

Iniciando os estudantes na matemática da física através de aulas experimentais investigativas¹

Alex Bellucco do Carmo^A (alexbellucco@gmail.com)

Anna Maria Pessoa de Carvalho^B (ampdcarv@usp.br)

A – IFUSP/FEUSP

B – FEUSP

1. Introdução

Ao conversar com professores de Física do ensino médio é muito comum reclamações sobre a falta de conhecimento de conteúdos matemáticos pelos seus alunos. Eles ainda argumentam que isso impede o aprofundamento dos conhecimentos físicos.

Assim, geralmente, dedica-se uma boa parte do curso à revisão de conceitos considerados triviais como: funções e confecção de gráficos.

Tentando sanar essa situação, ou apontar caminhos para a discussão de possíveis soluções, pretendemos verificar se aulas construtivistas que partem de uma abordagem diferente dos conteúdos matemáticos em suas atividades, encontram o mesmo problema.

Dentre as diversas proposições de ensino dessa natureza, nos concentramos no ensino por investigação (Carvalho, 1999), especificamente numa atividade de laboratório aberto, que descreveremos mais adiante.

Essa proposta concentra diversos aspectos da cultura científica além de desenvolver a habilidade de argumentação dos estudantes (Capecchi, 2004), e ainda desenvolve uma visão coerente do trabalho científico (Nascimento, 2004, Moreira, 2005).

Sendo assim, apresentamos uma revisão sobre como a matemática aparece na ciência, a fim de adquirir subsídios para verificar se nessas aulas criam-se também condições para que os alunos entendam esses conteúdos matemáticos, da forma como eles são usados nos laboratórios.

2. A cultura científica e sua linguagem

Nas últimas décadas, muitos trabalhos têm apontado a ciência com uma forma de cultura, com suas diversas práticas, valores, regras, linguagens etc. Logo, aprender ciência é imergir nessa cultura (Mortimer & Machado, 1996; Cobern & Aikenhead, 1998; Reigosa et. al., 2000; Roth & Lawless, 2002; Kominsky & Giordan, 2002; Capecchi, 2004, Zanetic, 1989).

Uma discussão relevante nesse contexto é se essa cultura científica não irá suprimir a dos estudantes, o que é chamado de *aculturação* (Cobern & Aikenhead, 1998).

Mortimer (1994) evidencia como isso é difícil de ocorrer, ao mostrar que as pessoas podem ter mais de uma interpretação sobre o mesmo fenômeno convivendo em suas mentes, sendo o professor o responsável por ensinar seus alunos a diferenciar cada uma.

Portanto, em vez de considerar a aprendizagem como aculturação nos conhecimentos científicos, adotamos a concepção de *enculturação*, ou seja, a aprendizagem acontece à medida que o estudante compreende e utiliza parte da

¹ Apoio: FAPESP

linguagem, dos métodos e das práticas da cultura científica, ao mesmo tempo criando novas visões de mundo e ampliando as antigas (Driver et. al., 1999; Mortimer e Machado, 1996; Capecchi e Carvalho, 2002; e Capecchi, 2004).

Dentro dessa visão, a qual estamos de acordo, aprender ciência é se engajar nas formas dos cientistas construírem seus conhecimentos, o que envolve o trabalho em grupo, e também, um processo individual de atribuição de significados e construção de conhecimentos (Driver et. al., op. cit.). Esse trabalhar em grupo e individual envolve o uso de uma linguagem especial, com características próprias que detalhamos a seguir.

2.1. Linguagem das Ciências e a Matemática

Quando se fala em linguagem da ciência, o senso comum costuma dizer que se trata de “matemática aplicada”. Consideramos esse tipo de afirmação reducionista e que mascara características importantes da atividade científica.

Lemke (1998a) mostra que os cientistas fazem uso simultâneo de escrita, tabelas, gráficos, equações, representações visuais, animações etc para construir seus conhecimentos.

Essa integração de diferentes linguagens acontece por dois processos distintos de construção de significados:

- **Cooperação:** quando duas ou mais linguagens atribuem um mesmo significado para um conceito ou fenômeno, realizando funções semelhantes (Márquez et. al., 2003). Por exemplo, ao dizer que a temperatura de um gráfico aumentou linearmente, o falante pode usar simultaneamente um gesto que represente a curva do gráfico, ou mesmo, apontar diretamente o local de aumento. Logo, fala, gesto e curva são usados de forma cooperativa para expressar a mesma idéia;
- **Especialização:** quando duas ou mais linguagens atribuem um significado para um conceito ou fenômeno, realizando funções distintas (Márquez et. al., op.cit.). Por exemplo, quando se explica a variação de uma entidade num gráfico, pode-se usar a fala para apontar um aumento ou um decréscimo, enquanto a curva pode mostrar como se deu a variação – linear, exponencial, logarítmica, etc. Assim, essas duas linguagens são usadas de forma especializada para a construção do significado.

Outra característica importante da ciência é que ela não é construída e nem comunicada somente pela linguagem oral ou a escrita, pois a sua linguagem é híbrida, contendo ao mesmo tempo um componente verbal-*tipológico* e outro matemático-gráfico-operacional-*topológico*. Com isso, estar no mundo da Ciência é combinar discurso verbal, expressões matemáticas, representações gráficas e visuais, e operações motoras no mundo natural (Lemke, op. cit.).

Entendemos por recursos tipológicos qualquer tipo de classificação que envolva categorias discretas (Lemke, 1999), tais como quente e frio; longe e perto; alto e baixo; momento angular e momento linear; condução, convecção e irradiação etc. Eles servem para analisar e classificar os contextos culturais, através dessas categorias que geralmente se opõem umas as outras.

Já recursos topológicos são representados por variações contínuas ou quase contínuas sobre alguma propriedade dos objetos materiais. Eles envolvem tamanho, forma, distância, proporção, intensidade, tempo, velocidade, temperatura, pressão, voltagem, concentração, densidade etc, sendo que cada uma dessas entidades pode variar dentro da topologia dos números reais (Lemke, Op. cit.). São também alguns

exemplos desses recursos: desenhos, gestos, gráficos e qualquer tipo de representação visual.

Lemke (2002) argumenta que a linguagem oral e a escrita costumam construir significados tipológicos, contrastando essas categorias distintas. Porém, os processos materiais, que se dão através da co-variação das entidades do mundo real, não são bem explicados por tais recursos. Logo, a ciência na tentativa de descrever essa situação precisou criar outros recursos de significação, que foram denominados topológicos.

Com isso, a linguagem oral e a escrita não dão conta de descrever de uma forma precisa o movimento de um projétil no espaço, a variação da temperatura de um líquido, a topologia de uma montanha, o movimento de uma molécula num gás e assim por diante. Gestos, desenhos e outros tipos de representações visuais são mais eficientes neste tipo de representação. Entre estas linguagens repousa a linguagem matemática que faz uma ligação entre elas, dando precisão às asserções sobre o mundo.

No fim desse processo de construção da linguagem matemática na ciência, ao visualizar um recurso, um cientista tem acesso direto ao fenômeno de estudo, como se ele pudesse “ver” o que está ocorrendo nessa forma de representação, mesmo quando estão envolvidas variáveis microscópicas ou entidades abstratas (Roth, 2003). Ao mesmo tempo, ele esquece os passos que levaram a produção dessa forma de interpretação do fenômeno (tabela, gráfico, função, simulação etc).

2.2. Linguagens da ciência na sala de aula

Se a ciência utiliza diversas linguagens para construir seus conhecimentos, então, deve-se aprender não somente nas suas linguagens, mas também sobre elas (Lemke, 1998b).

É necessário também, retomar na sala de aula o processo de produção das diversas formas da escrita científica, incluindo a matemática. Dessa forma, podendo fazer com que nas tabelas, gráficos, diagramas, funções etc, o fenômeno em estudo fique “transparente” ao olhar do aluno.

No caso da linguagem matemática, deve-se explicitar quais recursos pertencem à mesma. Por exemplo, ao trabalhar um gráfico o professor deve deixar claro os recursos tipológicos e topológicos dessa linguagem. Dentre os recursos tipológicos temos, por exemplo, as variáveis como energia, tempo e temperatura. Já os recursos topológicos são os valores das variáveis, a forma da curva com suas inclinações e a organização visual que o gráfico proporciona.

Clarificando esses recursos, faz-se um “link” entre o fenômeno e a representação matemática do mesmo. Esse processo ocorre principalmente com os recursos topológicos que são característicos dos fenômenos estudados na Física e que são melhores descritos pela linguagem matemática.

Especificamente sobre a linguagem gráfica, Roth (2003) mostra que as pesquisas de ensino tratam esse assunto focando em dimensões psicológicas do aprendizado. Porém, o autor afirma que construir gráficos é uma prática de construir sinais, e que usar competentemente os gráficos requer familiarizar-se com as formas de construí-lo na Ciência, o que está de acordo com o que apresentamos sobre as formas que consideramos mais significativas para o trabalho das linguagens científicas na sala de aula.

3. Ensino por Investigação e problema de pesquisa

Uma proposta construtivista que tem se mostrado eficiente quanto ao desenvolvimento de uma visão de ciência correta nos alunos (Nascimento, 2004; Moreira, 2005), além de desenvolver a habilidade de argumentação nos mesmos e apresentar diversos aspectos da cultura científica (Capecchi, 2004), é o *ensino por investigação* (Carvalho, 1999).

Desenvolvido por professores da escola pública que atuam no ensino médio, sob o financiamento da FAPESP, essa proposta, tendo conteúdos de Termodinâmica como pano de fundo, sugere diversas atividades e materiais de apoio para o professor trabalhar na sala de aula: utilização de textos históricos e de textos de apoio, demonstrações experimentais investigativas, laboratório aberto, questões abertas, problemas abertos e uso de recursos tecnológicos.

Dentre as atividades desenvolvidas, uma das mais ricas em termos de conteúdos e de aspectos da cultura científica é o laboratório aberto (Capecchi, op. cit.), que é uma atividade experimental que parte de um problema levantado pelo professor e que envolve os estudantes. A partir daí eles levantam suas hipóteses, fazendo a elaboração de um plano de trabalho, montando um arranjo experimental e coletando dados, partindo para análise dos mesmos e conclusões. Sendo que, a análise de dados é uma das etapas mais trabalhosas e duradouras da atividade, na qual há um forte desenvolvimento da linguagem matemática de forma aproximada a usada na Física, com suas diversas características, tais como: desenvolvimento de aproximações, discussão sobre incertezas, elaboração e discussão de gráficos e tabelas etc.

Assim, mediante ao referencial apresentado, nosso problema pode ser melhor delimitado com a seguinte pergunta:

Como numa seqüência de ensino de laboratório aberto professor e alunos articulam a linguagem matemática usada pelos físicos com as outras linguagens para construir os significados científicos?

4. Metodologia

Para resolver o problema proposto, analisamos gravações feitas no ano 2000 de uma aula de laboratório aberto, realizadas em uma escola pública da cidade de São Paulo, numa turma de 1º ano do ensino médio.

Essas aulas se encontravam dentro de uma seqüência de ensino sobre calor e temperatura, sendo que, o laboratório foi realizado para responder a pergunta: “como a água aquece?”. O objetivo principal era encontrar a equação geral da calorimetria.

Direcionamos nossas atenções à etapa do laboratório aberto de análise dos dados, na qual os valores de uma tabela foram transformados em um gráfico, já que a primeira não é suficiente para testar todas as hipóteses levantadas e responder a pergunta proposta pela professora (“Como a água aquece?”).

Para realizarmos a análise nos baseamos nos seguintes conhecimentos:

- O “diálogo” entre as linguagens, ou seja, se elas cooperam ou se especializam;
- A articulação dos recursos tipológicos e topológicos (esses últimos característicos da linguagem matemática);
- Se são promovidos meios para que os fenômenos sejam vistos nas representações da linguagem matemática.

As transcrições foram separadas em três colunas para captar as diferentes linguagens usadas na sala de aula: na primeira está a linguagem oral transcrita

usando o padrão proposto por Preti (1997) e as ações dos participantes entre parênteses duplos em itálico, na segunda estão contidos os aspectos visuais tais como tabelas, gráficos e uso de objetos e na terceira encontram-se os gestos dos participantes. A seguir temos um exemplo de transcrição:

Linguagem Oral	Visual	Gestual
<p>1. P: ((grande agitação na sala, professora procura retomar o tema)) ((63'18'')) primeira coisa ... teve gente que <i>arredondou</i> e não tá querendo falar isso ... <u>cê tem o tracinho do termômetro aqui</u> ... se o mercúrio tava - - vamos considerar esta marca 74 - - se o mercúrio tava QUASE no 74 ... mas não era exatamente 74 ... falou que era ((64')) ... isso muitas vezes acontece ... a diferença sendo pequenininha a gente arredonda pra cima</p>	<p>P segura um termômetro na mão</p> <p>Desenha</p> 	<p><u>Aponta desenho na lousa</u></p>

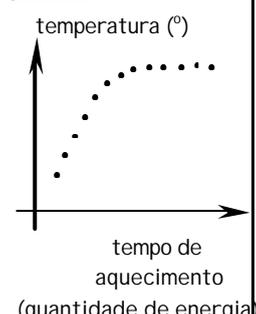
Nesse segmento, durante toda a fala a professora (P) segura o termômetro na mão (atitude expressa na coluna central). Em dois momentos ela usa linguagens diferentes simultaneamente: primeiro a fala com um gesto (representado pelo trecho sublinhado) e depois a fala e o desenho (representado pelos trechos em negrito). O tempo decorrido aparece entre os parênteses duplos, com o objetivo de dar uma impressão do andamento da aula. Toda vez que duas linguagens são usadas ao mesmo tempo, empregamos sublinhado, negrito ou itálico.

Também dividimos as aulas analisadas em episódios, que ainda foram fracionados em eventos e cenas. Usamos como critério de divisão os aspectos da cultura científica encontrados.

5. Análise do gráfico do aquecimento da água (Temperatura X Tempo)

Evento 1 – Identificação da curva

Este evento inicia-se uma discussão sobre os gráficos confeccionados com base nos dados da tabela (tempo de aquecimento e temperatura). Anteriormente foram discutidas as várias características do gráfico, como escalas e eixos. Os alunos estão sentados em duplas e/ou pequenos grupos.

Linguagem Oral / Ações	Visual / Escrita	Gestos
<p>1. P: ((professora está em pé de frente para a turma no centro da sala)) bom ... vamos prestar atenção um pouquinho ... eu pedi pra não unir os PONTOS ... nós não estamos fazendo um gráfico de matemática ... o gráfico de matemática é uma equação exata... você... faz valores para o x ((45')) ... calcula o y...((comentários de alunos)) dá tudo certinho bonitinho ... nós NÃO sabemos... o resultado desse gráfico...nós temos uma SÉRIE de medidas... colocamos no gráfico pra ver o quê que acontece...e todo mundo teve uma coisa mais ou menos... assim... tá... como eu: circulei por aí... eu vi como ficava o desenho ... <u>ficou mais ou menos isso aqui... né...</u></p> <p>2. A2: É</p> <p>3. A?: Ficou...</p> <p>4. P: Né...</p> <p>5. A2: ahnham...</p>	<p><u>Desenha pontos no gráfico</u></p> 	

6. A7: é ...		
7. A4: Mas... ()		

No turno 1, P chama atenção para a natureza do gráfico usado na Física – “... nós não estamos fazendo um gráfico de matemática...”, enfatizando que na pesquisa científica não se tem certeza dos resultados que serão obtidos. Isso mostra sua preocupação em tratar o gráfico de forma aproximada ao usado no cotidiano científico, tal como enfatizamos ser necessário ao citar Roth (2003).

Além disso, ela ressalta que o conjunto de pontos obtidos por todos tem uma forma parecida, nesse instante, o significado da linguagem oral é respaldado pela visual, uma vez que a primeira não dá conta de representar a idéia em questão, portanto, ela desenha os pontos do gráfico na lousa. Dessa forma, o gráfico e seus pontos *especializam* o significado que a P deseja que seus alunos construam, além de trazer a forma da curva, ou seja, um significado *topológico*, que dificilmente seria construído com a linguagem oral.

Linguagem Oral / Ações	Visual / Escrita	Gestos
<p>8. P todo mundo... teve... <u>uma parte... em que a temperatura... vai aumentando...</u> que corresponde a essa parte inclinada... depois aqui teve um espacinho que dá uma... dá uma curvadinha... né...num é uma coisa muito RETA...e depois... estabilizou aqui a temperatura... DÁ pra gente perceber ... QUE ((46')) ... ISSO AQUI PARECE uma reta... <i>isso aqui parece OUTRA reta...</i> aqui não porque aqui:: dá uma curvada... mas... não dá a impressão... OLHANDO SÓ OS PONTOS... por isso que eu pedi pra não ligar... só os pontos... que aqui a gente tem uma reta... aqui teria uma curvinha... e depois emenda com uma outra reta horizontal?</p> <p>9. A: ahnham...((alunos respondem juntos))</p> <p>10. A?: Mais ou menos...</p> <p>11. P: Se... a gente pegar a régua... e colocar...</p> <p>12. A?: () reta...</p> <p>13. P: não vai dá uma reta...</p> <p>14. A17: não ...</p> <p>15. P: <u>mas tudo mos-tra</u> ...</p> <p>16. A?: ...que é uma reta...</p> <p>17. A17: que é uma reta ... ah ... puxa ...</p> <p>18. P: como é que a gente resolve isso?</p> <p>19. A5: a minha não deu uma reta...</p> <p>20. A18: essa aqui não deu reta...</p>	<p>Desenha duas retas no gráfico</p> <p>temperatura (°)</p> <p>tempo de aquecimento (quantidade de energia)</p>	<p><u>Simula reta ascendente</u></p> <p>Acompanha pontos do gráfico com a mão</p> <p><u>Simula reta ascendente</u></p>

Na seqüência (turno 8), a professora tenta melhor ilustrar as idéias anteriores apontando para as características da curva obtida. Para tal fim, ela utiliza *cooperativamente* a linguagem verbal e a gestual (simulando uma reta ascendente e acompanhando os pontos no gráfico), esta última melhor representa as características variacionais ou *topológicas* do fenômeno estudado. E também, indica quais partes do gráfico podem ser aproximadas a uma reta e quais não podem, atitude amparada pelas retas desenhadas no gráfico, que são mais eficientes para representar as características *topológicas* do fenômeno (aumento linear e constância da temperatura em certo período de tempo). Os estudantes atendem a demanda de P ao responder sua pergunta (turno 9), porém, há uma certa desconfiança (turnos 10, 19 e 20), que

leva a uma explicação mais precisa: “Não vai dar uma reta...”, “mas tudo mos-tra...”, que se entende no próximo turno.

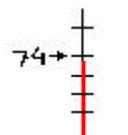
Linguagem Oral / Ações	Visual / Escrita	Gestos
<p>21. P ela NUM:: DÁ um reta... mas também num dá uma figura diferente... a gente percebe que... o que acontece aqui:: é que ... aumenta um pouquinho diminui um pouquinho... num tem uma re-gu-la-ri-da-de... que eu pudesse falar... olha:: <u>isso tá acontecendo assim... ou isso tá acontecendo assim...</u> ((47')) né... ela tem todo jeito de uma reta... só que n/ dá... PRE-CI-SA-MEN-TE uma reta...</p> <p>22. A17: como é que fica aqui...</p>	<p><u>Desenha</u></p>  <p><u>Desenha</u></p>	

A solução ao impasse encontrada por P – exercendo um papel de “coordenadora” do “grupo de pesquisa” – é mostrar que a reta (que carrega os significados *topológicos especializados*) é a melhor solução para o que está disposto no plano cartesiano da lousa (turno 21) – fato comum em matemática (demonstrar algo pelo que não é). Por isso, as dúvidas dos alunos, ou seja, eles não visualizavam como uma reta poderia se ajustar a pontos desalinhados. Ainda nesse turno, os desenhos usados por P dão o respaldo *cooperativo* necessário a sua fala, dando uma impressão visual de como seria se o aquecimento não fosse linear, que é um significado topológico *especializado* já que esse aumento não estava claro para os alunos até este momento (nos próximos diálogos verificamos que a idéia de um aumento linear foi aceita pela turma). Nesse momento, inicia-se uma explicação do porquê os pontos não se enquadram em uma reta precisa (Evento 2a).

Em todo evento, P chama atenção para as características *topológicas* do fenômeno em estudo através da utilização de gestos e desenhos, fazendo assim explícitos os significados matemáticos em questão, ou seja, a forma linear que a temperatura da água aumenta.

Evento 2b – Discussão sobre incertezas depois do intervalo

Selecionamos a segunda parte deste evento – começou logo após o intervalo – por ser mais ilustrativo.

Linguagem Oral / Ações	Visual / Escrita	Gestos
<p>1. P: ((<i>grande agitação na sala, professora procura retomar o tema na volta do intervalo, ela estava em pé de frente para a turma, no meio da classe segurando um termômetro</i>)) ((63'18")) primeira coisa ... teve gente que arredondou e não tá querendo falar isso ... <u>cê tem o tracinho do termômetro aqui ... se o mercúrio tava - - vamos considerar esta marca 74 - - se o mercúrio tava QUASE no 74 ... mas não era exatamente 74 ... falou que era ((64')) ... isso muitas vezes acontece ... a diferença sendo pequenininha a gente arredonda pra cima...</u></p>	<p><u>Desenha</u></p> 	<p><u>Aponta</u> <u>desenho na</u> <u>lousa</u></p>

Os alunos não assumiram que arredondaram as medidas, logo, percebendo o receio deles em errar, P retoma a discussão mostrando que isto é normal (T.1) e utiliza concomitantemente a sua fala e um desenho com significado *especializado* para expressar essa idéia de uma forma visual, que é mais eficiente do que a linguagem oral, além de servir de pano de fundo para as explicações posteriores. É importante notar que este significado *especializado* também está contido no gráfico da lousa, ou seja, são as variações nos pontos que não dão uma reta precisa. Dessa maneira,

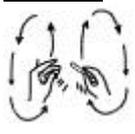
começa-se a construir uma relação direta entre gráfico e fenômeno, tal como a descrita por Roth (2003), ao relacionar incerteza na medida com flutuação dos pontos obtidos.

Na seqüência, a professora continua mostrando outra forma de imprecisão comum nas medidas que envolvem mais de uma pessoa: a sincronia. E tem sua fala complementada corretamente por A12 no turno seguinte, mostrando seu envolvimento.

Linguagem Oral / Ações	Visual / Escrita	Gestos
2. P: outro problema que pode ter acontecido ... nós temos um problema de sincronia ... um tava vendo o relógio ... o outro tava vendo o termômetro ... então ... entre o cara falar “já” e o outro ler ... 3. A12: e o outro escrever... 4. A?: é imprecisão ... né 5. P (a): pode ter dado uma diferencinha ... é uma IMPRECISÃO ... não é um ERRO ... ((<i>estudantes comentam ~9</i> ’)) 6. P (b): cês sabem que tem uma coisa chamada TEMPO de reação? 7. A: ahn 8. P: tem uma coisa ... nosso organismo humano é limitado ... a gente gasta algum TEMPO pra reagir ... entre o de você ver e você for tomar alguma atitude leva sempre algum tempo ... mesmo que seja pequeno ... ((<i>estudantes comentam enquanto P está falando</i>))		

No turno 4, um aluno usa o termo correto da ciência para explicitar esse fenômeno: imprecisão. P aproveita a fala do aluno para mostrar que isso é diferente de erro, criando um ambiente participativo.

Nos turnos seguintes, ela explica como o tempo de reação humana pode influenciar nessa imprecisão. E depois, P procura enfatizar como o próprio o processo de aquecimento pode interferir na medida.

Linguagem Oral / Ações	Visual / Escrita	Gestos
9. P: ((65’)) outra coisa ... como é que a água esquentava? 10. Alunos: no fogo ... 11. P: que PROCESSO que ela esquentava? 12. A24: as moléculas se agitam ... 13. P: ahn... 14. A24: as moléculas se agitam ... 15. P: as moléculas se agitam ... 16. A1: então ... as quentes vão pra cima ... 17. P: <u>ai ... sobem as que são mais quentes ... descem as que estão mais frias ... a água toda tá com a mesma temperatura ao mesmo tempo?</u> 18. As: não ...		Gesticula 

No turno 9, P continua a discussão sobre o que pode ter influenciado a medida com a pergunta: “... como é que a água esquentava?”. Isso também contribui para retomar a atividade criando um contexto para a discussão. Com o objetivo de obter uma resposta mais precisa do que a do turno 10, ela enfatiza o processo de aquecimento (T.11). Assim, A24 e A1 complementam respectivamente: “as moléculas se agitam...” (T.14) e “então... as quentes vão pra cima...” (T.16). Esses alunos já

havia estudado o modelo cinético dos gases e convecção, dessa forma, puderam usar seus conhecimentos para atender a demanda de P.

P continua a valorizar as respostas dos alunos (T.15 e T.17), criando um espaço para participação e revisando o que foi falado. Nesse último turno, ela utiliza um gesto *especializado* para expressar o fenômeno de convecção, que traz um significado adicional a sua fala, pois mostra como a posição das moléculas da água varia no espaço, possibilitando um melhor entendimento dos alunos (T.18) – articulando assim os significados *tipológicos* (a fala) com os *topológicos* (o gesto), que é uma característica dos significados matemáticos – que no caso ainda não foram formalizados. Ela ainda insiste nesse ponto da discussão.

Linguagem Oral / Ações	Visual / Escrita	Gestos
19. P: não... pode ter acontecido de o termômetro ter recebido água ... uma hora um pouco mais quente ... outra hora um pouco mais fria... por causa da convecção? 20. A4: claro ... 21. A7: pode ... 22. A: é:... 23. P: a diferença seria grande? 24. As: não... 25. A: sim ... 26. P: a diferença que a gente tem aqui é grande?...não... 27. S: num falei?		Gesticula  <i>Aponta gráfico na lousa e faz gesto de negação com a mão</i>

Para ilustrar as idéias em questão, P mostra o termômetro e faz um gesto que mostra espacialmente como a água mais ou menos quente pode ter entrado em contato com o bulbo, de forma a dar diferenças na medida (T.18), remetendo ao fenômeno estudado anteriormente (convecção) através de uma pergunta. Nesse caso também há uma *especialização* dos gestos, que articulam os significados *tipológicos* da fala (água quente ou fria) com os *topológicos*, que mostram de que maneira a água se movimenta dentro do frasco. Ela obtém um feedback de seus alunos (T.20, T.21 e T.22) que mostra um envolvimento dos mesmos. Quanto à diferença ser grande ou não, P recorre ao gráfico na lousa, mostrando que as diferenças nos pontos são pequenas (resultado experimental) – novamente o gráfico como recurso visual, se mostra mais eficiente para deixar claro os significados *topológicos* em questão, possibilitando uma impressão mais clara dos conteúdos que estão sendo explicados.

É importante destacar que ao insistir nessa discussão, P cria um contexto para que os alunos possam ver quais os fenômenos interferem nas medidas e, portanto, nos pontos do gráfico. Com isso, são enfatizados os significados *topológicos* dessa linguagem *especializada*, e também, cria-se um ambiente em que pode ser construído um “link” entre gráfico e fenômeno.

Como no segmento anterior, P continua a fazer uma ligação entre os fenômenos e os pontos no gráfico, mostrando que este último é uma forma de representação dos primeiros. Ao longo do evento, o caráter da pesquisa científica é muito presente, pois cada uma dessas características que afetam na medida e precisam ser consideradas, como na prática dos laboratórios.

6. Considerações Finais

Como é observado na análise, as diversas linguagens são importantes na construção dos significados sobre o aquecimento da água, e sobre as incertezas na medida. Os gestos, desenhos e objetos usados possibilitam articular as características *tipológicas* que foram usadas para descrever o fenômeno – como, por exemplo,

quente e fria – com a *topologia* da natureza (movimentação das moléculas de água no espaço).

O gráfico é usado de forma *especializada* em todo o episódio para organizar as observações em torno de suas características. E é empregado também por todos que participaram da discussão para apoiar suas asserções sobre o que aconteceu durante o aquecimento da água. Além de ser usado para indicar como ocorre o fenômeno, apoiado ao conhecimento desenvolvido em outras aulas (convecção), no qual alguns alunos parecem acompanhar o raciocínio da professora (T.20, T.21 e T.22 da cena 2b).

Foram importantes as constantes perguntas da professora, que tinham por objetivo retomar a atividade (“que será que... pode ter influenciado... a nossa medida... pra num ficar uma reta bonitinha... se tem toda a cara de que aquilo devia ser uma reta? “; “outra coisa... como é que a água esquenta?” etc).

Durante todo o episódio² foi importante também o trabalho que a professora desenvolveu para chamar a atenção dos estudantes para as características relevantes ao aquecimento da água, e para manter o foco da discussão. No primeiro aspecto, pontuando o que é importante olhar (termômetro, diferenças, pontos não formam uma reta precisa etc), e no segundo, convidando os alunos a participar (“quê que a gente... quê que a gente pode ter... ahn... facilitado... ou ajudado um pouquinho... a que num ficasse tudo alinhadinho?”, “a gente teve precisão...o suficiente na leitura”, etc), além de valorizar a fala deles (“pode ter dado uma diferencinha ... é uma IMPRECISÃO ... não é um ERRO ...”, “as moléculas se agitam ...”, etc), mas ao mesmo tempo direcionando a conversa para os aspectos importantes: “mas porque... que ... ela sobe e desce... será::: que... se a gente conseguisse condições melhores de trabalho... que será... que será que... pode ter influenciado... a nossa medida... pra num ficar uma reta bonitinha... se tem toda a cara de que aquilo devia ser uma reta?”. Dessa forma, foi estabelecido um ambiente participativo, no qual os estudantes poderiam contribuir dentro dos limites estabelecidos pela professora, além de relacionar os significados *tipológicos* e *topológicos*.

Além disso, P em todo o episódio faz a ligação entre os resultados obtidos no gráfico e o fenômeno, explicitando como o primeiro remete ao último. Logo, ela parece criar condições para que os estudantes possam olhar para o gráfico da mesma forma que os cientistas fazem, ou seja, como se o fenômeno transparecesse no gráfico, da mesma forma Roth (2003) sugere.

Finalizando, os dados analisados começam a mostrar que esse tipo de aula cria condições aos estudantes de integrar as diversas linguagens da Ciência com a linguagem matemática, possibilitando-os construir os significados típicos dessa última, enriquecendo muito a atividade de ensino. Isso é evidenciado nas ações da professora que explicita os recursos que indicam tanto variações por tipo quanto por grau, e também, elabora uma ponte entre o gráfico e o fenômeno, que são características dos significados matemáticos em construção da Física.

É objetivo de pesquisas posteriores, estudar o entendimento desses alunos nessas aulas.

7. Bibliografia

² O episódio não foi apresentado na íntegra por falta de espaço.

- CAPECCHI, M.C.M. *Aspectos da Cultura Científica em Atividades de Experimentação nas Aulas de Física*. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2004.
- CARVALHO, A.M.P.; SANTOS, E.; AZEVEDO, M.C.; DATE, M.; FUJII, S. & NASCIMENTO, V.B. *Termodinâmica: um ensino por investigação*. São Paulo: Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 1999.
- COBERN, W.W & AIKENHEAD, G.S. Cultural aspects of learning science. In: FRASER, B.J. & TOBIN, K.G. (Ed.). *International Handbook of Science Education*, v. 1, p. 39-52, Kluwer Academic Publishes, 1998.
- DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E. & SCOTT, P. Construindo o conhecimento científico na sala de aula. *Química na Nova Escola*, n.9, maio, p.31-40, 1999.
- KOSMINSKY, L. & GIORDAN, M. Visões de ciências e sobre cientista entre estudantes do ensino médio. *Química nova na escola*, n.15, p.11-18, 2002.
- LEMKE, J. Multiplying Meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: Martin, J. e Veel, R. (eds.), *Reading Science*. Londres, Routledge, 1998a.
- LEMKE, J. Qualitative research methods for science education. In: FRASER, B.J. & TOBIN, K.G. (Ed.). *International Handbook of Science Education*, v. 2, p. 1175-1189, Kluwer Academic Publishes, 1998b.
- LEMKE, J. L. Teaching all the languages of science: words, symbols, images and actions. Paper presented at the Conference on Science Education in Barcelona, 1998. Disponível em: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/sci-ed.htm>, consultado em março de 2005.
- LEMKE, J. Typological and Topological Meaning in Diagnostic Discourse. *Discourse Processes*, v.27, n.2, 173-185. 1999.
- LEMKE, J.L. "Mathematics in the Middle: Measure, Picture, Gesture, Sign, and Word". In Anderson, M., Saenz-Ludlow, A., Zellweger, S. & Cifarelli, V., (Eds.). *Educational Perspectives on Mathematics as Semiosis: From Thinking to Interpreting to Knowing*. pp. 215-234. Ottawa: Legas Publishing. 2002.
- MÁRQUEZ, C. IZQUIERDO, M. & ESPINET, M. Comunicación Multimodal en la Clase de Ciencias: El Ciclo Del Agua. *Enseñanza de las Ciencias*, v.21, n.3, p. 371-386, 2003.
- MOREIRA, E.F. *Ensino por Investigação: Ensinando e Aprendendo a Cultura da Ciência*. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2005.
- MORTIMER, E.F. & MACHADO, A.H. A linguagem numa aula de ciências. *Presença Pedagógica*, v. 2, n.11, p. 49-57, 1996.
- MORTIMER, E.F. *Evolução do Atomismo em Sala de Aula: Mudança de Perfis Conceituais*. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1994.
- NASCIMENTO, V.B. A natureza do conhecimento científico e o ensino de ciências. In: CARVALHO, A.M.P. (ed.). *Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, p. 35-57, 2004.
- PRETI, D. (org.) *O discurso oral culto*. São Paulo: Humanitas, 1997.
- REIGOSA, C.; CARLOS, E.; JIMÉNEZ, A. & MARÍA, P. La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, v.18, n.2, p.275-284, 2000.
- ROTH, W-M. & LAWLESS, D. Science, culture and the emergence of language. *Science Education*, v. 86, n.3, p.368-385, 2002.
- Roth, W-M. Competent workplace mathematics: How signs become transparent in use. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 8 (3), 161-189, 2003.
- ZANETIC, J. Física também é cultura. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1989.