2.jpg>
Obtidas durante a missão de serviço STS-61 do ônibus espacial.
- Mapa do céu em 3D, em Ultravioleta, obtida pelo telescópio espacial IUE, em falsa cor. *Superinteressante*, 10, n. 12, dezembro, 1996, p. 74 (Crédito: IUEDAC/NASA-GSFC)
- XIII 7. Dois astronautas num passeio pelo espaço, armando um equipamento fora de um ônibus espacial em órbita da Terra - Asimov, Isaac. *Foguetes, sondas e satélites*. São Paulo: Abril. s./d., p. 32. (Coleção Fronteiras do Universo, 4).
Ver também: NASA: Astronauts Jerry Ross e Sherwood Spring assemble ACCESS components 01/12/85; <http://images.jsc.nasa.gov/images/pao/STS61B/10062571.jpg>
Ônibus Espacial Atlantis lançado em 26/11/1985
outros endereços para maiores informações:
<http://science.ksc.nasa.gov/shuttle/missions/61-b/>
<http://images.jsc.nasa.gov/iams/html/pao/STS61B.htm>
8. Três galáxias: Andrômeda (acima) - Bill e Sally Fletcher; Centauro A (à direita) - David Malin; e NGC 3628 - David Malin. Sagan, Carl. *Pálido Ponto Azul*. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
9. Mapas feitos em computador mostrando as distâncias e as localizações da galáxias vizinhas à Via-Láctea. - *Superinteressante*, 9, n. 1, janeiro, 1995, p. 7 (Crédito: Dawidson França).
10. Simulação feita em computador mostrando a Via Láctea de perfil e a localização e a distância do sistema solar num dos braços - *Superinteressante*, 10, n. 1, janeiro, 1996, p. 52. (Crédito: Science Photo Library/Stock Photos).

3. Imagem que antecede o capítulo 5

- XIV Newton, Isaac. System of the world. Apud Rutherford, F. J.; Holton, G. e Watson, F. G. *The Project Physics Course*. Unit 1 - Concepts of motion. p. 98, 1970.

BIBLIOGRAFIA DA UNIDADE DE ENSINO

- ASSIS, André K. T. Newton e suas grandes obras: o Principia e o Óptica. In Almeida, M.J.P.M. e Silva, H.C. (orgs.) *Linguagens, leituras e ensino da ciência*. Campinas, SP: Mercado de Letras: Associação de Leitura do Brasil, 1998, p. 37-52.
- BAR, Varda; ZINN, Barbara; GOLDMUNTZ, R. e SNEIDER, C. Children's concepts about weight and free fall. *Science Education*, 78, n.2, p. 149-169, 1998.
- BAR, Varda e ZINN, Barbara. Children's ideas about action at a distance. *International Journal of Science Education*, 19, n.10, p. 1137-1157, 1997.
- BAR, Varda e ZINN, Barbara. Similar frameworks of action-at-a-distance: early scientists' and pupils' ideas. *Science & Education*, 7, p. 471-491, 1998.
- BAYER, Hans C. Von. A gravidade. In: _____. *Arco-íris, flocos de neve, quarks: a Física e o mundo que nos rodeia*. Rio de Janeiro: Campus, 1994, p. 17-33.
- BERG, Terrance e BROUWER, Wytze. Teacher awareness of student alternate conceptions about rotational motion and gravity. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (1), p. 318, 1991.
- BRECHT, Bertold. *Vida de Galileu*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1978 (Coleção Teatro de Bertod Brecht, vol. 5).
- CANALLE, João B. G. *Oficina de astronomia*. Rio de Janeiro: Instituto de Física, UFRJ (mimeo) (apostila do curso ministrado pelo autor no XIII SNEF - Brasília, DF: UnB, janeiro de 1999), s/d.
- CANALLE, João B. G. Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 11 (2), p. 141-144, 1994.
- CANIATO, Rodolpho. *O céu*. 2ª ed. São Paulo: Ática, 1993.
- CHENG, R. S. e TREFIL, J. S. Moving material into space without rockets. *The Physics Teacher*, 23 n. 3, p. 145-150, 1985.
- CHIBENI, Silvio S. A fundamentação empírica das leis dinâmicas de Newton. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21, n. 1, p. 1-13, 1999.
- COHEN, I. Bernard. *O nascimento de uma nova física: de Copérnico a Newton*. São Paulo: Edart-São Paulo, 1967. 203p.
- DAMINELE NETO, Augusto. Nascimento, vida e morte das estrelas. *Ciência Hoje*, 1, n. 2, p. 10-19, 1982.
- DIAMOND, Joshua B. Deflection of light by gravity: a physical approach. *The Physics Teacher*, 20, n.8, p. 543-545, 1982.
- ÉVORA, Fátima R. R. A origem do conceito de impetus. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, 5, n.12, p. 281-305, 1995.

- FERRONI, Marcelo. Astrônomos descobrem outro sistema solar. *Folha de São Paulo*, 1-16, 16 de abril, 1999.
- FEYNMAN, Richard et al. *The Feynman lectures on physics*. California: Addison-Wesley, 1963.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Descoberto planeta semelhante à Terra. Corpo celeste pode ter condições favoráveis para o surgimento de vida, segundo pesquisadores neozelandeses. 13 de janeiro, 1999.
- GALILI, Igal e KAPLAN, Dov. Students' operations with the weight concept. *Science Education*, 80, n.4, p. 457-487, 1996.
- GAMOW, George. *Gravidade*. Brasília, DF: Editora da UnB: IBECC, 1965.
- GHINS, Michel. O argumento de Newton em favor do espaço absoluto. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 9, p. 61-67, 1986.
- GIRON, Luís A. Apollo 13, a missão lunática. *Revista da Folha de São Paulo*. 20/08/1995.
- GLEISER, Marcelo. *Retalhos cósmicos*. Ensaios breves sobre o mundo da ciência e a ciência do mundo. São Paulo: Companhia das Letras, 1999.
- GLEISER, Marcelo. *A dança do universo: dos mitos de criação ao Big Bang*. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.
- GOMES, Laurentino e TEICH, Daniel H. Há alguém lá fora? A chance de vida em outras regiões do universo aumenta o fascínio da descoberta de novos planetas. *Veja*, p. 108-110, 21 de abril, 1999.
- GUERRA, Andréia et al. *Galileu e o nascimento da ciência moderna*. São Paulo: Atual, 1997.
- GUTH, Alan H. *O Universo inflacionário: um relato irresistível de uma das maiores idéias cosmológicas do Século*. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 293p.
- HAWKING, Stephen W. *Uma breve história do tempo: do Big Bang aos buracos negros*. 6ª ed. (trad. Maria Helena Torres). Rio de Janeiro: Rocco, 1988.
- LOPEZ, Afonso et alli. Una aproximación a las representaciones del alumnado sobre el universo. *Enseñanza de las ciencias*, 13, n.3, p. 327-335, 1995.
- MACKEOWN, P. K. Gravity is geometry. *The Physics Teacher*, 22, n. 9, p. 557-564, 1984.
- MALLMANN, A. J.; HOCK, J. L. e OGDEN, K. M. Surprising facts about gravitational forces. *The Physics Teacher*, 32, p. 492-495, 1994.
- MARTINS, Roberto A. Galileu e o princípio da relatividade. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 9, p. 69-86, 1986.
- MARTINS, Roberto A. Galileu e a rotação da Terra. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 11, n.3, p. 196-211, 1994.
- MOURÃO, Ronaldo R. F. *Astronáutica: do sonho à realidade: história da conquista espacial*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 686p.

- MOURÃO, Ronaldo R. F. *O livro de ouro do Universo*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2000. 510p.
- MOURÃO, Ronaldo R. F. O Universo cresceu. *Folha de São Paulo*, 29/06/1997.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration. *Microgravity: A teacher's guide with activities in Science, Mathematics, and Technology*. 1997. Disponível em: <<http://spacelink.nasa.gov>>. Acesso em 01 out. 2001.
- NUSSENZVEIG, H. Moisés. *Curso de física básica*. Vol. 1 (Mecânica). São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- PEDUZZI, Luiz O. Q. *As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica*. Tese (Doutorado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.
- PEDUZZI, Luiz O. Q. Física aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13, n.1, p. 48-63, 1996.
- RAMALHO, Cristina. Admirável mundo novo. Novos telescópios ajudam a decifrar a origem e os mistérios do universo. *Veja*, p. 78-81, 08 de agosto, 1998.
- RIVAL, Michel. *Os grandes experimentos científicos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997.
- SAGAN, Carl. *Contanto: romance*. São Paulo: Companhia das Letras, 1997. 416p.
- SAGAN, Carl. *Cosmos*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1992. 364p.
- SAGAN, Carl. *Pálido Ponto Azul: uma visão do futuro da humanidade no espaço*. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 491p.
- SAWICKI, Mikolaj. Is the moon falling upside down? *The Physics Teacher*, 35, p. 379-381, 1997.
- SJIMIZU, Heitor. Houston, temos um problema aqui!. *Superinteressante*, agosto, 1995.
- SPEYER, Edward. *Seis caminhos a partir de Newton: as grandes descobertas na física*. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- TRAUMANN, Thomas. Aventura sideral. Astronautas resgatam com as mãos satélite que viajava a 28.000 quilômetros por hora. *Veja*, p. 63, 03 de dezembro, 1997.
- VASCONCELOS, Júlio C. R. Um teorema de inércia e o conceito de velocidade dos *Discorsi* de Galileo. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Campinas, SP, série 3, 3, n. 1/2, p. 67-83, 1993.
- VENTUROLI, Thereza. A dama dos anéis. *Superinteressante*, março, 1998.
- VENTUROLI, Thereza. A um passo do infinito. A nave Voyager 1 está prestes a sair do Sistema Solar. Será o primeiro engenho humano a rumar para as estrelas.. *Superinteressante*, fev., p. 56-59, 1999.
- VEJA. Berço estelar: telescópio flagra o nascimento de sistema planetário numa estrela próxima da Terra. p. 65, 29 de abril de 1998.
- WHITELEY, Peter. What 'holds up' the moon? *The Physics Teacher*, 32, p. 348-349, 1994.

WILL, Clifford M. A invencível atração da gravidade. *Superinteressante*, 3 (7), jul., p. 26-32, 1989.

ZANETIC, João. *Gravitação - notas de aula-1ª parte*. São Paulo: USP Instituto de Física, 1995.

ZANETIC, João. Dos 'Principia' da mecânica aos 'Principia' de Newton. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5, número especial, p. 23-35, 1988.

Filmografia

Documentário da Folha de São Paulo sobre a Apollo 11 e o projeto Apollo da Nasa.

Apollo 13 (*Apollo 13*). direção de Ron Howard, EUA, 1995. (com Tom Hanks, Ed Harris).

Cosmos n. 3 - A harmonia das esferas. Carl Sagan, 1982.

ANEXOS

Anexo 1: A Unidade de Ensino na escola particular

Todas as classes possuíam aulas simples; 2 aulas por semana, concentradas na 4ª feira e na 6ª feira (1 aula em cada classe em cada dia). A partir de 20/02 houve mudança de horários e as aulas no 1º B e C passaram a ser duplas, apenas nas 6as feiras, o 1º A ficou com uma 1 nas 4as e 1 aula nas 6as feiras.

nº	data	atividade/recurso
1	26/01	levantamento coletivo de palavras sobre o Universo; discussão sobre algumas dessas palavras
2	31/01	exibição de imagens do espaço cósmico em transparências; entrega de 2 textos de jornais, notícias sobre pesquisas sobre o Big Bang e sobre Buraco Negro, para leitura em casa, requisitando dúvidas e questões por escrito
3	02/02	discussão do texto 1: a teoria do Big Bang
4	07/02	discussão do texto 2: Buraco negro
5	09/02	apresentação e discussão de escalas de distâncias e tamanhos para o Sol e os planetas do Sistema Solar
6	14/02	continuação da atividade anterior
7	16/02	1ª parte: 1ª avaliação 2ª parte: final da aula: explicação do sistema Sol-Terra-Lua usando maquete (gepCE)
8	21/02	uso de computadores (CD-ROM- PubliFolha- Espaço)
9	23/02	uso de computadores - visita ao site da Nasa sobre satélites artificiais em tempo real - requisição da construção de uma tabela com alguns dados de pelo menos 5 satélites artificiais
10	02/03	exibição do filme Apollo 13
11	07/03	discussão do filme
12	09/03	leitura em sala de texto Kepler e Tycho Brahe
13	14/03	leitura de texto Kepler e Tycho Brahe
14	16/03	discussão do texto e exposição do professor
15	21/03	continuação da aula anterior
16	23/03	atividade: A maçã e a Lua
17	28/03	atividade: A maçã e a Lua - continuação
18	30/03	atividade: A maçã e a Lua - continuação início da leitura em sala do texto do Feynman
19	04/04	discussão do texto do Feynman
20	06/04	avaliação final avaliação do curso pelos estudantes

Anexo 2: Principais textos trabalhados com os estudantes

1. Nogueira, Salvador. Mediação confirma previsões do Big Bang. *Folha de São Paulo*, Sessão Ciência, 24 de
2. _____. Grupo localiza buraco negro da Via-Láctea. *Folha de São Paulo*, Sessão Ciência, 21 de setembro de
3. *PSSC - Vol. III*, Capítulo 22: A gravitação universal e o sistema solar. Tópicos 22-4: Tycho Brahe e 22-5: I
4. Feynman, Richard. A teoria da gravitação. In: _____. *Física em seis lições*. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999, p.

Anexo 3: Questões elaboradas pelos estudantes na leituras dos textos de jornais sobre o Big Bang e sobre o Buraco Negro

Aluno	Questões elaboradas pelos estudantes
Adr	<p>Big Bang</p> <p>1) Como a temperatura prova a existência do Big Bang?</p> <p>2) Quarta-feira, daí 31/01/01, discutimos na aula de geografia sobre qual teoria (criacionista ou evolucionista), cada um de nós acreditávamos. Em qual você acredita? Por quê?</p> <p>Buraco Negro</p> <p>1) O buraco negro pode causar algum dano para a Via-Láctea?</p> <p>2) A única maneira de confirmar se é um buraco negro é esperando 17 anos até que a estrela SO-2 percorra sua órbita? Com toda essa tecnologia não existe uma forma mais rápida?</p>
Ale	<p>1) Que velocidade anda astros e galáxias?</p> <p>2) Como os satélites captam os raios-X emitidos pelos buracos negros?</p> <p>3) O que seria exatamente um buraco negro e se ele pode engolir um planeta?</p>
And	<p>1) O que é uma nebulosa?</p> <p>2) O que é radiação?</p> <p>3) Porque os astros são considerados fósseis do universo?</p> <p>4) O buraco negro pode ser perigoso?</p>
Bru	<p>Big Bang</p> <p>1) O que é radiação cósmica de fundo?</p> <p>2) Eles conseguiram calcular a temperatura da radiação analisando somente a excitação dos átomos?</p> <p>3) O que é teoria cosmológica?</p> <p>Buraco Negro</p> <p>1) O que são objetos em colapso gravitacional?</p> <p>2) O que é um buraco negro hiperdenso?</p>
Die	<p>1) O que é exatamente raio gama?</p> <p>2) O homem já conseguiu ver algum planeta em outra galáxia?</p> <p>3) Qual a maior distância que o homem já viu da terra?</p>
Gab	<p>Big Bang</p> <p>1) Em que as diferenças de temperatura influenciam para nós, que fazemos parte do Universo?</p> <p>2) Os cientistas teriam outras teorias além do Big Bang? Quais?</p> <p>3) O que falta para os cientistas concluírem a teoria do Big Bang?</p> <p>Buraco Negro</p> <p>1) O que acontecerá se houver na Via Láctea um buraco negro? Acontecerá alguma coisa ou diferença? Ajudará ou prejudicará?</p> <p>2) Como se faz para calcular a velocidade dos astros?</p>
Hec	<p>1) Os Buracos Negros emitem Raio X?</p> <p>2) A teoria do Big Bang é a mais provável?</p> <p>3) O teoria do Big Bang foi concluída?</p> <p>4) Como se mede a temperatura do Universo?</p> <p>5) Big Bang formou todo o Universo?</p>
Mar	<p>1) O que significa um objeto estar em colapso gravitacional?</p> <p>2) O que é um objeto hipotético?</p> <p>3) O que é radiação cósmica?</p> <p>4) O que significa a unidade de medida K?</p>
Rog	Não fez
Tat	<p>1) O que é uma radiação cósmica?</p> <p>2) O que significa a sigla K?</p>

Anexo 4: Respostas dos estudantes na avaliação no meio do curso

Aluno	1. Escreva uma síntese sobre o que você conheceu do Universo nestas aulas? (idéias, sentimentos, idéias que mudaram, o que é, como é...)	2. Que dúvidas e questões surgiram?
Adr	<p>Durante as aulas pude aprender as várias coisas existentes no universo, muitas delas eu já conhecia, outras não. O assunto que pude aprender mais detalhadamente foi sobre a teoria do Big Bang. Aprendi que no início o universo era um ponto no qual estava contido tudo o que hoje existe: as galáxias, os planetas, as estrelas... Até que em um certo momento esse ponto explodiu e originou as galáxias, os planetas, as estrelas. E os planetas estão em constante movimento, girando ao redor do Sol. E quanto mais longe maior a velocidade.</p> <p>Pude aprender também que os tamanhos dos planetas variam muito. E as estrelas, que parecem ser tão pequenas a olho nu, são imensas, só nos parecem pequenas por causa da distância. Achei bastante interessante a escala que o professor fez dos planetas para podermos entender melhor.</p> <p>Através dos textos trazidos por ele pude aprender sobre o buraco negro (já havia ouvido falar mas não sabia o que era) e sobre várias pesquisas realizadas no espaço.</p> <p>Desde a quinta série já havíamos aprendido sobre o sistema solar, o movimento de rotação e translação, mas agora pude entender mais detalhadamente. Inclusive, já apresentamos trabalhos sobre esse tema, mas de uma forma muito superficial.</p>	<p>Uma coisa que eu fiquei em dúvida, foi quando você falou sobre a formação das estrelas. No começo eu entendi, mas depois comecei a anotar e acabei não entendendo.</p> <p>Outra coisa que não entendi muito bem foram as contas da transformação da distância real para a sua escala (dos planetas). Mas você disse que iria passar exercícios depois.</p>
Ale	<p>Eu aprendi sobre a criação do universo pela teoria de Big bang, sobre o surgimento de galáxias e porque elas ficam tão longes umas das outras, também o porque o universo é tão frio. Também revi, o que já tinha visto em anos anteriores, sobre estrelas, planetas, mas esse ano acho que as coisas ficaram mais concretas. Devido ao passar dos anos com uma aprendizagem melhor e mais evoluída. Recebi até alguns conhecimentos de como funcionam os satélites e qual a mensagem podem transmitir e qual dos mais importantes satélites há no espaço. E juntando todas essas informações posso formar um bom conceito de o que é espaço, como surgiu e como vai ficar daqui a alguns anos.</p>	<p>O que são meteoros? Como vagam no espaço? A que velocidade?</p> <p>O buraco negro engole as coisas de verdade? Para onde as leva?</p> <p>Existe vida fora da Terra em outro lugar do espaço?</p>

And	Conheci coisas que não sabia. No começo não tinha tanto interesse em saber sobre o Universo, como se originou, quais são os satélites, o que compõe um sistema solar. Suas aulas são diferentes! É uma aula legal, que desperta interesse, vontade de saber mais e mais. E foi esse sentimento que senti ao participar de suas aulas. Conheci também os gases, que o Universo é considerado imaginário, sobre curiosidades dos planetas, sobre galáxias.	Gostaria de ler mais sobre as galáxias, constelações, estrelas e também, mais curiosidades sobre o Universo.
Bru	Para mim, as aulas sobre o universo foram muito boas, aprendi as diferenças entre as estrelas, suas cores, as constelações, como é a rota dos planetas ao redor do sol, suas distâncias, sua velocidade, as curiosidades do Big bang, nomes de satélites, uma provável explicação do surgimento do universo, algumas questões que foram discutidas, em relação à quantidade de satélites que os planetas têm, que no caso de saturno são muitos, 15 se não me engano, aprendi sobre o buraco negro, sobre as distâncias que os planetas, as galáxias possuem umas das outras, aprendi que existem estrelas maiores que o sol, estrelas mais quentes que ele, os gases que os planetas possuem, a forma parecida com um ovo de galinha, que é de uma galáxia, aprendi que existe um núcleo no meio de tudo, vi temperaturas diferentes, conhecemos algumas formas de calcular distâncias, etc.	As dúvidas não foram muitas, mas fiquei muito interessado porque Vênus é tão parecido com a Terra, pois pela nossa tabela, pudemos observar, outra dúvidas é se existe a possibilidade de o buraco negro engolir toda uma galáxia, e se possível o que vem depois.
Die	Eu conheço que o universo surgiu de um ponto e explodiu, depois de muito tempo foi que a Terra teria condições de ser habitada. Eu lembro também de que o universo pode futuramente parar de se expandir e voltar a ser o que era, assim, como também pode continuar se expandindo para sempre, e o sol é uma estrela média.	Por que o buraco negro só suga de um lado e não dos dois?

Gab	<p>O universo é um infinito espaço em que nele existem várias galáxias, gases, estrelas, constelações, planetas, átomos, neutrons, elétrons, sistemas ... muitas coisas. Nós vivemos dentro de uma galáxia e em um sistema, o sistema solar que é muito interessante e todos nós conhecemos. O universo é cheio de curiosidades, existem milhares de coisas nele que podem ser estudadas e investigadas para que nós possamos conhecer o infinito que são do céu e do universo, sempre quis aprender, tenho um telescópio e sempre que o professor fala sobre planetas, estrelas, galáxias... fico com vontade de olhar para o céu, pois ele é muito interessante. Tenho um livro só de estrelas, que fala tudo sobre elas. Acho muito interessante a aula do prof. porque aprendo coisas que eu não sabia e amplio meus conhecimentos do local infinito em que vivemos, é muito bom conhecer tudo à nossa volta. As explicações, atraem muito os alunos e faz com que tenhamos mais interesse nas aulas, pois a maneira de explicar é fantástica como o universo. Eu sou apaixonada pelo universo, amo ouvir falar sobre ele, aprendo cada dia mais um pouco, como ele surgiu e como ele foi evoluindo, até se tornar o que é hoje. Adorei a explicação da bexiga, muito interessante. Também a do surgimento dos planetas (teoria do Big Bang) e de como as estrelas morrem. Conhecer onde vivemos é muito bom e importante, para mim é essencial.</p>	<p>Ao decorrer das aulas surgiram muitas dúvidas sobre tudo o que o professor falava, sempre eu anotava, mas ao decorrer das aulas ele explicava. Seria bom se fossemos cientistas e físicos para entendermos melhor, porque algumas coisas são inexplicáveis. Mas conseguimos entender.</p>
Hec	<p>O Universo surgiu com a explosão do Big bang, que com um ponto no meio do Universo que foi crescendo até uma explosão que foi o início dos prótons, elétrons, os planetas, as estrelas, as galáxias. Existem várias teorias que comprovem o universo mas a mais provável é do Big Bang porque comprova os fatos mais conhecidos da cosmologia. As estrelas são diferentes porque a distância entre elas são grande, existe várias estrelas uma grandes umas pequenas, umas vermelhas outras brancas, etc. As estrelas de neutrons que tem 2 massa maior que o sol vai virar um buraco negro porque a forma da gravidade é grande.</p> <p>Tem teoria que diz se você pode ver o outro lado do Universo por dentro do buraco negro e se você passar dentro do buraco negro você irá para outro universo.</p>	<p>É verdade que se você passar dentro de um buraco negro você irá para outro universo?</p>

Mar	<p>Eu aprimorei o pouco que sabia sobre a teoria da origem do universo o Big Bang.</p> <p>O Big bang é a seguinte afirmação: o universo um dia foi um ponto no meio do nada, muito denso e quente. Um dia, não se sabe porque, este ponto explodiu e foi se expandindo, e se resfriando conforme o tamanho que ele ficava, assim nasceu o universo.</p> <p>Fiquei sabendo também sobre o nascimento das estrelas.</p> <p>No universo há muito gás, e as moléculas destes gases vão se atraindo, gerando uma pressão, a temperatura vai se elevando e o hidrogênio acaba se fundindo tornando-se hélio, formando as estrelas. Os gases que ficam em volta desta estrela vão formando ao longo do tempo planetas, mas nem sempre isto acontece.</p> <p>[fez um desenho]</p> <p>Quando a estrela morre ela pode se tornar 3 coisas dependendo de sua massa: anã branca = massa equivalente à da Terra; Estrela de neutrons = massa equivalente à do Sol; Buraco negro = massa equivalente ao dobro do Sol.</p> <p>A estrela morre da seguinte forma: a gravidade a força pra dentro e o H2 pra fora, quando ele acaba a estrela murcha, fazendo com que o hélio restante se condense expandindo-se formando uma Gigante Vermelha. murchando novamente formando um certo tipo de estrela morta.</p> <p>Deu pra notar também como o universo é enorme, e as coisas estão muito longe umas das outras.</p>	<p>O que é um buraco negro?</p> <p>Sobre dados dos planetas.</p> <p>Dados sobre o sol que é uma estrela média e se um dia ela poderá morrer.</p>
Rog	<p>Sempre tive vontade de conhecer mais sobre o Universo, essa aulas foram muito importantes e me chamaram muito atenção, pois as dúvidas na maioria são inexplicáveis, coisas que o homem ainda não descobriu, como por exemplo, se existe vida em outras planetas, onde é o fim de um buraco negro.</p> <p>Já outras dúvidas mais fácil tive oportunidade de estar vendo, como por exemplo que o sol é uma estrela e alguns milhões de anos ela perderá o seu brilho, vi o que é uma galáxia, vi que a nossa galáxia, a via láctea é formada , o seu formato, percebi também o sistema solar, descobri várias distâncias, as características gerais dos planetas como o período de rotação, sua órbita e outros mais, sobre diferenciar um cometa de um meteoro, e pretendo aprender cada vez mais pois é um assunto muito importante que me desperta muita curiosidade.</p>	<p>Tive muitas dúvidas, a maioria ainda inexplicável pois o homem ainda não possui acesso a ela, mais uma dúvidas de todas devem ter é como surgiu o espaço.</p> <p>Uma curiosidade que me desperta muito é o buraco negro.</p>

Tat	<p>Nas aulas aprendi algumas coisas novas, como por exemplo que o Universo no começo era como uma bolinha que explodiu, foi se expandindo e sua temperatura diminuindo, e como essa explosão gerou tudo o que nele existe, estrelas, planetas, gases... Aprendi também algumas características dos planetas, que hoje a expansão é pequena pois cada coisa no universo atrai a outra. A estrela é formada por gases e a mais perto do Sol é a alfa centauro. E algumas coisas mais que não sei como escrever.</p>	<p>Minhas dúvidas são: como as estrelas nascem e as outras o professor já esclareceu.</p>
-----	---	---

Anexo 5: Questões levantadas pelos estudantes após assistirem ao filme Apollo 13.

aluno	questões levantadas
Adr	<p>Você disse que no Apollo 13, os E.U.A., já haviam chegado na Lua. Porque eles tentaram fazer a mesma coisa, em vez de tentar chegar em outro planeta, por exemplo? Por que o Apollo 13 ia se dividindo em partes quando estava no espaço? Quando uma nave espacial explode no espaço, onde caem as suas partes? Durante o filme, eles falaram em “12 G”, o que significa essa expressão? Você disse que o projeto Apollo teve 17 partes. O que fizeram as outras Apolos depois da 13? A falha que ocorreu no Apollo 13, foi culpa de algum ser humano? Quem foi o culpado?</p>
And	<p>De que material era feito a nave espacial? Gostaria de saber quem deu a idéia de inventar uma nave espacial? Os astronautas nunca chegaram ir para outras galáxias ou eles já foram? A maior estrela é o Sol? Quantos foram os astronautas que pisaram na Lua? E quantos animais? Seria possível vida em Marte, digo, vida humana?</p>
Bru	<p>Por que ocorreu a falha? Eles disseram que não teriam problemas com a porta, mas aconteceu um problema com a parede externa, porque? O problema foi por causa da agitação, que foi feita para os tubos de oxigênio? O que significa a palavra 12G? Opinião: Na minha opinião o filme é muito interessante pois mostra uma evolução nos estudos sobre outros lugares como a Lua. Para mim lamento não ter terminado de assistir o filme, mas acho que a partir dele teremos várias coisas para discutir.</p>
Mar	<p>Qual é a força que faz a Terra girar? Como os cientistas conseguem colocar um objeto na órbita terrestre? Por que quando o foguete está no espaço, ele se despedaça, ficando apenas uma cabine? Por que o módulo lunar tem que ser encaixado à nave no espaço e não aqui no chão? Qual a velocidade média de um foguete? A Lua tem atmosfera?</p>
Tat	<p>De quem veio a idéia de construir um ônibus espacial? Porque essa pessoa teve tal idéia? Os astronautas precisam de uma roupa que os mantém em uma temperatura adequada. Do que era feitas tais trajes? O que aconteceria se um astronauta não usasse um desses trajes?</p>

Anexo 6: Questões levantadas pelos estudantes na leitura do texto do PSSC sobre Tycho Brahe e Kepler

	questões levantadas pelos estudantes
Adr .	<ol style="list-style-type: none"> 1. O que são sextantes? 2. Como Kepler explicou porque havia seis planetas no sistema solar? 3. Como conseguiu descobrir o sétimo planeta? 4. Os dados de Tycho estavam realmente corretos? 5. Não entendi o cálculo do flagrante. 6. Não entendi a figura 22.8.
Ale.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Na Idade Média, quando a Igreja dominava as idéias, aquelas que não eram aceitas eram jogadas fora ou guardadas? 2. No sistema geocêntrico de Tycho Brahe o Sol pode se chocar com Marte? Se sim, porque o aceitavam? 3. O que levou Kepler a distinguir formas de planetas? 4. O que levava os astrônomos a contrariar as idéias da Igreja? 5. Como eles ganhavam a vida, sobreviviam (só com suas descobertas) e quem os financiava?
And .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quais fora as outras relações que Kepler descobriu? 2. O que é órbita elíptica? ... Como eles usavam matemática, hein!
Bru.	<ol style="list-style-type: none"> 1. O que significa posições de um milhar de estrelas? 2. O que são os cinco sólidos geométricos regulares? 3. Porque verificou-se que cada planeta move-se numa órbita elíptica estando o Sol num dos focos? 4. Porque no último desenho sobre as órbitas Marte e a Terra estão indicados em um mesmo círculo? 5. Eu gostaria que fosse explicado a terceira lei pois não entendi a razão $R^3/T^2 = k$.
Die.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qual é o cálculo utilizado por Tycho Brahe para ter resultados tão precisos? 2. Qual é a terceira lei de Kepler? 3. Qual a fórmula utilizada para chegar na segunda lei de Kepler? 4. Como ele chegou nas formas geométricas dos planetas?
Gab .	<ol style="list-style-type: none"> 1. O que significa 1/60 de grau e 8/60 de grau? 2. Na tabela 2-O sistema solar, não se sabe o raio médio do Sol e o período de revolução? Não se consegue fazer cálculos? 3. Kepler achava que as órbitas planetárias baseavam-se em sólidos regulares como seria? 4. A lei III de Kepler não consegui entender.
Hec .	<ol style="list-style-type: none"> 1. O que é R^3/T^2? Se R é o raio o que é o 3? 2. Na figura 22-7(b) como ele conseguiu observar o Universo com esse aparelho? 3. Na figura 22-8 como ele chegou nas formas geométricas dos planetas? 4. Porque Tycho Brahe não aceitou o sistema copernicano?
Mar .	<ol style="list-style-type: none"> 1. O que significa $R^3/T^2 = k$? 2. Como se chama o instrumento formado por um par de varetas articuladas? 3. O que é um sextante? 4. O que a 3a lei de Kepler significa?
Rog .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tycho Brahe: geocêntrico ou Copérnico, qual teve mais influência nas descobertas de hoje? 2. Como era a vida de Tycho, o que o povo achava de suas experiências? 3. Tycho foi muito importante para as descobertas de hoje, e porque não é tão falado? 4. Kepler: Se ele era tão fascinado por matemática, o que levou ele [...] da filosofia? 5. Se o livro era tão importante porque motivo a Igreja o proibia?
Tat.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se, de acordo com Tycho, o Sol gira ao redor da Terra e os outros planetas ao redor do Sol, os planetas também giram ao redor da Terra? 2. O que é um sextante? 3. Em que consistia essa ligação entre seis órbitas e os cinco sólidos geométricos? Como ele chegou a essa ligação? 4. Como assim uma linha tirada do Sol ao planeta descreve áreas iguais em tempos iguais? 5. O que é constância da razão?

Anexo 7: Atividade “A maçã e a Lua” (antes da leitura dos textos de Feynman ou de Gamow)

[Frente da folha]

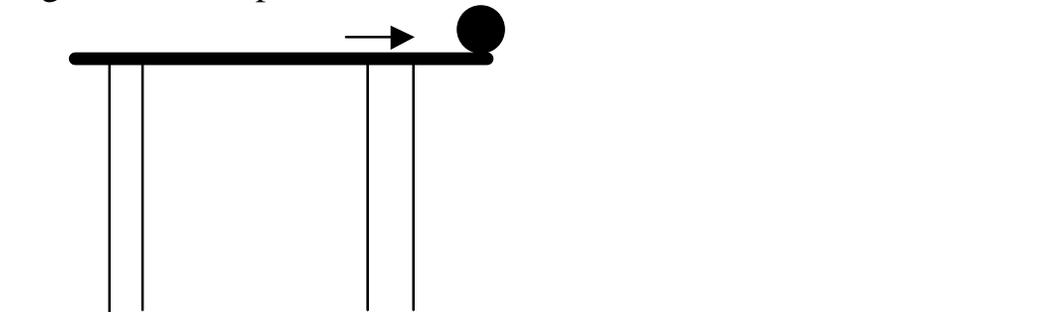
Nome da escola

Física - 1^{as} séries

Nome: _____ n: _____ 1^a _____ data: ____ / ____ / ____

Vamos pensar e discutir **juntos** as questões abaixo, procurando compreender a queda dos objetos.

A figura abaixo representa uma mesa e uma bolinha.



1. Faça 2 desenhos que representem a trajetória da bolinha quando empurrada para fora da mesa com 2 velocidades diferentes, primeiro devagar, depois mais rápido.
2. O que aconteceria com a trajetória da bolinha se você pudesse empurrá-la cada vez mais rápido? Explique. Faça desenhos.
3. Se continuássemos aumentando a velocidade da bolinha seria possível ela sair da Terra? Por quê?
Seria possível ela dar uma volta na Terra? Por quê? (faça desenhos se achar necessário)

[Verso da folha]

Para pensar sozinho...

4. Por que a Lua não cai sobre a Terra como os outros objetos? E o que a mantém girando em volta da Terra?
5. Como você poderia explicar o fato dos planetas girarem em torno do Sol? Como a Terra e os planetas conseguem ficar girando em torno do Sol infinitamente, sem parar?
6. É possível existir gravidade sem ar? Explique como você chegou a essa conclusão e dê exemplos.
7. Até onde vai a gravidade da Terra? Como você chegou a essa conclusão?

Anexo 8: Questões elaboradas na leitura do texto de Feynman

	Questões elaboradas
Adr	<ol style="list-style-type: none"> 1. Como calcular a força da gravidade com números dos corpos? 2. O que significa dizer que um objeto responde a força acelerando em sua direção em uma magnitude que é inversamente proporcional à massa do objeto? 3. Não entendi a explicação matemática da elipse. 4. Não entendi a terceira lei de Kepler. 5. De acordo com o princípio da inércia, como começou o movimento dos planetas? 6. Não entendi a explicação de que tudo cai a 4,87 metros e a figura 5-3 da página 147. 7. Não entendi as figuras 5-6 e 5-7. 8. Não entendi a explicação do que realmente é a gravidade. 9. A que, de fato, está relacionado o número 10^{42}. 10. Por que os planetas giram na órbita sendo que ela é abstrata? 11. Por que os satélites não batem na Terra? <p>Comentários: Na minha opinião, o texto é muito complicado, me deixando várias dúvidas e não entendendo vários trechos. Sugiro que, da próxima vez, você ou explique o assunto antes de passar o texto, ou passe um texto que tenha um entendimento mais fácil.</p>
Ale	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não ficou muito claro pra mim, mesmo depois de ter lido o texto. O que é essa lei de gravitação? 2. Porque um planeta gira com velocidade uniforme em volta do Sol? 3. O que faz os planetas girarem? 4. O que faz a Lua girar em volta da Terra? 5. O que [é] “oscila”? 6. Porque a atração sobre as estrelas? Porque elas se atraem e? 7. O que é força centrífuga?
And	[não fez]
Bru	<ol style="list-style-type: none"> 1. Porque o objeto responde a uma força acelerando em sua direção em uma magnitude que é inversamente proporcional à massa do objeto? 2. Porque o movimento desvia-se da linha que um corpo percorreria se não houvesse força? 3. Porque é muito raro a distância das estrelas se colidirem? 4. Não entendi o que a figura 5-13 quis mostrar. 5. A lei da gravitação de Newton não está correta, só por causa (sic) relatividade, ou algo mais? <p>Comentário: Na minha opinião o texto é muito interessante, mas apresenta palavras complicadas. Mas fora isso, e fora minhas dúvidas, é um texto muito informativo.</p>
Die	[Não fez]
Gab	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existe a massa correta de cada planeta? Qual é? 2. Se um objeto ou corpo atrai o outro porque não estamos todos juntos? Os planetas, luas, etc.? 3. Seria possível explicar o desenho da pág. 149, figura 5-4, eu não entendi? 4. O desenho da pág. 155, figura 5-7 também não entendi? <p>[Obs.: A aluna, com outra caneta, colocou um “OK” na frente de cada questão e ainda escreveu abaixo outras das questões: “P (sic) as coisas ã grudam na terra? O que é especificamente gravidade?”]</p>
Hec	[Não fez]
Mar	<ol style="list-style-type: none"> 1. O que é uma força tangencial? 2. O que uma força centrífuga? 3. Porque as estrelas duplas se atraem? 4. Porque existem tão poucos planetas e tantas estrelas? 5. A terra e os outros planetas imitam a um giroscópio ao girarem sobre seu eixo quebrando a barreira da gravidade e girando de um só rota?
Rog	[Não fez]
Tat	<ol style="list-style-type: none"> 1. Como assim, varia inversamente ao quadrado da distância entre eles? 2. Como se desenvolve a lei de Kepler nº 03? 3. Como simplificar a lei da gravitação de Newton? E a gravitação Universal? 4. Cavendish fez uma experiência com bolas de chumbo. Como ele descobriu a massa da Terra através dessa experiência? 5. O que é constante gravitacional?

Anexo 9: Avaliação final : questões da avaliação final do curso e respostas à questão 2

Responda as questões abaixo explicando detalhadamente suas idéias.

1. Que relações você pode apontar entre as leis de Kepler e a lei da gravitação universal de Newton?
 2. Se a Lua é atraída pela gravidade da Terra porque ela não cai sobre a sua superfície?
 3. Tem que ser necessariamente um planeta, estrela, lua, etc, ou seja, um corpo celeste, para exercer gravidade sobre alguma coisa?
- A) Faça uma síntese das relações que você vê entre essas duas palavras: *gravidade* e *espaço cósmico*.
- B) Que outras questões e dúvidas que lhe foram despertadas?

	respostas à questão 2
Adr	A lua não cai porque a gravidade é proporcional à distância e como a Lua está 'longe' ela é fraca. Outro motivo é que existem outras forças puxando no sentido contrário, o que a deixa 'equilibrada'. A força provocada pela gravidade, faz somente com que a lua não siga uma reta e sim, dê voltas em torno do Sol. Além disso, pelo princípio da inércia que diz que se tudo seguiria uma reta mas com a força da gravidade, o planeta tende a ir para o lado, formando uma órbita, por isso não cai. [fez um desenho com a Terra maior, a Lua, menor e três flechas curvas e curtas acompanhando um pouco a circunferência da Terra, entre esta e a Lua]
Ale	Porque mesmo a lua sofrendo uma atração gravitacional forte pela terra, ela também recebe atração de outros planetas ou outros corpos. [fez um desenho mostrando a órbita da Lua em torno da Terra e com duas flechinas na Lua, uma tangencial (maior) e outra central (voltada para a Terra, e menor).
And	Nós podemos dizer que a lua não cai. Mas como podemos dizer isso? Porque a lua tem uma força. Se não fosse essa força que agisse sobre ela, ela se afastaria em linha reta. Que ao em vez, ela percorre um círculo, de modo que realmente cai em relação a onde permaneceria se nenhuma força atuasse. Resumindo, a lua não cai porque uma força age sobre ela.
Bru	Como todos nós aprendemos, tudo atrai tudo, ou seja, a lua é atraída pela gravidade da Terra, se existe essa atração a lua não tem como cair sobre a superfície da Terra, sabemos que, a Terra e a lua possuem uma rota, sempre continuam juntas, a Lua gira em torno da Terra, a Terra gira envolta do Sol, e todos os outros planetas também. A atração que existe não faz com que a lua caia, mas que ela não se afaste da Terra, é lógico que cada planeta tem sua órbita e a terra puxando a lua, e os outros planetas passando perto da lua fazem que a lua e a terra continuem juntos, fazendo os dias e as noites e fazendo os 365 dias do ano.
Die	A lua não cai sobre a terra porque ela é atraída pela gravidade, mas ao mesmo tempo ela está em movimento, então ela faz uma curva por causa da atuação das duas coisas (gravidade e movimento), estão atuando juntas. Num mesmo momento, então ela (lua) não cai sobre a Terra. O satélite Mir foi derrubado porque reduziram a velocidade dele colocando um foguete que o empurrou na direção contrária e reduziu sua velocidade fazendo com que houvesse uma curva mais fechada e o derrubando.
Gab	Porque se nenhuma força agisse sobre a Lua ela se afastaria da Terra, percorrendo uma linha reta, mas ela percorre um círculo que atua assim: a Lua "cai" em relação onde nenhuma força atuasse assim [fez um pequeno desenho] a força atua sobre a lua, mas a gravidade da terra a "segura" fazendo com que ela sempre "caia", mas não em cima da Terra, em volta dela, ela não cai pois a gravidade existente entre a Terra e a lua é maior do que a força com que a lua "anda". A lua "cai" no sentido em que ela se afasta da linha reata que percorreria se não houvesse força ou gravidade, ela forma assim a sua órbita, sempre "caindo".

Hec	<p>A lua tem órbita, ela recebe uma força para ir reto, mas a terra atrai a lua não deixando ela ir reta. A lua não cai sobre a superfície porque a terra não tem força suficiente para tirar a lua de sua órbita. [fez desenho mostrando a órbita da lua com flechinhas saindo da Terra de vários pontos em torno dela. O Sol aparece ao lado.]</p>
Mar	<p>Porque a lua também segue sua órbita. Se a Terra (e todo o resto) não exercesse uma força sobre ela, a mesma continuaria em linha reta, porém a Terra a puxa fazendo com que ela “caia” (no sentido em que se afasta da linha reta que percorreria sem a gravidade), e como a terra é redonda, ela percorre sua órbita ao redor dela sempre circular. Ou seja, a força da gravidade faz com que ela faça a curva.</p>
Rog	<p>A lua faz um movimento, cai no sentido de que se afasta da linha reta que percorreria se não houvesse forças (elipse). Todo o Universo tem gravidade. Todos os objetos tem o seu “movimento”, estão em órbitas. Ex.: superfície da Terra [reproduz a figura do texto: lançamento horizontal]</p>
Tat	<p>Porque, além da Terra, outros objetos (satélites, estrelas, planetas) também atraem a Lua. E também porque, segundo o princípio de inércia da Galileu, tudo que está se movendo sem nada o tocando sempre continuará em linha reta e com a mesma velocidade. Assim, ao mesmo tempo que a Lua vai em linha reta, a Terra a atrai, então ela segue em sua órbita. [faz desenho da Lua em órbita da Terra, com duas flechas saindo da Lua, uma grande na tangente da órbita e outra pequena em direção à Terra]</p>

Anexo 10 : Avaliação do curso pelos estudantes. Questões 1 e 2.

Adr	<p>Aspectos positivos: acho bastante interessante o professor sempre perguntar nossas dúvidas e questões, comentários, sobre os textos, filmes e assuntos trabalhados em aula, pois isso nos incentiva a questionar as coisas e refletir melhor as informações que nos são passadas.</p> <p>Aspectos negativos: Por outro lado, na maioria das vezes, não só as minhas, como as perguntas da classe não são respondidas. Na minha opinião, se o professor pede para questionarmos alguma coisa, acho que ele tem que responder a todos fazendo uma seleção e comentando para a classe as mais interessantes.</p>
Ale	<p>As partes positivas foram os debates de perguntas, que me abriram a mente, e me fez pensar melhor sobre o universo e me fez descobrir coisas novas (desvendar minhas perguntas).</p> <p>A falta de tempo, não pudemos falar mais sobre o universo desvendar mais dúvidas e fazendo assim a criação de mais perguntas, fazendo a gente aprender mais.</p>
And	<p>(...) As aulas são interessantes! Temos a liberdade de perguntar até! Tudo!</p> <p>A filmadora incomoda!</p>
Bru	<p>Todas, achei que o método de trabalho adotado, foi ótimo, deixamos a aula de ser do aluno, para aluno, de professor para aluno e de aluno para professor.</p> <p>A falta de colaboração de alguns.</p>
Die	<p>As explicações das leis e a discussão na classe com dúvida da classe que puderam levantar outras curiosidades, questões e conclusões do universo, e o funcionamento do universo.</p> <p>A desorganização da classe e a conversa que complicaram um pouco no entendimento.</p>
Gab	<p>Eu destacaria os debates sobre a gravidade em que respondíamos as questões e em seguida discutíamos. Quando o professor trouxe a maquete demonstrando o movimento da terra, da lua, entre elas e com o Sol. Quando o professor trouxe uma tira imensa para demonstrar a distância dos planetas em relação ao sol e entre si. A 1ª aula foi ótima, pois nós expressamos tudo o que queríamos, dizendo o que pensávamos que existia no Universo. Em todas as aulas a participação dos alunos é muito grande, é muito interessante a colaboração das participações, os alunos discutem e fazem debates aprendendo. Os textos foram muito interessantes. As aulas foram excelentes. (...)</p> <p>Negativos são quando os alunos não colaboram e conversam muito, eles têm que discutir com a classe não com os colegas; têm que ser mais espontâneos e desinibidos, mas não muito. Na minha opinião acho negativo fazer dúvidas e questões para entrega, para mim as dúvidas surgem ao decorrer das discussões, não quando leio os textos, acho que as dúvidas deveriam ser feitas depois e não antes da explicação da matéria e do texto.</p>
Mar	<p>Eu gostei do professor, e adoro a matéria (uma união perfeita). É legal que o professor faz o aluno buscar a resposta, e não a dá “de graça”, faz a gente pensar, refletir muito tempo em um caminho para vermos que estamos errados e mudar completamente de opinião.</p> <p>Talvez por causa da matéria, mas várias coisas eu não entendi, e talvez por falta de tempo, havia várias coisas mais que eu queria saber mas o professor não explicou.</p>
Rog	<p>Um professor (...) que se esforça para ensinar demais [...] muita força de vontade, uma matéria legal.</p> <p>Pouco tempo com a matéria, muitas perguntas não esclarecidas, (...).</p>
Tat	<p>Os textos complementados por explicações do professor e participação da classe.</p> <p>Os textos (2 últimos) são complicados.</p>