



Ambiente de aprendizagem de Física mediado por animações

A Physics learning environment mediated by animations

Adelson Fernandes Moreira

Programa de Mestrado em Educação Tecnológica
CEFET-MG

adelson@deii.cefetmg.br

Oto Borges

Colégio Técnico e Programa de Pós-graduação em Educação
Universidade Federal de Minas Gerais

oto@coltec.ufmg.br

Resumo

Os resultados apresentados neste artigo foram produzidos em uma pesquisa que focalizou os modos de interpretação de estudantes em atividades envolvendo representações de modelos conceituais. Guiados por uma perspectiva etnometodológica, fizemos uma abordagem descritiva de uma sala de aula de Física. Produzimos evidências do caráter distribuído da cognição, retratadas nos diálogos entre alunos e professor em situações envolvendo interpretação de animações na tela do computador. Mostramos que a possibilidade de operar sobre uma representação favorece a elaboração e interpretação de modelos conceituais. Nesse processo em que ocorre a distribuição da cognição, a participação do professor é fundamental para a negociação dos significados e compreensão dos conceitos.

Palavras chave: modelos conceituais, etnometodologia, animações, cognição situada, cognição distribuída, ambientes de aprendizagem

Abstract

The results presented in this paper were produced in a research aimed at the way that students interpret representations of conceptual models. Guided by an ethnomethodological perspective, a descriptive approach to 'physics' classroom was carried out. Evidences of the distributed character of cognition were produced in dialogues between students and teacher in episodes involving computer animations. It was showed that operating a representation favors

elaborating and interpreting conceptual models. The teacher's mediation is a fundamental aspect in this process, affording the distribution of cognition realized by the meanings negotiation and the concepts comprehension.

Key words: conceptual models, ethnomethodology, animations, situated cognition, distributed cognition, learning environment

Introdução

Em que condições formas múltiplas de representação podem dar suporte à aprendizagem? Como os alunos interpretam representações em ambientes de aprendizagem com multimídia? Que diferencial esses ambientes proporcionam para favorecer a interpretação e elaboração de modelos conceituais pelos alunos? Nesse artigo apresentamos resultados que dialogam com trabalhos que procuram responder a questões dessa natureza.

A investigação foi desenvolvida procurando captar o movimento real da sala de aula. Pressupomos o caráter situado (CLANCEY, 1997) e distribuído (SALOMON, 1997; PEA, 1997) da cognição. Guiados por uma perspectiva etnometodológica (COULON, 1995; HOLSTEIN & GUBRIUM, 1994) fizemos uma abordagem descritiva de uma sala de aula de Física. A interação entre estudantes, trabalhando em dupla, e destes com o professor, mediada por animações no computador, foi selecionada para discussão e análise.

Ambientes de aprendizagem com multimídia

Multimídia pode ser conceituada como uma combinação de múltiplos recursos técnicos com o propósito de apresentar a informação representada em múltiplos formatos através de múltiplas modalidades sensoriais (SCHNOTZ e LOWE, 2003). Segundo esses autores, é um equívoco pressupor que ambientes de aprendizagem ricos em multimídia resultam em um processamento cognitivo extensivo e na criação de estruturas de conhecimento elaboradas. Esse equívoco conduz ao procedimento de se explorar ao máximo as possibilidades das tecnologias de informação mais recentes criando ambientes com múltiplas formas de representação, endereçadas a uma variedade de diferentes modalidades sensoriais. Representações externas com múltiplas formas de apresentação nem sempre são benéficas para a aprendizagem. Assumir esse ponto de partida implica em entender melhor o processo de interpretar cada forma de representação e sua função em um determinado ambiente.

Schnotz e Lowe afirmam ainda que ambientes de aprendizagem, com multimídia, envolvem complexas interações entre representações internas e representações externas. As representações externas são proporcionadas por tecnologias educacionais cada vez mais sofisticadas. As representações internas são aquelas mentais construídas pelos aprendizes. A efetividade potencial de ambientes de aprendizagem com multimídia dependeria, portanto, da extensão com que o planejamento e a organização desses ambientes levem em conta tais interações complexas.

Ao discutir o papel das animações em um ambiente de aprendizagem, Lowe (2003) destaca que um aspecto que diferencia essencialmente um gráfico dinâmico de um gráfico estático é que o primeiro torna mais fácil a visualização da mudança temporal. Entretanto, essa característica não favorece necessariamente a aprendizagem e pode resultar em uma sobrecarga cognitiva para o aprendiz, ao desenvolver uma tarefa envolvendo animações no computador. Analisando a interação de estudantes com mapas meteorológicos animados, Lowe observou que alguns aspectos perceptualmente relevantes atuaram como distratores de outros elementos

perceptualmente sutis e bastante importantes na previsão da evolução do mapa meteorológico. É importante, portanto, estar atento à possível não coincidência entre relevância temática e saliência perceptual. Lowe afirma ainda que a possibilidade dos estudantes operarem sobre o mapa 'para frente' e 'para trás', no tempo, favoreceu a realização de previsões mais precisas. No entanto, esse aspecto foi pouco explorado em seu trabalho.

Resultados de uma pesquisa desenvolvida por Lewalter (2003) questionam o pressuposto de uma possível superioridade das animações em relação às figuras estáticas. Estudantes exibiram estratégias de controle da tarefa um maior número de vezes no ambiente, em que figuras estáticas foram combinadas ao texto do que no ambiente com animações, ao interpretarem um texto sobre interferência do campo gravitacional na luz irradiada por uma estrela. Os alunos não se valem de toda a informação apresentada nas ilustrações. Lewalter argumenta que figuras estáticas e animações não são mediações simples. Elas confrontam os estudantes com problemas específicos de interpretação.

Citando pesquisa de Mayer e Gallini (1990), Lewalter acrescenta que os estudantes têm dificuldade em identificar a informação relevante presente na ilustração. Esse aspecto converge com a não necessária concordância entre saliência perceptual e relevância temática dos diferentes elementos que compõem uma ilustração, mostrada em Lowe (2003). No ambiente com representações estáticas, os alunos tiveram mais controle do processo, regulando a velocidade de sua aprendizagem e, por isso, exibiram mais vezes estratégias de planejamento e regulação.

No ensino de Química, Kozma (2003) explora o aspecto material das representações como oportunidades para a ação (*affordances*) social e cognitiva na produção e entendimento de conhecimento científico. Constatou que químicos profissionais são capazes de fazer conexões entre múltiplas representações e coordenar aspectos dessas representações para sustentar seu discurso sobre entidades e processos subjacentes, que não podem ser percebidos. Tal resultado foi também obtido por Roth *et al* (1999) em uma investigação envolvendo a interpretação de gráficos por biólogos.

Observando estudantes em um laboratório didático, Kozma destaca que estes se detêm primariamente nos aspectos físicos do experimento: as substâncias utilizadas, equipamentos e procedimentos. Nomeia tal procedimento dos estudantes como "*foco em aspectos de superfície do fenômeno químico*" (KOZMA, 2003:215). Quando os estudantes desenvolveram uma tarefa sobre o mesmo objeto de estudo, agora em um ambiente com computadores, a oportunidade de agir sobre a representação possibilitou discutir conceitos químicos tais como arranjo, forma e estrutura de um composto. Em comparação com a atividade desenvolvida no laboratório didático, o discurso dos estudantes estava mais próximo do discurso do químico especialista, embora menos sofisticado. Contudo, nesse ambiente com simulações não foi possível observar uma conexão desse discurso 'mais científico' com as situações vividas no laboratório didático. O composto cuja estrutura estava representada na tela do computador foi sintetizado pelos alunos no laboratório. Embora articulados na seqüência de atividades, essa articulação não apareceu expressa nas falas dos alunos em nenhum momento. Os estudantes não conseguiram coordenar as diferentes representações de um mesmo objeto ou as representações e o fenômeno representado. Portanto, é um desafio ajudar os estudantes a produzirem tais ligações, de modo que o uso de múltiplas representações dê suporte ao entendimento científico.

A pesquisa desenvolvida por Kozma (2003) tomou como pressuposto o caráter situado da aprendizagem e da construção de conhecimento. Kozma afirma que, em um estudo experimental controlado, os indivíduos são investigados de forma isolada. Os aspectos físicos e sociais dos ambientes, nos quais as ações desses indivíduos efetivamente ocorrem, não são

passíveis de serem reproduzidos. Uma investigação de cunho naturalista, por sua vez, busca resultados em estreita proximidade com as práticas dos indivíduos e os contextos nos quais elas se concretizam.

Alguns pressupostos comuns às investigações apresentadas nessa seção foram, igualmente, nossos pontos de partida. Adotamos uma perspectiva de pesquisa centrada no aprendiz e não nas mediações em si mesmas como sugeriu Mayer (2003). Focalizamos o uso que os alunos fazem delas em um ambiente de aprendizagem com animações no computador. Reconhecemos os limites de ambientes estruturados com múltiplas representações. Exploramos o caráter externo das representações, compreendidas como modelos conceituais.

Modelos conceituais são elaborados por investigadores, profissionais da área de engenharia, arquitetos, professores para facilitar a compreensão ou ensino de sistemas e fenômenos físicos (MOREIRA, GRECA e PALMERO, 2002). Citando o trabalho de Norman (1983), Moreira, Greca e Palmeiro acrescentam que os modelos conceituais são projetados como ferramentas para o entendimento e/ou para o ensino de sistemas físicos. Destacamos nessa conceituação a caracterização dos modelos conceituais

“(...) como representações externas, compartilhadas por uma determinada comunidade e consistentes com o conhecimento científico que essa comunidade possui. Estas representações externas podem materializar-se em forma de formulações matemáticas, verbais ou pictóricas, de analogias ou de artefatos materiais” (MOREIRA, GRECA e PALMERO, 2002:44).

O caráter distribuído da cognição

Um ambiente de aprendizagem, no contexto da educação escolar, pressupõe a existência de uma estrutura que congrega diferentes fontes, por exemplo: livros, computador e programas, materiais experimentais, lápis e papel. Essas fontes são dispostas de uma forma mais ou menos estruturada juntamente com orientações para o desenvolvimento de atividades. Professores e estudantes podem ser considerados como fontes humanas de interação nesse meio. O estudante comparece nesse ambiente com sua estrutura cognitiva, que deve ser interpretada em sentido amplo, isto é, como uma estrutura encarnada em que aprender significa uma ação de corpo inteiro. Podemos interpretar a ação do aprendiz como uma interação entre uma estrutura complexa, o corpo que conhece, e um meio pretensamente estruturado com certos objetivos (MOREIRA, 2003).

A discussão sobre a natureza distribuída da cognição levou Salomon (1997) a propor a seguinte questão: Onde a cognição ocorre? A resposta a essa pergunta deve partir de uma visão que considere simultaneamente o que ocorre na mente do indivíduo e as influências do meio e dos artefatos culturais à sua volta. Admitir a existência de uma cognição distribuída implica reconhecer a existência de várias fontes para essa distribuição, de modo que essas fontes possam operar conjuntamente. Significa também perceber que essas fontes evoluem a cada trabalho conjunto subsequente, isto é, os parceiros, ao trabalharem juntos, tornam-se cada vez mais capazes de enfrentar e superar novos problemas.

‘Cognição distribuída’, segundo Salomon, não tem um lugar único ‘dentro’ do indivíduo. Em vez disso, ela está estendida para além do indivíduo, está ‘entre’, e é realizada conjuntamente em um sistema que congrega um determinado indivíduo e seus pares, professores, ou ferramentas dadas pela cultura, como o computador. Embora os diferentes casos de cognição distribuída não tenham a mesma natureza, todos compartilham de uma importante qualidade: a parceria intelectual, isto é, o caráter distribuído da cognição entre os indivíduos ou entre estes e os artefatos culturais, resultando em um único produto, que não pode ser atribuído a

nenhum parceiro em particular. Nessa perspectiva, a inteligência não seria uma qualidade apenas da mente, mas um produto da relação entre estruturas mentais e as ferramentas do intelecto dadas pela cultura.

A concepção apresentada por Salomon baseia-se na idéia de interação entre cognição individual e cognição socialmente, tecnologicamente distribuída, que se desenvolvem espiral e reciprocamente. O sujeito deve dispor das competências necessárias para otimizar os recursos e parcerias a sua disposição na realização de uma tarefa, mas esse processo deve ser balizado pela constituição de competências também não distribuídas que permitam ao sujeito uma conduta autônoma, em situações nas quais não possa contar com a mesma quantidade de recursos e parcerias. Trata-se, portanto, de buscar um equilíbrio entre a ênfase no que se consegue fazer numa situação de cognição distribuída e os efeitos dessa distribuição na formação de competências individuais.

Na medida em que o caráter distribuído da cognição pode ser reconhecido por um observador externo à interação, constitui-se uma nova totalidade congregando o aprendiz e o meio. Essa configuração é tal que nas realizações dessa nova unidade não é possível especificar a contribuição de cada componente de forma isolada ou independente da contribuição do outro e das relações que caracterizam a unidade como uma nova organização: aprendiz-agindo-no-ambiente-de-aprendizagem. Uma vez que tal unidade se constitua e ganhe estabilidade, ela inicia sua própria história de mudanças estruturais, podendo realizar ações cada vez mais complexas e com maior autonomia (MOREIRA, 2003).

Perspectiva metodológica: etnometodologia

O levantamento e registro dos dados, referenciado em Coulon (1995) e Holstein e Gubrium (1994), objetivou dar elementos para descrever e analisar o raciocínio prático, a ação conjunta de alunos e professor, buscando tornar estável seu espaço de trabalho, de aprendizagem e de trocas. Buscamos desvelar e compreender como os sujeitos pesquisados se valem de sua capacidade de interpretar, com a colaboração dos outros participantes de uma interação, para agrupar e mostrar, localmente, um senso de ordem e compreensão da ação em curso.

Cada sala de aula tem componentes que, embora condicionados por estruturas mais amplas, presentes dentro e fora da escola, se realizam de modo único, não totalmente previsível, através do trabalho interpretativo dos sujeitos que nela atuam. Na perspectiva da etnometodologia, isto implica em duas propriedades essenciais do significado: ele é indicial, dependente do contexto e reflexivo, uma vez que contexto e procedimentos de interpretação se constituem mutuamente.

Ao discutir a reflexividade e a indicialidade da produção de significados em uma interação, Coulon (1995) destaca a importância do vídeo no trabalho etnometodológico de campo. Os documentos em vídeo permitem captar essa dimensão indicial, ajudando a revelar o implícito das interações. O material empírico discutido nesse artigo compôs-se de registros em áudio e em vídeo das interações de uma dupla de alunos interpretando animações sobre o movimento circular uniforme, no computador. Proporcionamos aos alunos situações de interpretação de representações em diferentes ambientes. Em cada um deles um tipo de mediação era o elemento de destaque: experimentos didáticos, livro didático e animações no computador.

Utilizamos o software *Modellus*¹. Suas animações contêm representações dinâmicas, de qualidade, que evoluem no tempo, podendo ser ‘rodadas’ recursivamente com passos de tempo diferenciados, o que permite analisar, passo a passo, a evolução da representação de um modelo. Em uma mesma tela, é possível coordenar diferentes representações de um mesmo fenômeno: estroboscópica, gráfica e vetorial. As animações, já disponibilizadas pela versão do programa a que tivemos acesso, eram mais apropriadas para trabalhar os conceitos de cinemática e dinâmica. Trabalhamos com o *Modellus* para produzir animações de modelos conceituais, objetivando explorar o caráter externo de uma representação como objeto dotado de movimento e manipulável na tela do computador.

A abordagem descritiva proposta pela etnometodologia se concretizou na elaboração de narrativas a partir das observações dos vídeos. O objetivo da produção de narrativas foi captar, de forma descritiva, a inteireza do vivenciado por alunos e professor. Uma narrativa permite captar os eventos e fenômenos de tal maneira que eles podem ser trazidos para bem perto, em oposição ao distante e abstrato ‘lá fora’. Os aspectos sociais e contextuais compõem significativamente a sala de aula, e são justamente esses aspectos que os métodos de pesquisa narrativa capturam tão bem. A narrativa permite capturar a variabilidade das situações vividas em meio ao fluxo constante da sala de aula (GUDMUNSDOTTIR, 1997).

As narrativas foram, portanto, utilizadas como um instrumento de pesquisa etnometodológico e se constituíram em dados de segunda ordem. A reflexão sobre elas e a consulta sistemática aos registros em vídeo levaram à delimitação de episódios e produção das evidências, apresentadas a seguir.

Resultados

No ambiente com animações no computador, objeto de discussão do presente artigo, foram produzidas evidências:

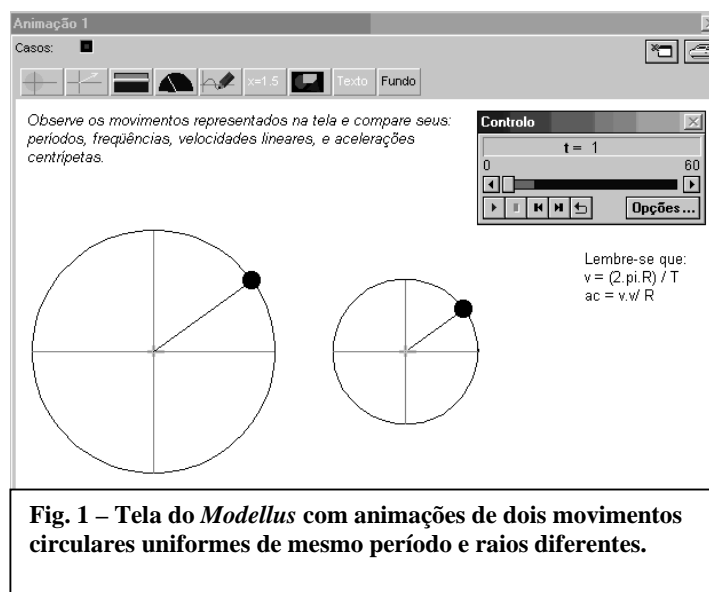
- i) do caráter distribuído da cognição;
- ii) de que a possibilidade de operar sobre uma representação favorece a elaboração e interpretação de modelos conceituais.
- iii) da importância da mediação do professor na negociação de significados e compreensão dos conceitos.

Transcrevemos um episódio, no qual uma dupla de alunos, Evandro e Mário², interpretaram duas animações simultâneas de movimentos circulares com raios diferentes (fig.1). Para facilitar a descrição, o movimento, com maior raio, será designado pelo número 1, e o de menor raio, pelo 2, notação utilizada pelos alunos. Esses foram solicitados a comparar as seguintes grandezas de cada movimento: período (T), frequência (f), velocidade linear (**v**), e aceleração centrípeta (**ac**). As equações para o cálculo dos valores de **v** e **ac** estavam escritas na tela. O episódio está dividido em seqüências. Cada uma contribui com um aspecto importante da análise que é apresentado e discutido em seguida.

¹ O programa *Modellus, Interactive Modelling with Mathematics*, pode ser usado, livremente, sem custo, para qualquer propósito educacional. Seu desenvolvimento é suportado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. A difusão do programa é apoiada pelo Departamento de Ensino Secundário e pela Fundação para a Divulgação das Tecnologias da Informação. Encontra-se disponível para *download* no site

<<http://www.phoenix.sce.fct.unlpt/modellus>>.

² Nomes fictícios.



Seqüência 1

1. Mário: *Observe os movimentos representados na tela e compare seus períodos, frequências, velocidades lineares e acelerações centrípetas...* (Lê em voz alta o enunciado da tarefa proposta na tela e pede a Evandro que acione a animação.)

Observam a animação por alguns instantes...

2. Evandro: *São as mesmas.*
3. Mário: *Ahn, Ahn..*(Com entonação de negativa.)
4. Evandro: *São as mesmas.*

Observam a tela por mais alguns instantes.

5. Mário: *A velocidade desse aqui é maior (Aponta para o movimento 1 na tela). Tá vendo?... Eles pra percorrer...Sab..Olha! Porque que a velocidade desse aqui é maior. Aqui ó.. eles estão percorrendo no mesmo intervalo de tempo a mesma volta né?* (Percorre com os dedos a trajetória de 1 e, em seguida, aponta com o dedo a posição em que 2 completaria uma volta.)
6. Evandro: *É.*
7. Mário: *Pan...Eles vão terminar...aqui ó. Eles vão terminar..*(Faz uma pausa esperando as animações completarem uma volta.)...*Pan... Viu? Só que esse aqui (acompanhando com o dedo a trajetória de 2) percorre mennnnnos! Esse aqui (refazendo com o dedo a trajetória de 1) percorre muito mais! Não é?*
8. Evandro: *O período do de cá (apontando para 2) é menor.*
9. Mário: *A velocidade desse aqui (apontando para o movimento 1) é maior. Não é?*
10. Evandro: *Logo.... as velocidades...*

11. Mário: *Observe os movimentos representados na tela e compare os seus períodos (relê o enunciado)...O que que é período? É o tempo que ele gasta...para dar uma volta, não é? Então os períodos são iguais.*

Enquanto Mário retoma a definição de período, Evandro acompanha explicação do colega fazendo movimentos afirmativos com a cabeça.

Análise da seqüência 1: O que é igual, o que é diferente?

A dupla observou atentamente a evolução dos dois movimentos circulares na tela. Para Evandro, o que se destaca é uma igualdade entre os movimentos, expressa no enunciado 'são as mesmas' (linhas 2 e 4). Nesse ponto, não é possível inferir o que ele percebe como invariante. Mário, por sua vez, já explicita a diferença entre as velocidades dos movimentos. Discorda do enunciado de Evandro, supondo que ele tivesse afirmado a igualdade das velocidades. Esse primeiro debate entre os dois é todo desenvolvido com a animação em movimento. Enquanto expõe seu argumento, Mário percorre a tela com o dedo acompanhando a animação. Evandro acompanha atentamente o argumento do colega. Não explicita o que é igual para ele. Associa período, na linha 8, a comprimento de uma volta ou a velocidade. Contudo, ao longo da atividade, na medida em que dialoga com Mário, vai categorizando sua percepção inicial da tela, estabelecendo igualdades e diferenças. É o que será mostrado nas seqüências seguintes.

Seqüência 2

A dupla mede o período utilizando a janela de controle, isto é, parando as animações no instante em que as bolas completam uma volta e medindo o tempo registrado no cronômetro: 10s. Constatam numericamente a igualdade dos períodos e passam à comparação das frequências dos movimentos. Mário propõe que a animação seja interrompida no instante 1s. Evandro executa o procedimento e os alunos se deparam com uma imagem na qual as bolas 'varreram' o mesmo ângulo, porém ao longo de arcos de comprimentos diferentes (fig.1).

12. Mário: *É. 10 segundos.... Agora...frequência.*
13. Evandro: *Frequência é o inverso do período. Se o período é 10, uma volta a cada 10 segundos...*
14. Mário: *Qual.. O que que dá em 10 segundos? Tem que ter um...*
15. Evandro: *O quê?*
16. Mário: *O tanto que eles vão andar...*

Análise da seqüência 2: argumento algébrico x medida de ângulos iguais correspondentes a arcos de comprimentos diferentes.

Esse trecho expressa as posições de Evandro e Mário na tarefa de comparar as frequências. Evandro trabalha a relação entre período e frequência e com um argumento algébrico afirmará a igualdade dos períodos e frequências respectivas. Mário, ao querer expressar '*O tanto que eles vão andar...*' (linha 16), mostra o objetivo de fazer uma medida a partir das imagens na tela. Nas transcrições seguintes, mostramos que, ao buscar um valor para frequência, Mário quer sustentar a compreensão de que as frequências são diferentes.

Seqüência 3

Após um período de impasse, a dupla chega a um acordo sobre o que estava sendo solicitado: comparar as grandezas sem que fosse preciso fazer medidas e cálculos. Essa era a compreensão inicial de Evandro.

17. *Mário: Só isso?...Vou consertar aqui* (referindo-se à folha de respostas)...*Circular 1... Circular 2... Iguais* (referindo-se à primeira linha da coluna relativa aos períodos) *I..guais... Freqüência...*
18. *Evandro: Iguais. A freqüência é igual.*
19. *Mário: Não, vai ser ... a 1 vai ser maior. Freqüência...*
20. *Evandro: Não.*
21. *Mário: Vai ser sim sô..*
22. *Evandro: Não... Sendo que a freqüência é o inverso do período.*
23. *Mário: Ahn?*
24. *Evandro: Se a freqüência é o inverso do período... os dois... se tendo o mes... o mesmo período... vai ter a mesma freqüência.*
25. *Mário: Mas...*
26. *Evandro: Mas o quê?*
27. *Mário: Qué vê? O que que é o período?*
28. *Evandro: O período é o tempo que ele gasta para dar uma volta.*
29. *Mário: Os dois gastaram o mesmo tempo para dar uma volta.*
30. *Evandro: O mesmo tempo para dar uma volta.*(falando quase ao mesmo tempo que Mário.)
31. *Mário: Agora, manja uma coisa.*
32. *Evandro: O que que é freqüência?... É o inverso do período.*
33. *Mário: É o tanto que eles andam em '1s'.*
34. *Evandro: Eles andaram a mesma coisa.*
35. *Mário: Agora manja... isso aqui* (percorrendo com o dedo o arco descrito em 1s no movimento 1) *é muito mais do que isso* (fazendo o mesmo para o arco do movimento 2). *É o dobro. Não é? Agora fala... onde foi que eu errei? Onde eu errei?* (fala a segunda vez cantando, com ar de vitória)

Evandro acha graça, ri.

36. *Evandro: A freqüência é o inverso do período.*
37. *Mário: Mas eu sei disso... mas eu quero uma forma mais de achar a freqüência...*
38. *Evandro: Quando você fizer o cálculo para os dois vai dar o mesmo resultado.*
39. *Mário: É... mas aí vai ter que fazer separado. Aí são duas para comparar...*
40. *Evandro: Vai dar o mesmo resultado...*
41. *Mário: ...Um maior, outro menor... não é? Cê não concorda comigo não?*
42. *Evandro: Eu tô apostando no igual.*
43. *Mário: Ahn?*
44. *Evandro: Eu tô apostando no igual.*

Análise da Seqüência 3: evolução dos pares

Começamos destacando os enunciados de Evandro. Inicialmente, na Seqüência 1 (linhas 2 e 4), ele identificou uma igualdade entre os movimentos, mas não conseguiu associá-la corretamente com as grandezas envolvidas na descrição dos mesmos. Embora estivesse confundindo frequência e velocidade linear, Mário foi capaz de explicitar a igualdade dos períodos e a diferença entre as velocidades, o que foi compreendido por Evandro com o auxílio das animações, da possibilidade de manipulá-las, de observar, em ritmo lento, a evolução de ambas, completando uma volta ao mesmo tempo, mas percorrendo distâncias diferentes. Uma vez capaz de utilizar as grandezas do modelo para estabelecer igualdades e diferenças entre os movimentos, Evandro deu um salto. Mostrou uma melhor compreensão da natureza da tarefa e, apoiando-se na relação algébrica entre período e frequência, afirmou a igualdade das frequências ainda que não soubesse mostrá-las na tela. Assim como para Mário, para ele também, a diferença no comprimento dos arcos implicava em uma contradição.

Interpretamos toda a elaboração dessa dupla e o crescimento de Evandro como uma evidência da natureza distribuída da cognição. Além de estar para além do aprendiz, articulando em uma única totalidade, o sujeito e diferentes fontes do ambiente - outros interlocutores, artefatos de diferentes tipos como as animações manipuláveis na tela do computador – o caráter distribuído da cognição implica na evolução permanente do conjunto de fontes envolvidas. Na medida em que intensificam o diálogo em torno da tarefa proposta, Evandro e Mário, mediados pelas animações do *Modellus*, conjuntamente, tornam-se mais capazes de detalhar a cinemática do movimento circular, de explorar as animações de formas diferenciadas, de apresentar argumentos mais elaborados, de fazer novas construções. Especificamente, no caso de Mário, a evolução de Evandro implicou em uma discordância que, mediante a intervenção do professor, levou Mário a diferenciar velocidade de frequência.

Seqüência 4

Mário retoma a afirmação de que as frequências são diferentes. Evandro insiste que são iguais. Chega o professor. Evandro repete seu argumento, baseado na relação algébrica entre período e frequência, e o professor afirma que está correto. Mário discorda e chama a discussão para si. O professor retoma a definição de frequência, destaca com a participação dos alunos que, para os movimentos em questão, ela é menor que a unidade. Retoma a definição de período e repete a sua medida na tela, operando a janela de controle e parando a animação no instante em que a bola completa uma volta.

45. Evandro: *Dá '10'*.
46. Professor: *Uma volta,... '10s'. Período, ... 10s. Frequência é o quê?... o inverso do período. Então qual que é a frequência aí? ... '0,1' ... '0,10'*.
47. Mário: *Mas...olha só fessor* (falando junto com o Professor quando este terminava o enunciado anterior). *Mas olha...*
48. Professor: *Ahn..*
49. Mário: *Ele... coloca...*
50. Evandro: *Em '1s'? Quer...*
51. Mário: *É '1s' lá.*

Mário propõe, sem completar o enunciado, que Evandro interrompa a animação no instante 1s, medido pelo cronômetro da tela. É prontamente atendido por Evandro.

-
52. Mário: Põe lá 'Is'.
53. Professor: Tudo bem.
54. Mário: A lá, tá vendo?
55. Professor: Qual que é a dúvida?
56. Mário: Esse espaço que ele percorreu aqui (percorrendo com o dedo o arco descrito no movimento 1) é maior que esse (fazendo o mesmo para o arco descrito no movimento 2).
57. Professor: O espaço é maior... O espaço é maior... Só que tem o seguinte... O período e a frequência vai ser (sic)... O período não depende do...
58. Mário: Do espaço...
59. Professor: Do espaço que ele percorreu. ... do tempo que ele tá levando. Por exemplo, agora vou te perguntar...Aí você, ... é... as velocidades lineares deles são diferentes, ou são iguais?
60. Mário: São diferentes.
61. Professor: Qual que é mais rápido?
62. Mário : É esse aqui (aponta para o movimento 1)... porque...
63. Professor: Ele tá percorrendo...
64. Mário: Um espaço maior...
65. Professor: No mesmo intervalo...
66. Mário: No mesmo tempo que o outro (falando praticamente junto com professor).
67. Professor: Beleza...A velocidade dele é maior (apontando para o movimento 1). Não é isso?
68. Evandro: Isso.
69. Professor: Você me entendeu?
70. Mário: Até aí correto.
71. Professor: Só tem que... o conceito de frequência e período independe... Se ele tá aqui pertinho (fazendo uma pequena circunferência com o dedo indicador) ele tá rodando...aqui...ele tá dando uma volta. Rodando aqui assim...(volta a fazer uma pequena circunferência) ele dá uma volta. Rodando aqui assim ó (fazendo agora uma circunferência de maior raio, mas aproximadamente concêntrica à anterior) ele tá dando uma volta. Do mesmo jeito.
72. Evandro: O importante é dar uma volta.
73. Mário: Ah... é verdade.
74. Professor: Entendeu?
75. Mário: É a mesma coisa que espichar a corda.
76. Professor: É.
77. Mário: Pode botar pequenininha que vai dar uma volta mesma coisa... pode botar grande que vai dar a mesma volta...
78. Professor: A mesma volta.
79. Mário: É isso aí, fessor, muito obrigado.
80. Professor: Entendeu também? (dirigindo-se a Evandro, com satisfação).
81. Evandro: Entendi. É igual a ... aquela lei que o Galileu chegou...Diz que independente do tamanho do barbante...é isso mesmo... isso e isso...agora entendi porque ele falou aquilo. Depois de tantos anos. Tô até emocionado.

Risos. Passam para as comparações seguintes.

Análise da Seqüência 4: sabemos mais do que podemos dizer

Para resolver o impasse em torno da igualdade das freqüências, o professor reforça o argumento da relação algébrica entre freqüência e período, mas esse argumento não é suficiente para Mário. Este mostra que os comprimentos dos arcos são diferentes para sustentar a diferença entre as freqüências. O professor tenta então mostrar que a diferença nos comprimentos dos arcos justifica a diferença de velocidades e, a seu modo, faz ver a Mário que a unidade de medida de freqüência é outra, que a referência para se medir freqüência é a 'volta inteira', que arcos de comprimentos diferentes podem todos corresponder a 'uma volta inteira'. Nem tudo é dito nesse diálogo com o professor, mas os enunciados das linhas 75 e 77 atestam a compreensão de Mário. A fala final de Evandro, na linha 81, parece indicar que nessa discussão algo mais ficou para ele, embora ele não consiga dizê-lo. Ousando um pouco mais na inferência, poderia ser a relação constante entre o perímetro da circunferência e o raio, cuja proposição Evandro atribuiu a Galileu.

Interpretação de representações dinâmicas

Exploramos as animações do *Modellus* como representações dinâmicas e manipuláveis de um modelo físico. O episódio em questão apresenta evidências que sustentam uma hipótese apresentada por Nersessian (1992). As simulações em computador podem ser tomadas como um sistema de ferramentas de quem pensa. São artefatos que podem levar os estudantes a analisar os fenômenos num nível de abstração suficiente para compreender a estrutura genérica dos modelos, podendo então transferir sua compreensão de um problema para outro. Para Nersessian, experiências práticas podem ser complementadas por simulações em computador dos mesmos fenômenos vistos no laboratório, num nível de abstração intermediário, entre o objeto do mundo real e o objeto científico, adequado para as situações de ensino.

As interações de Evandro e Mário evidenciam as animações do *Modellus* como esse sistema de ferramentas para pensar. Em um processo de cognição distribuída, evoluem suas capacidades de compreensão do modelo do movimento circular na medida em que vão diferenciando seus elementos: período, freqüência, velocidade linear. Nessa investigação identificamos diferentes estilos de conduta dos alunos diante das tarefas propostas em cada ambiente. A forma como Evandro e Mário desenvolvem a atividade com o *software* evidencia o ambiente com simulações como esse nível intermediário de abstração entre objetos do mundo real e objeto científico, efetivando uma oportunidade para aprender.

As animações do *Modellus* podem cumprir um papel de objetos *concreto-abstratos* (VEIT e TEODORO, 2002). As animações são concretas na medida em que podem ser manipuladas na tela do computador. São abstratas por representarem idéias ou relações. Ao operarem sobre as representações, Evandro e Mário foram progredindo na compreensão de aspectos do modelo, em um nível maior de generalidade. Entretanto, é preciso salientar que nem todos os alunos apresentaram a mesma desenvoltura e engajamento dessa dupla.

Manipulação de símbolos em equações como objetos concretos

A manipulação das representações pelos alunos criou condições para que a relação entre período e freqüência fosse tratada para além de um rearranjo de símbolos como se esses fossem objetos concretos. Esse tipo de procedimento é destacado por Arons (1983). Arons

afirma que muitas vezes a manipulação de uma fórmula pode representar uma operação concreta, no sentido piagetiano, isto é, os alunos não estão raciocinando algebricamente, estão apenas dispondo os símbolos em padrões com os quais têm familiaridade, tratando-os como objetos concretos. A obtenção da resposta correta pelo aluno nem sempre demonstra o entendimento e domínio do raciocínio envolvido.

Observar na tela a fração de arco de circunferência ‘varrido’ em 1s (fig.2) suscitou questões de interpretação e elaborações que aproximaram os alunos do raciocínio envolvido na relação entre período e frequência, ainda que essa possibilidade não tenha sido completamente explorada. Evandro utilizou corretamente a relação algébrica para sustentar a igualdade das frequências (f) a partir da igualdade dos períodos (T). A imagem na tela suscitou em Mário uma atitude de ir além dessa consequência algébrica, o que possibilitou elaborar melhor a definição de frequência e criar condições para se diferenciar comprimento de um arco e o ângulo que lhe corresponde. O cálculo da frequência através da aplicação direta da relação $f = 1/T$, ilustrada por uma representação estática no livro didático, seria um contexto diferenciado, com menores chances de esse tipo de dúvida aparecer? Essa mesma questão se aplicaria à atividade experimental, uma vez que é difícil ‘parar’ o movimento e, portanto, relacionar intervalo de tempo com o arco de circunferência descrito.

Conclusão

O ambiente estruturado com o *Modellus* sustentou uma discussão entre os alunos que possibilitou elaborar conjuntamente uma melhor compreensão do modelo conceitual do movimento circular uniforme. A possibilidade de manipular a representação contribuiu para esse processo. As animações não têm uma superioridade intrínseca em relação a figuras estáticas, como suporte para a aprendizagem, conforme argumentaram Lewalter (2003) e Lowe (2003). Contudo, as situações retratadas nos diálogos entre Evandro e Mário indicam que se a animação pode ser interrompida, avançada e retrocedida em um passo de tempo controlável pelos alunos, de tal modo que possa ser usada como mediação para descrições e elaboração de argumentos, então ela apresenta um diferencial positivo. Seu caráter externo, como um modelo conceitual, é explorado e se constitui em suporte para a aprendizagem, porém dependente de modo fundamental da atuação do professor.

Nesse contexto, a mediação do professor negociando significados com os estudantes, sustentando a compreensão dos conceitos, é um componente essencial para o desfecho da discussão sobre período, frequência e velocidade linear. Do mesmo modo, a atitude de Mário em buscar um entendimento para além da resposta correta, procurando relacionar a igualdade das frequências com a percepção de outras diferenças na tela foi também um componente essencial do processo. A interação entre professor e estudantes mediada pela animação no computador, com as características já destacadas, compõem a situação apresentada para evidenciar o caráter distribuído da cognição.

A atividade retratada neste artigo fez parte de uma seqüência de ensino que articulou ambientes de aprendizagem com experimentos, livro didático e animações. O eixo dessa articulação foi o da construção paulatina de uma representação através da negociação permanente entre alunos e professor. A seqüência experimentos/livro didático/animações foi bem sucedida. A observação das interações permitiu-nos reforçar a constatação de que articular experimento, construção de um modelo conceitual e interpretação desse modelo animado no computador, cria um contexto que favorece o engajamento e as trocas em sala de aula. Esse resultado está de acordo com princípios propostos por (KOZMA, 2003), seguidos parcialmente na seqüência de ensino investigada:

- Apresentar, pelo menos, um sistema de representações, cujos aspectos correspondam explicitamente a entidades e processos subjacentes ao fenômeno em estudo.
- Criar situações nas quais os alunos utilizem e articulem múltiplas representações em um ambiente de investigação autêntico e colaborativo.
- Engajar os estudantes em atividades colaborativas nas quais eles elaborem representações e coordenem aspectos dessas representações para confirmar e explicar resultados das investigações desenvolvidas por eles.

A forma como os estudantes, ao interpretarem as animações, identificaram igualdades e diferenças, como diferenciaram as grandezas velocidade linear e frequência confirmam a importância de se estar atento às complexas interações entre representações internas e externas, como foi destacado por Schnotz and Lowe (2003). A sequência de enunciados dos estudantes levando a uma compreensão da igualdade entre as frequências e da diferença entre as velocidades lineares evidenciaram não apenas o caráter distribuído, mas situado da cognição (CLANCEY, 1997). A relação entre o que dizemos e o que fazemos é compreendida por Clancey segundo uma perspectiva transacional. Isto significa que falar não deve ser entendido como trazer para fora o que já está dentro. Produzir um enunciado, como foi mostrado nos diálogos, entre Evandro e Mário, sobre as igualdades e diferenças na tela, foi uma forma de mudar o que estava dentro. Falar significou uma atividade de representação e não uma mera enunciação de algo armazenado dentro da mente.

Na sequência desenvolvida, os estudantes negociaram sistematicamente entre si e com o professor a melhor representação e a interpretação mais adequada para um modelo conceitual, que foi paulatinamente construído nos diferentes ambientes. Acreditamos que nesse aspecto nos aproximamos de um fazer científico autêntico, dentro dos limites e da complexidade de uma sala de aula. Constituiu-se um ambiente em que se efetivou o caráter distribuído da cognição e isso pode ser tomado como um indicador da criação de oportunidades concretas de aprendizagem.

Referências bibliográficas

- CLANCEY, W. J. *Situated Cognition; On human knowledge and computer representation*. New York: Cambridge University Press, 1997. 406 p.
- COULON, A. Etnometodologia e Educação. In: FORQUIN, J.C. (Org.); *Sociologia da Educação*. Dez anos de pesquisa. Trad. Guilherme João de Freitas Teixeira. Petrópolis: Vozes, 1995. cap.6, p.300-349.
- GUDMUNDSDOTTIR, S. Introduction to the theme issue of 'narrative perspectives on research on teaching and teacher education'. *Teaching and teacher education*, v. 13, n.1, p. 1-3, 1997.
- HOLSTEIN, J.A. e GUBRIUM, J.F. Fenomenologia, Etnometodologia e Prática Interpretativa. In: DENZIN, N. K. and LINCOLN, Y. S. (ed.) *Handbook of Qualitative Research*. London: Sage Publications, 1994. p. 262 a 272.
- KOZMA, R. The material aspects of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*. (13), p. 205-226, 2003. Disponível em www.elsevier.com/locate/learninstruc. Acessado em 22/09/2003.

- LEWALTER, D. Cognitive Strategies for learning form static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*. (13), p. 177-189, 2003. Disponível em www.elsevier.com/locate/learninstruc. Acessado em 27/08/2003.
- LOWE, R. K. Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*. (13), p. 157-176, 2003. Disponível em www.elsevier.com/locate/learninstruc. Acessado em 27/08/2003.
- MAYER, R. E. e GALLINI, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82, 715–726, 1990. apud LEWALTER Cognitive Strategies for learning form static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*. (13), p. 177-189, 2003. Disponível em www.elsevier.com/locate/learninstruc. Acessado em 27/08/2003.
- MAYER, R. E. The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*. (13), p. 125-139, 2003. Disponível em www.elsevier.com/locate/learninstruc. Acessado em 27/08/2003.
- MOREIRA, A. F. Controvérsias sobre o uso do computador na escola. *Educação e Tecnologia*, Belo Horizonte, v.6, n.1/2, p.5-13, 2001.
- MOREIRA, A. F. *Práticas de interpretação em ambientes de aprendizagem de Física*. Belo Horizonte, UFMG, 2003, Tese de Doutorado, 180p.
- MOREIRA, M. A. , GRECA, I. M. e PALMERO, M. L. R. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. v.2, n. 3, set./dez. 2002.
- NERSESSIAN, N. Constructing and instructing: the role of ‘abstraction technique’ in creating a learning physics. In: DUSCHL, R., HAMILTON, R. (Eds.) *Phylosophy of science, cognitive pychology, and educational theory and practice*. Albany: State University of New York Press, p.48-68. 1992.
- PEA, R. D. Practices of distributed intelligence and designs for education. In: SALOMON, G.(Ed.) *Distributed Cognition*. Cambridge: University Press, 1997. cap.2, 47-87.
- ROTH, W-M., BOWEN, G.M., MCGINN, M.K. Interpretation of Graphs by University Biology Students and Practicing Scientists: Toward a Social Practice View of Scientific Representation Practices. *Journal of Research in Science Teaching*, v.36, n.9, p. 1020-1043, 1999.
- SALOMON, G. (Ed.) *Distributed Cognitions*. Psychological and educational considerations. Cambridge University Press: 1997. cap.4. p.111-138.
- SCHNOTZ, W. e LOWE, R. K. External and Internal Representations. Introduction to the Issue. *Learning and Instruction*. (13), p. 117-123, 2003. Disponível em www.elsevier.com/locate/learninstruc. Acessado em 27/08/2003.
- VEIT, E. A. e TEODORO, V. D. Modelagem para o ensino/aprendizagem de Física e os novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 24, n.2, p. 87-96, jun. 2002. ARONS, A.B. Student patterns of thinking and reasoning – Part one. *The Physics Teacher*, (21), 576-581, 1983.