

Interpretando fenômenos físicos a partir da matematização: generalizando dados de um laboratório investigativo¹

Interpreting physical phenomenon from the mathematization: generalizing from a investigative laboratory

Alex Bellucco, FEUSP, alexbellucco@gmail.com

Anna Maria Pessoa de Carvalho, FEUSP, ampdcarv@usp.br

Resumo

Analisamos o processo de estruturação matemática dos conhecimentos físicos a partir dos dados de uma aula de laboratório aberto, dentro de uma sequência de ensino investigativa aplicada em uma turma do Ensino Médio, em uma escola pública do Estado de São Paulo. A habilidade da professora em articular recursos tipológicos (classificação por exclusão de variáveis) e topológicos (classificação por relação entre variáveis) das linguagens, através da cooperação (duas ou mais linguagens reforçam o mesmo significado) e especialização (duas ou mais linguagens introduzem um novo significado) das mesmas, mostrou-se fundamental para propiciar o desenvolvimento de uma habilidade estruturante de interpretação do fenômenos térmicos a partir das linguagens matemáticas, que serviram como meio para visualizá-los.

Palavras-chave: Linguagem, laboratório aberto, estruturação matemática.

Abstract

We analyze the process of mathematical structuring of the physics knowledge from a investigative laboratory data, within a inquiry teaching sequence applied in a high school class in a public school in the State of São Paulo. The teacher's ability to articulate typological and topological features of languages, through cooperation and specialization of the same, was essential to promote the development of a structural skill to interpret the thermal phenomena from mathematical languages.

Key words: Language, inquiry laboratory, mathematical structuring.

Introdução

Em Carmo e Carvalho (2009a, 2009b) adotamos uma perspectiva cultural da Ciência, na qual aprender ciências, ou enculturação, significa inserir-se nessa cultura, dominando suas linguagens e práticas (Zanetic, 1989; Cobern & Aikenhead, 1998; Reigosa et. al., 2000; Roth & Lawless, 2002; Kominsky & Giordan, 2002; Capecchi e Carvalho, 2006), para verificar as habilidades necessárias ao professor para introduzir os estudantes nas linguagens matemáticas (representações visuais, gráfica e algébrica), que são fundamentais ao desenvolvimento conceitual da Física.

Verificamos ainda a relevância de todas as linguagens no processo de construção de significados científico-matemáticos, com suas características *tipológicas* (classificação por

¹ Apoio: FAPESP

exclusão, tais como maior ou menor, quente ou frio) e *topológicas* (classificação por relação entre variáveis, como por exemplo, temperatura em função do tempo) (Lemke, 1998a, 1998b, 1999, 2002). Nesse contexto, em concordância com Márquez et. al. (2003), é essencial considerar os processos de *cooperação* (duas ou mais linguagens reforçam um significado) e *especialização* (duas ou mais linguagens trazem um novo significado). Além disso, Roth (2003) mostra como um fenômeno torna-se *transparente* (ver o fenômeno na representação, esquecendo que ela é uma abstração) em uma linguagem matemática, à medida em que o cientista se familiariza com suas representações durante a apreciação e interpretação de seus dados.

Dessa forma, analisamos dentro de uma sequência investigativa de laboratório, que tinha por objetivo estudar o aquecimento da água, o teste das hipóteses levantadas pelos alunos sobre esse fenômeno, a partir do *gráfico* e posteriormente da *equação*.

A atividade partiu de uma questão inserida pela professora², destacando a relevância do problema (ver Capecchi e Carvaho, 2006), possibilitando que os estudantes formulassem hipóteses de pesquisa e propusessem um plano experimental considerando-as como condições de contorno, que resultaram em tabelas e mais tarde em gráficos e equações. Neste cenário, ficou claro em nosso trabalho, o papel essencial da docente, na medida em que ela ajudou a traduzir a linguagem fenomenológica dos seus alunos nas linguagens científicas (gráfico e equação).

Nessas aulas, o uso de diferentes linguagens, como a gestual e as representações visuais, auxiliou a docente a extrapolar as classificações *tipológicas* para as *topológicas*, típicas da ciência e da matemática usada neste contexto, trazendo significados novos ou *especializados* para a análise de dados. A *cooperação* foi importante para reforçar os significados sobre o fenômeno que já haviam sido construídos e que a professora desejava enfatizar. Esse trabalho permitiu que as linguagens gráfica e algébrica tornassem *transparentes* aos olhos dos estudantes, de forma similar aos cientistas que Roth (2003) observou, ou melhor, alguns destes alunos falavam diretamente sobre o fenômeno quando discorriam sobre o gráfico ou a equação obtida no laboratório.

O próximo passo, apresentado a seguir, mostra a análise da generalização dos dados obtidos em laboratório, para qualquer substância e em qualquer quantidade, resultando na equação fundamental da calorimetria.

O foco se dá nas estratégias usadas pela professora para promover o entendimento da equação matemática, para estruturar os conhecimentos construídos na atividade laboratorial, tal como ocorre na ciência (Pietrocola, 2002). Ou seja, para destacar a *habilidade estruturante* (ver Pietrocola, 2010; e Karam e Pitrocola, 2009) da linguagem matemática na física, que trata de usar os conhecimentos matemáticos para organizar situações físicas, algo que extrapola o uso técnico, acrítico e desmotivante das equações nas aulas de física e que se aproxima com o seu uso na ciência.

Usamos o referencial supracitado para análise. Logo, para se observar as diferentes linguagens, suas relações, o tipo de significados construídos e a estruturação matemática do fenômeno físico, optamos por separar as transcrições em duas colunas: uma com a linguagem oral e ações, seguida de outra com as linguagens visuais (incluindo gráficos, gestos, objetos, desenhos e diagramas) e escrita. Quando há simultaneamente do uso de linguagens, usamos negrito, sublinhado ou itálico para representá-la.

Generalizando a equação: estruturando matematicamente o aquecimento e resfriamento das substâncias

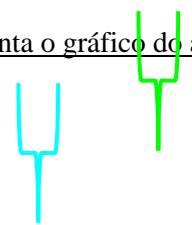
Na aula a seguir, no final da sequência de ensino, professora (P) usa a equação genérica dos

2 A atividade foi desenvolvida em uma escola pública do Estado de São Paulo, com alunos do primeiro ano do Ensino Médio, dentro de uma sequência de ensino investigativa sobre calor e temperatura. As aulas foram registradas em vídeo e posteriormente transcritas.

grupos obtida no laboratório, para introduzir a equação fundamental da calorimetria e ensina como manipulá-la, para saber quantas calorias devem ser fornecidas/retiradas a/de diferentes substâncias a diferentes massas, para aumentar/diminuir a temperatura.

No começo dessa aula, ocorreu uma explanação sobre a absorção de calor por diferentes substâncias através de gráficos e o modelo cinético molecular. Vale destacar que na aula anterior, houve a leitura e discussão de um texto sobre o mesmo tema, envolvendo o conceito de caloria.

Reinterpretando a equação a partir dos conceitos de massa, quantidade de calor e calor específico

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|---|--|
| <p>29. P: porque num era objetivo nosso... a gente tava pretendendo ver o problema do gráfico... podemos até fazer isso daí ... então... na verdade ... o nosso tempo de aquecimento tá dizendo Quantas calorias que o material tá recebendo... a gente costuma escrever <u>isso aqui</u> ... a gente costuma escrever essas relações numa ordem contrária ... quando a gente escreveu no relatório a gente achou uma coisa assim <i>temperatura é igual a temperatura inicial mais um número vezes o tempo de aquecimento</i> ... ((63')) foi o fim do nosso relatório ... eu vou mudar um pouquinho... presta atenção pra entender o que eu estou fazendo ... o nosso tempo de aquecimento ... <u>na verdade ... ele é a quantidade de calor em calorias que a gente usou... né - - quantas calorias estavam chegando na água na unidade de tempo - - ... essa temperatura inicial eu vou passar pra lá e vai ficar assim</u> ... se ele tava mais aqui passa pra lá em matemática ... fica menos ... essa diferença de temperatura entre a temperatura inicial e a temperatura depois foi o que a gente fez aqui... quando a gente viu quanto aumentou a temperatura em cada minuto... certo? ((64'))... quanto aumentou a temperatura num certo tempo... quanto aumentou a temperatura em cada minuto... <u>então isso aqui a gente vai chamar $\Delta\theta$</u> ... que é quanto aumentou a temperatura... se eu passar esse número que tá multiplicando pra cá</p> | <p style="text-align: center;">Aponta o gráfico do aquecimento</p>  $\theta = \theta_0 + n^{\circ} \cdot \text{tempo aquec.}$ $\theta - \theta_0 = \frac{Q}{\Delta\theta}$ $\frac{1}{n^{\circ}} \Delta\theta = Q \Rightarrow Q = mc\Delta\theta$ <p style="text-align: center;">Aponta o gráfico do aquecimento</p> <p style="text-align: center;">Aponta $\Delta\theta$ na lousa</p> |

A professora aproveita a discussão do início da aula para construir a equação fundamental da calorimetria. Ela apoia-se *cooperativamente* no gráfico para mostrar o que é cada termo da equação, sendo que a escrita destes *especializa* os significados matemáticos/topológicos, ou seja, é construída uma relação o gráfico do aquecimento da água e a nova forma de representar o fenômeno (fórmula ou linguagem aritmética) usando os conceitos de calor, massa e calor específico.

Assim, ela começa a estabelecer uma *generalização* (ou uma estruturação matemática dos conceitos físicos) do fenômeno de aquecimento da água, de forma semelhante à proposta na ciência por Pietrocola (2002), que se estende pelos turnos posteriores, dando condições para que seus alunos comecem a enxergar, na equação matemática, os fenômenos de aquecimento em geral, e não só no teste experimental realizado, similarmente aos cientistas estudados por Roth (2003), já que ela vem promovendo uma tradução da linguagem fenomenológica para a linguagem formal da Física, utilizando-se de recursos *topológicos* que proporcionam uma visão geométrica da situação, necessária à aprendizagem dos conceitos matemáticos (Klüsener, 1998).

A seguir, é discutido o porquê do uso do símbolo téta (θ) para temperatura, o que foge dos nossos propósitos. Na seqüência, a professora continua a trabalhar a nova equação.

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|------------------------|------------------|
|------------------------|------------------|

| | |
|--|---|
| <p>33. P: ... ((65')) então se eu pegar esse número e passar pra cá ... ficaria Q igual a um número vezes a mudança de temperatura ... esse número ... na verdade ... ele representa a massa que eu tô usando e o tipo de material que eu tô usando ... então ... a gente tem massa vezes um c - - que tá relacionado ao material - - vezes quanto a temperatura aumentou ... esse é o jeito - - num aparece nos livros do nosso jeito a fórmula - - aparece desse jeito ... <u>q... que é quanto de calor ... quantidade de calor ...</u></p> | <p>Indicando a fórmula na lousa</p> <p>Escreve: $Q=m.c.\Delta\theta$</p> |
| <p>34. A12: que é o calor</p> | |

Os gestos da professora *cooperam* para construção dos significados referentes à equação, exceto quando ela menciona o calor específico, quando há uma *especialização* na medida em que um novo conceito é apresentado. A escrita também *especializa* a sua fala, ao introduzir o conceito de quantidade de calor e como calculá-lo.

As diferentes linguagens usadas constroem significados tipológicos. Por exemplo, cada termo da equação não pode ser outra coisa, ou seja, ou é calor específico ou é temperatura – não existe nenhum grau de variação entre esses conceitos – o que caracteriza o *tipo* de significado mencionado.

Apesar disso, tanto calor específico quanto temperatura (e os outros termos) podem variar dentro da *topologia* dos números reais; dessa forma, desenvolve-se a característica híbrida da matemática usada em ciência na sala de aula, observada por Lemke (1998a, 1999). Ou seja, essa “matematização” dos conceitos físicos vem representar quantidades *topológicas* por meios *tipológicos*.

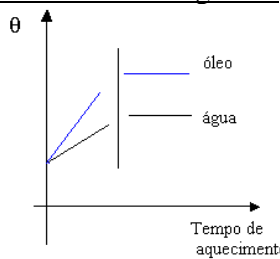
| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|---|---|
| <p>35. P: que eu forneço ... é a massa de material ... o tipo de material ... vai dar um certo aumento de temperatura ... <u>isso aqui chama-se calor específico do material ((66'))</u> ... calor específico do material - - ele conta pra gente a dificuldade maior ou menor pr/o material aquecer - - <i>então você tem aqui substâncias e calor específico ... por exemplo ... na água a gente vai ter um ... se você quiser que um grama de água aumente um grau Celsius você vai gastar uma caloria ... se você quiser que um grama de álcool aumente um grau Celsius você vai precisar de zero vírgula seis calorias ... sei lá vamos pegar outro ... lá no finalzinho ... ferro ... pra um grama de ferro aumentar um grau ... precisa zero vírgula onze calorias ... ((67'))</i> então na tabelinha quando fala nesse calor específico ele diz assim uma caloria por grama por grau Celsius ... quer dizer assim <i>uma caloria para cada grama aumentar um grau... caloria para cada grama aumentar um grau - - cada material é diferente? É... a molécula é diferente... a atração é diferente... então muda o tanto de energia que precisa pra aumentar o mesmo grau ...</i></p> | <p><u>Escreve e faz seta da palavra até a equação: “calor específico”</u></p> <p><i>Pega tabela e vai consultando a mesma, enquanto escreve na lousa:</i></p> <p>$1\text{ cal} = 1\text{ g de água.}1^{\circ}\text{C}$ $0,6\text{ cal} = 1\text{ g álcool.}1^{\circ}\text{C}$ $0,11\text{ cal} = 1\text{ g ferro.}1^{\circ}\text{C}$</p> <p>Escreve: cal/g.°C <i>Indica “cal/g.°C” enquanto fala</i></p> |

No turno 35, a professora começa a definir calor específico dos materiais e como ele está relacionado à forma de aquecimento destes. A escrita e a seta *especializam* o significado de “c”, um novo termo bem definido *tipologicamente* (calor específico). Já a tabela *especializa* o significado da fala na construção do entendimento sobre como trabalhar com esse conceito, além de relacionar (*topologicamente*) calor específico com o fenômeno de aquecimento dos materiais, criando meios para a sua visualização na equação.

Ainda nesse turno, escrita e gesto *especializam* a fala para definir de forma *tipológica* as unidades do calor específico; assim, novamente, a característica híbrida (integrando recursos *tipológicos* e *topológicos*) das construções científicas está em foco. Na seqüência, a professora discute, mais detalhadamente, com os alunos, o conceito de calor específico.

Nos turnos seguintes, um aluno não entende porque o gelo tem mais facilidade para trocar calor que a água, levando a docente a dar uma explicação mais detalhada, justificada pela estrutura das moléculas e a atração entre elas. Depois, ela volta a se aprofundar no conceito de calor específico.

Construindo a habilidade estruturante da matemática nas aulas de física: o exemplo da água

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|--|--|
| <p>44. ((P fala para toda sala)) vamos pensar mais um pouquinho na idéia de calor específico... essa fórmula... ela tá representando o nosso gráfico na parte do aquecimento... ((aluno tira dúvida ~10'))... ahn.... lógico que <i>a fórmula...</i> ela é útil... porque ela ((Inaudível))... mas a gente pode usar só... a idéia ((apaga lousa))... só o raciocínio... vamos pensar na água... uma caloria passa para um grama de água... aumentar um grau... se eu quiser aumentar a temperatura de dois gramas de água... quantas calorias eu preciso?</p> | <p>Aponta fórmula na lousa: $Q=mc\Delta\theta$ Faz uma reta no gráfico</p>  <p>Aponta tabela com cores específicos Escreve 1cal -- 1g de água -- 1°C</p> |

No turno 44, a professora ressalta o papel da equação como meio para *estruturar* o fenômeno físico. Ela faz uma reta que mostra em qual parte do gráfico a fórmula atua (somente no aquecimento), *especializando* seu significado, que é *topológico* por envolver uma relação entre as variáveis desse intervalo.

Dessa forma, novamente, é estabelecido um *link* entre fenômeno e equação, que agora está mais completa por envolver os conceitos que os físicos usam para interpretar trocas de calor (quantidade de calor, calor específico, massa e intervalo de temperatura). Isso é possível pelo desenvolvimento de uma tradução entre as linguagens naturais e a formal promovida pela professora com o auxílio dos recursos *topológicos* presentes na linguagem gráfica e gestual.

A colocação no final desse turno e nos seguintes traz mais participação dos alunos com o intuito de que eles aprendam a manipular a equação matemática de forma estruturante e entendam o que representa o calor específico dos materiais (que envolvem os significados *topológicos* que a professora pretende ensinar). Ainda nesse turno, é usada a escrita (que *coopera* com a fala) para esquematizar como se dá o processo de aquecimento mediante a relação (*topológica*) das três variáveis (calor, massa e temperatura). Os gestos também são usados *cooperativamente* para enfatizar os pontos importantes. Portanto, é desenvolvida uma melhor *estruturação* matemática dos conceitos físicos envolvidos na experiência, que continua a seguir.

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|---|---|
| <p>45. A: dois gramas de água? 46. P: é 47. A: ((Inaudível)) 48. P: <u>se eu colocar duas calorias vai aumentar quantos graus?</u> 49. A: um 50. P: um grau... eu preciso de uma caloria pra um grama... mais uma caloria pra outro grama... <i>se eu quiser cinco gramas de água... diminuir um grau...</i> vai precisar? 51. A: cinco calorias</p> | <p><u>Escreve</u> 2 cal -- 2g Completa escrita anterior 2 cal -- 2g -- 1°C <u>Escreve</u> -- 5g -- 1°C</p> |

A escrita usada pela docente (T.48, T.50) *coopera* para mostrar como estão relacionadas as variáveis (*topologicamente*). Ao notar a dificuldade dos seus estudantes em perceber essas relações *topológicas* entre calor, massa e temperatura; a professora se detém um pouco mais nessas

explicações através de outros exemplos, dos quais os alunos são convidados a participar. Como a dificuldade persistiu, ela utilizou um esquema para discutir como o calor específico influencia o aquecimento:

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|---|---|
| 63. P: por que duas?... porque tem uma para aumentar um grau... ai tem que fornecer mais uma para aumentar mais um grau... vamos supor... coloca <u>dez graus...</u> forneça aqui uma caloria... a água fica onze graus... se eu colocar mais uma caloria ela fica doze graus... cada vez que você põe uma caloria ela aumenta um grau... agora se eu tiver um grama e quero aumentar dez graus? | Completa escrita anterior 2cal -- 1g -- 2°C <u>Escreve</u> 10°C + 1cal 11°C + 1cal 12°C |
| 64. As: dez calorias | |

O esquema desenvolvido pela professora junto com sua fala no turno 63 *especializa* o significado do calor específico dos materiais, mostrando como variam as quantidades envolvidas (um significado *topológico*). Ele também possibilitou um melhor entendimento dos alunos na medida em que um grande grupo respondeu corretamente a pergunta feita pela professora (T.64), evidenciando o desenvolvimento da *habilidade estruturante*.

Isso pode mostrar como a generalização dos resultados do laboratório começa a tornar-se transparente ao olhar dos estudantes, mediante ao uso da *estruturação matemática* dos conceitos físicos de calor e calor específico, a partir de uma tradução da linguagem comum para a científica, amparada pela explicitação dos recursos *topológicos* da linguagem matemática. Assim, qualquer aquecimento ou resfriamento pode tornar-se *transparente* no gráfico ou na equação.

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|--|---|
| 65. P: vou precisar de dez calorias... e se eu fizer duas coisas ao mesmo tempo ((<i>apaga lousa</i>))... se eu falar assim olha... eu tenho <i>cinco gramas de água pra aumentar dez graus</i> ((<i>alunos comentam enquanto P escreve na lousa</i>))... se eu fornecer <u>dez calorias</u> ((<i>A: cinqüenta</i>))... eu aumento <u>dez graus</u> ... mais eu aumento <u>só em um grama</u> | <u>Escreve</u> -- 5g -- 10°C <u>Aponta valores na lousa</u> |
| 66. A2: por quê? | |
| 67. porque para cada grau precisa uma caloria... e pra cada grama precisa uma também... então vai precisar de cinco vezes dez... cinqüenta calorias ... né | Completa valores 50 cal -- 5g -- 10°C |
| 68. A: ((<i>Inaudível</i>)) | |
| 69. P: no caso da água sim porque é <u>uma caloria</u> | <u>Aponta valores na lousa</u> |
| 70. <u>A</u> : a sim | |

Continuando a mostrar como usar a equação fundamental da calorimetria, a professora começa a trabalhar todas as variáveis ao mesmo tempo (T.65 e T.67). A escrita e os gestos *cooperam* para indicar os valores calculados e a relação (*topológica*) entre as variáveis.

Nesse ponto, a ela tem mais liberdade para trabalhar com os conceitos científicos matematizados uma vez que houve um processo de tradução da linguagem natural para a linguagem formal-matemática da física. Isso acontece, também, devido à integração dos significados *tipológicos* e *topológicos* que ocorreu com o desenvolvimento da linguagem aritmética; assim, é possível construir significados matemáticos sem a necessidade de voltar, a cada instante, a usar a linguagem gráfica, podendo referir-se diretamente ao fenômeno através das equações.

Construindo a habilidade estruturante da matemática nas aulas de física: o exemplo do álcool

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|--|--|
| 71. P: se fosse outro material... se for álcool ... se eu tiver dois gramas não vai mais ser zero seis... vai ser <u>dois vezes zero seis</u> ... certo pro álcool | Escreve 0,6cal -- 1g -- °C |
| 72. A: e pra aumentar um grau? | <u>Completa</u> 2 x 0,6cal -- 1g -- °C |
| 73. P: um grama... um grau? ((<i>alunos comentam</i>))... pra dois graus <u>aqui</u> ... aí eu multiplico por dois lá de novo... <i>duas do grau e duas do grama</i> ... quatro vezes zero seis | Aponta valores <u>Apaga 1g e escreve 2g e Aponta valores</u> |
| 74. A: aí que vai dar o ((<i>Inaudível</i>)) | 2x2x0,6cal -- <u>2g</u> -- °C |
| 75. P: aí que vai dar o total de caloria que ele precisa | <i>Aponta grau e grama na lousa</i> |
| 76. A: ah... agora eu entendi | Aponta caloria na lousa |

Tendo o álcool como exemplo, a professora continua a trabalhar com a equação fundamental da calorimetria junto com o conceito de calor específico (T.71). Ela usa escrita e gestos que *cooperam* com sua fala para ilustrar como calcular os valores (*topológicos*) a partir da equação. Isso possibilita a construção de uma relação entre as diferentes variáveis em quantidades diferentes da unitária, em que o estudante A (que vem participando das discussões) se sente gratificado por acompanhar o raciocínio científico da professora (T.74 e T.76).

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|--|--|
| 77. P: na verdade o que a gente fez é isso aqui ... quantos <u>gramas</u> a gente precisa... <u>o calor específico que é zero seis</u> ... e quanto a <u>temperatura aumentou</u> ... que é quantos graus ela aumentou | Aponta para $Q=m.c.\Delta\theta$ <u>Escreve unidades logo acima das incógnitas da equação</u> |
| 78. A: ((<i>Inaudível</i>)) | |
| 79. P: <i>a massa são os gramas... vezes o calor específico que é do material... vezes quanto a temperatura aumentou</i> ((<i>alunos comentam</i>))... ((73'51'')) a fórmula... ela representa numa linguagem simbólica ... matemática o que a gente pensa e o que a gente tira de resultado experimental ... daí que vem a fórmula na física ... então a física vai usar a fórmula como uma outra linguagem ... tudo o que a gente falou <u>aqui</u> ... tá aqui ... se eu fizer um grama vezes um... vezes dez... | <i>Aponta a fórmula ponto por ponto</i> Aponta gráfico <u>Valores calculados na lousa</u> Fórmula |

A partir dos cálculos feitos com base nos calores específicos da tabela, a professora pôde, no turno 77, sistematizar a equação fundamental da calorimetria. Dessa forma, gesto e escrita *especializam* sua fala ao mostrar como os cálculos feitos a partir dos calores específicos estão relacionados (*topologicamente*) à equação (T.77 e T.79). Ela enfatiza isso no turno 79, atendendo a requisição de um aluno.

Essa *estruturação matemática* que é a equação construída com os conceitos físicos desenvolvidos, proporcionou um *link* entre experiência e matemática, criando meios para a visualização na fórmula não só do aquecimento da água, mas também de outras substâncias, constituindo, dessa maneira, uma generalização do laboratório aberto. Mais uma vez, isso foi possível devido à tradução que a professora desenvolveu da linguagem fenomenológica para a linguagem formal-matemática, utilizando-se dos recursos *topológicos* advindos das linguagens

gestual, gráfica e aritmética, que deixaram claras as variáveis importantes e suas relações.

Formalizando habilidade estruturante da matemática nas aulas de física

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|--|--|
| 80. A: professora... então tudo é transformado em fórmula... na física? | |
| 81. P: você transforma o seu resultado numa fórmula... porque a fórmula é geral... se viu que aqui eu falei... agora eu vou mudar... e se for <u>zero seis</u> e se for zero onze... veja bem... para cada vez.... eu escrevo numa fórmula.... vale para qualquer um... <i>é só ir mudando ((Inaudível))... mudando a massa</i> | Aponta cálculos Aponta lousa |
| 82. A: (a gente pensa do mesmo jeito) | |
| 83. P: pensa do mesmo jeito... tá certo? | |
| 84. A: ohh... | |
| ((75' P começa a passar trabalho para alunos fala sobre fornecimento e perda de energia)) | Aponta fórmula |

No turno 80, um aluno questiona se a Física é construída apenas com fórmulas. A docente, no turno seguinte, enfatiza que a relação não é tão simples, que a equação construída generaliza os resultados da experiência (*estrutura o conhecimento físico*) para outras situações na medida em que ela constrói uma relação (*topológica*) entre variáveis. Os gestos usados pela professora *especializam* sua fala para explicar esses conhecimentos já que enfatizam os recursos *topológicos* das linguagens usadas para interpretar o aquecimento ou resfriamento dos materiais.

| Linguagem Oral / Ações | Visual / Escrita |
|---|---|
| 85. P: ah... uma coisa só antes de eu escrever... que agora eu lembrei... o que a gente fez pra aquecer.... vale pra esfriar... né... aumentar e diminuir temperatura é questão de ganhar ou tirar energia... aumentar agitação... diminuir agitação... então se eu vou fornecer energia para aumentar temperatura... eu vou perder energia para diminuir temperatura... vale do mesmo jeito... tá certo? ((Alunos comentam enquanto P escreve na lousa 75")) ((No resto da aula os alunos trabalham sobre um texto)) | “Representamos a quantidade de energia na forma de calor que um corpo recebe ou perde por Q , a massa do corpo por m e o calor específico por c . A variação de temperatura $\Delta\theta$ que o corpo sofre nessas condições, corresponde a quantos $^{\circ}\text{C}$ a temperatura aumenta ou diminui e é dada por $\Delta\theta = \theta_{\text{depois}} - \theta_{\text{antes}}$. Desse modo, podemos escrever: $Q = m.c.\Delta\theta$ conhecida como equação fundamental da calorimetria” |

Nesse último turno, a professora enfatiza que a conclusão válida para o aquecimento das diferentes substâncias vale para o esfriamento, e que isso está relacionado à perda e ganho de energia térmica (relacionada à agitação das moléculas). Apesar de ela trabalhar sumariamente com os resfriamentos, nas aulas posteriores, esses conceitos foram trabalhados através de problemas.

Por fim, ela usa a escrita para sistematizar/*estruturar* os resultados construídos ao longo das últimas aulas. Nota-se que ela tem uma preocupação em traduzir a linguagem formal da Física (carregada de significados *topológicos* por envolver co-variações) para a linguagem fenomenológica.

Considerações finais

Na tabela a seguir encontra-se um resumo da aula analisada:

| Evento 3.4 | Cooperação | | Especialização | |
|---|--------------------------------------|--|--|--|
| | <i>Tipológico</i> | <i>Topológico</i> | <i>Tipológico</i> | <i>Topológico</i> |
| <i>Dedução da Equação Fundamental da Calorimetria</i> | Escrita e desenho definem “c” (T.35) | Gráfico apóia leitura da equação (T.29) Escrita e gestos mostram a relação entre as variáveis (T.44) Escrita mostra a relação entre variáveis (T.48/50/63) Escrita e gestos indicam valores e suas relações (T.65/67) Escrita e gestos mostram como fazer os cálculos (T.71/73/75) | P aponta para termo novo (“c”) (T.33) Escrita e gesto definem as unidades de “c” (T.35) | Escrita matemática dos conceitos físicos (T.29) Tabela ajuda a entender o que é o calor específico (T.35) Reta define região de atuação da equação (T.44) Esquema mostra de forma mais precisa o que é calor específico (T.63) Gestos e escrita relacionam cálculos à equação fundamental (T.77/79) Gestos indicam como fórmula generaliza os resultados (T.81) |

Tabela 1: Generalizando a equação: estruturando matematicamente o aquecimento e resfriamento das substâncias

Nesse evento, a professora trabalhou a escrita matemática junto com os conceitos envolvidos na equação fundamental da calorimetria, o que possibilitou uma generalização do fenômeno estudado durante todo laboratório aberto (aquecimento da água) para outras situações.

É interessante notar que a característica híbrida (*tipológica* e *topológica*) da escrita matemática, que é uma peculiaridade da matemática na ciência, foi bastante desenvolvida, não ocorrendo uma manipulação mecânica dos símbolos matemáticos quando a docente utilizava as linguagens oral, escrita, gestual, gráfica e aritmética junto com seus recursos para construir uma

ponte entre o fenômeno e essa escrita específica. Logo, ao mesmo tempo em que ela define calor específico (T.35), que é um termo preciso (constituindo uma categoria *tipológica*); ela mostra como esse conceito relaciona variáveis de forma *topológica* (T.35, T.44, T. 48, T.63 etc). Observamos assim, o processo de *estruturação matemática dos conceitos físicos*.

A *cooperação* da escrita com as linguagens oral, gestual, gráfica e aritmética foi fundamental para que fosse enfatizada a relação entre a equação e os fenômenos de aquecimento dos materiais (T.44, T.48, T.50, T.63 etc), ou seja, destacando os significados *topológicos* do fenômeno.

Já a *especialização* dos significados foi importante para relacionar a *topologia* dos fenômenos de aquecimento à escrita mista entre *tipológico* e *topológico* da matemática e da física (T.29, T.35, T.44, T.63, T.77, T.79 e T.81) tal como ocorre na ciência. Isso também possibilitou uma tradução da linguagem fenomenológica e da gráfica para a linguagem algébrica, possibilitando o desenvolvimento da *habilidade estruturante*. Somando a essa linguagem algébrica os conceitos de calor, massa e calor específico, foi possível ainda, desenvolver uma mais completa *estruturação matemática dos conceitos físicos*, o que está de acordo com a natureza dos conhecimentos da Física.

Finalizando, a partir das linguagens e recursos usados pela professora para relacionar fenômenos e escrita científica, foi possível criar um *link* entre o fenômeno de aquecimento e a equação fundamental da calorimetria, possibilitando a *estruturação matemática* dos resultados do laboratório aberto. Assim, a partir do desenvolvimento linguagem algébrica, criou-se condições para enxergar qualquer aquecimento e resfriamento de forma similar à que os cientistas olham para suas equações no laboratório.

Referências Bibliográficas

- CAPECCHI, M.C.V.M e CARVALHO, A.M.P. Atividade de laboratório como instrumento para a abordagem de aspectos da cultura científica em sala de aula. Pro-Posições, v.17, n.1(49) – jan./abr. 2006.
- CARMO3, A.B. *A Linguagem Matemática em uma Aula Experimental de Física*. Dissertação (Mestrado). Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2006.
- CARMO, Alex Bellucco do; CARVALHO, A. M. P. Construindo a Linguagem Gráfica em Uma Aula Experimental. Ciência e Educação (UNESP), v. 15, p. 61-84, 2009a.
- CARMO, Alex Bellucco do; CARVALHO, A. M. P. Construindo linguagem matemática em uma aula de física. In: Silvania Sousa do Nascimento; Christian Plantin. (Org.). Argumentação e Ensino de Ciências. 1 ed. Curitiba: Editora CRV, 2009b, v. 1, p. 93-117.
- 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.
- KARAM, R.; PIETROCOLA, M. Habilidades técnicas versus habilidades estruturantes: resolução de problemas e o papel da matemática como estruturante do pensamento científico. Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v.2, n.2, p.181-205, 2009.

- KLÜSENER, R. Ler, escrever e compreender a matemática, ao invés de tropeçar nos símbolos. In: NEVES, I. C. B.; SOUZA, J. V.; SCHÄFFER, N. O. et. al. (orgs). **Ler e escrever: compromisso de todas as áreas**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. p.175-89.
- 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 Veal, 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, 1998b. 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.
- PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Brasileiro do Ensino de Física**, v.17, n.1, p.93-114, 2002.
- PIETROCOLA, M. A matemática como linguagem estruturante do pensamento físico. In: Anna Maria Pessoa de Carvalho (Org.). *Ensino de Física*. São Paulo: Cengage Learning, v.1, p.79-105, 2010.
- 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.