

## INTERPRETAÇÃO DE REPRESENTAÇÕES DINÂMICAS

**Adelson Fernandes Moreira**

Programa de Pós Graduação da FAE- UFMG Coordenação de Ciências - CEFET- MG  
adelson@deii.cefetmg.br

**Oto Borges<sup>1</sup>**

Programa de Pós-graduação em Educação e Colégio Técnico da  
Universidade Federal de Minas Gerais  
oto@coltec.ufmg.br

### Resumo

Neste trabalho analisamos um episódio envolvendo a interpretação de uma tela de computador a partir da qual uma dupla de alunos compara dois movimentos circulares uniformes de mesmo período e raios diferentes. Apresentamos evidências do caráter distribuído da cognição e das possíveis contribuições de um ambiente, envolvendo representações dinâmicas e manipuláveis, para a elaboração e interpretação de modelos pelos alunos.

Palavras-chave: Ambientes de Aprendizagem; Simulações em Computador; Representações Dinâmicas; Interpretação de Representações de Modelos; Cognição Distribuída; Acoplamento Estrutural.

### INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta resultados de uma investigação realizada ao longo de dois anos em salas de aula de Física, em que desenvolvemos atividades com o computador dentro de uma seqüência de ensino. Proporcionamos aos alunos situações de interpretação de representações dinâmicas de modelos físicos. Ao estruturarmos um ambiente de aprendizagem com recursos dessa natureza obtivemos indicadores:

- do caráter distribuído da cognição em situações de interpretação de imagens e figuras;
- de que a possibilidade de operar sobre uma representação favorece a elaboração e interpretação de modelos. (MOREIRA e BORGES, 2001)

Neste trabalho tais indicadores são apresentados como resultados com base em evidência empírica.

Estruturamos um ambiente de aprendizagem com o software *Modellus*<sup>2</sup>. Suas animações contêm representações dinâmicas de qualidade. 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. A cada animação corresponde um conjunto de equações e parâmetros que expressam o seu modelo matemático.

---

<sup>1</sup> Apoio CNPq

<sup>2</sup> O programa *Modellus*, *Interactive Modelling with Mathematics*, pode ser usado, livremente, sem custo, para qualquer propósito educacional. Encontra-se disponível para *download* no *site* <<http://www.phoenix.sce.fct.unlpt/modellus>>.

Não trabalhamos diretamente com simulações de fenômenos. A simulação de fenômenos implica trazer para a tela do computador uma situação real, destituindo-a de certos componentes, que constituem ruído para a interpretação de aspectos e relações focalizados e tomados como mais importantes daquela situação em estudo. Entendemos a simulação de fenômenos como a criação de mundos virtuais (SCHÖN, 1987). Simular um fenômeno é construir uma representação do mundo real da prática, reduzindo ou eliminando vínculos que poderiam dificultar ou impedir a realização de certos tipos de experimentos e testes de hipóteses. Expressamos nossa compreensão sobre o simular fenômenos para destacar que não exploramos o *Modellus* nessa direção. Trabalhamos com o *Modellus* para produzir representações animadas de modelos, essas podendo ser do tipo estroboscópico, vetorial e através de gráficos. A partir daí, intentamos explorar o caráter externo de uma representação enquanto objeto dotado de movimento e manipulável na tela do computador.

### ACOPLAMENTO ESTRUTURAL E DISTRIBUIÇÃO DA COGNIÇÃO

Nossa análise baseia-se na visão de que o aprendiz participa de um ambiente de aprendizagem com sua estrutura cognitiva interpretada em sentido amplo, isto é, como uma estrutura encarnada (CLANCEY, 1996, 1997) em que aprender significa uma ação de corpo inteiro integrando sistema nervoso, cérebro, órgãos sensoriais e motores, conhecimentos prévios, crenças, valores, interesses, sentimentos. 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.

A distribuição da cognição (SALOMON, 1997; PEA, 1997) decorre de um acoplamento entre estruturas (MATURANA e VARELA, 1995) com um certo grau de estabilidade e com uma interferência recíproca disparada continuamente por ambas as estruturas. A ação do aprendiz sobre esse ambiente de aprendizagem modifica-o ininterruptamente. Tais mudanças são determinadas pela estrutura desse ambiente. Em um processo de realimentação contínua, a estrutura do aprendiz modifica-se, modificações essas também determinadas pela configuração de sua estrutura cognitiva, a cada momento.

Se há o acoplamento entre estruturas, dito de outro modo, se há a distribuição da cognição, o que temos, do ponto de vista de um observador externo à interação é uma nova totalidade congregando as estruturas do aprendiz e do 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 da outra e das relações que caracterizam a unidade como uma nova organização: aprendiz-agindo-no-ambiente-de-aprendizagem. Uma vez que tal acoplamento se constitua e ganhe estabilidade, ele inicia sua própria história de mudanças estruturais, podendo realizar ações cada vez mais complexas e com maior autonomia.

Entendemos esse acoplamento estrutural como um mecanismo elementar de produção de categorias, especialmente aquelas relacionadas à percepção. Tomamos ainda como pressuposto que a percepção desempenha um papel fundamental na cognição, por exemplo, na ação de interpretar. Interpretar uma representação é um comportamento emergente, que envolve uma variável não controlável. Que variável é essa? A reciprocidade entre as dimensões perceptuais, motoras e conceituais de coordenações que expressam o ato de interpretar e inferir (MOREIRA e BORGES, 2002).

## PERSPECTIVA METODOLÓGICA: ETNOMETODOLOGIA

Nossa análise, referenciada em COULON (1995) e HOLSTEIN and GUBRIUM (1994), foi centrada no raciocínio prático, na ação conjunta de alunos e professor, buscando tornar estável seu espaço de trabalho, de aprendizagem e de trocas. Em vez de assumir que os participantes de um grupo partilham explicitamente significados e definições de situações, 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.

Estruturas sociais são localmente produzidas, sustentadas e experimentadas como ambientes normais, rotineiros. São essas ações cotidianas, tácitas, não percebidas, que formam a noção errônea de uma realidade objetiva, igual para todos. Cada sala de aula tem componentes que, embora determinados 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, isto é, ele depende do contexto; ele é reflexivo, ou seja, contexto e procedimentos de interpretação se constituem mutuamente.

Sem um contexto visível, objetos e eventos têm um significado indeterminado, ou mesmo equívoco. O significado de objetos e eventos está entrelaçado ao uso ou à vivência dos sujeitos participantes através da fala e da interação. A interação, incluindo-se todos os detalhes que a constituem para além da fala – gestos, entonação, atitudes de silêncio, movimentos diferenciados com o corpo – confere significado aos objetos e situações. Todos esses elementos constitutivos da interação estão indexados pelo contexto em que ela transcorre. As atividades de interpretação ocorrem dentro de um certo cenário. São influenciadas pelos recursos materiais e culturais aí presentes e, ao mesmo tempo, focalizam esse mesmo ambiente, constituindo-o pelo ato de interpretar, de atribuir significado. Atividades de interpretação e contexto refletem-se mutuamente. Quem interpreta dá forma ao objeto interpretado. Ao mesmo tempo, as características do objeto e do contexto em que ele se encontra dão forma à interpretação que constitui o objeto. Reflexividade e indicialidade são lados opostos de uma mesma moeda. São aspectos inerentes à realidade social.

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, contribuindo para a proposição de relações entre as condutas observadas e estruturas mais gerais. HOLSTEIN and GUBRIUM (1994) referem-se, ainda, a estudos que se concentram nas competências altamente localizadas, que constituem os vários domínios profissionais, mais notadamente o domínio das Ciências Naturais. O objetivo é desvelar os elementos distintivos, na maioria sutis, que caracterizam as práticas sociais circunscritas a domínios específicos de conhecimento e ação. Nessa pesquisa, sintonizamos com tal tendência. Descrevemos as ações práticas através das quais professor e alunos buscam estabilizar seu contexto de atuação e interação. O domínio de conhecimento e ação é a sala de aula, onde ocorre uma prática social com características próprias, na qual o foco de atenção está nos procedimentos utilizados pelos estudantes para interpretar representações.

Nosso material empírico compôs-se de registros em áudio e em vídeo das interações entre alunos e destes com o professor, em diferentes ambientes de aprendizagem, conforme indica o quadro 1. As turmas pesquisadas foram divididas em duas subturmas que desenvolveram, em sentidos opostos, a seguinte seqüência de atividades: atividade com experimentos, exercícios com lápis e papel, atividade com simulações. Dois grupos de cada subturma tiveram suas atividades gravadas. Procuramos observar a atividade com simulações de forma integrada na seqüência de ensino vivenciada. Buscamos elementos de comparação

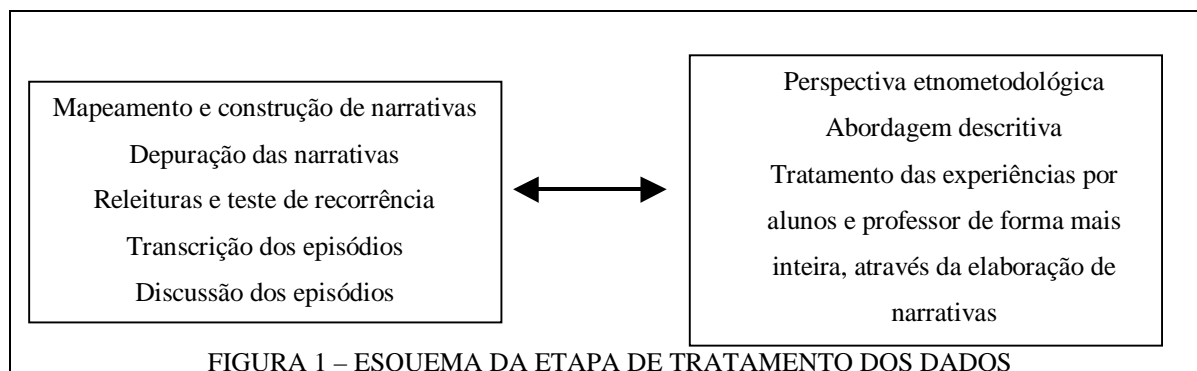
em grupos desenvolvendo a mesma seqüência e em grupos realizando o mesmo conjunto de atividades em ordem invertida. Foi possível, portanto, realizar estudos longitudinais curtos, acompanhando a evolução de um único grupo, e estudos transversais, comparando dois grupos em uma mesma atividade.

QUADRO 01 - ESQUEMA DA ETAPA DE LEVANTAMENTO DE DADOS				
Turmas: 1ª Série 2000 1ª Série 2001		Dados	Seqüências	Tempo de Gravação (Horas Aula)
Subturma 1: Atividade com experimentos	Subturma 2: Atividade com simulações;	Em cada subturma, registro em áudio e vídeo das atividades de 2 grupos	Movimento circular uniforme (mcu) – 1ª série 2000 (6 aulas)	12
Exercício com lápis e papel	Exercício com lápis e papel;		mcu – 1ª série 2001 (6 aulas)	12
Atividade com simulações	Atividade com experimentos		Composição de velocidades - 1ª série 2001 (6 aulas)	12
			Total: 36	

Seguindo esse desenho, com alterações em relação ao momento de realização dos exercícios com lápis e papel, realizamos gravações das atividades sobre movimento circular uniforme em duas turmas de 1ª série do ensino médio, uma em 2000, outra em 2001. Na turma de 2001, gravamos ainda uma seqüência sobre composição de velocidades. Cada seqüência foi desenvolvida em seis aulas. Uma vez que a turma era subdividida, cada seqüência resultou em 12 horas aula de gravações, totalizando 36 horas, metade delas em áudio, metade em áudio e vídeo. Em cada seqüência, o professor das turmas, um dos autores dessa pesquisa, acompanhou uma subturma. Para acompanhar a outra subturma, contou com a colaboração de dois estudantes de licenciatura em Física (turma de 2000) e de dois professores de Física (turma de 2001), colegas de Departamento.

Episódios foram delimitados com base na observação e análise das 36 horas de gravação. Os registros em áudio e vídeo foram observados continuamente, acompanhando a cronologia de gravação. Nessa primeira observação, fizemos destaques, registrando sua posição na fita cassete ou de vídeo, e construímos narrativas a partir deles. Em cada narrativa, fizemos uma descrição detalhada da situação destacada, das razões do destaque e do que nos chamou a atenção. As narrativas foram primeiramente manuscritas em um caderno de notas. Na medida em que se acumulavam essas narrativas, emergiam algumas sínteses e possíveis hipóteses, que também eram registradas com o maior detalhamento possível. Esse processo - assistir às fitas, fazer destaques, construir narrativas - foi sistematicamente interrompido, pois se tratava de um longo período de gravações. Ao reiniciarmos o trabalho, todas as anotações anteriores eram relidas, de modo que cada nova etapa recuperava e reconstruía o todo, que ia sendo paulatinamente produzido com a seqüência de narrativas.

Foi através desse processo de elaboração de narrativas, como dados de segunda ordem, (fig. 1) que focalizamos as práticas dos sujeitos no ambiente da sala de aula. As ações práticas se realizaram nas atividades de interpretação de representações de modelos de fenômenos físicos. Procuramos identificar e descrever os procedimentos empregados por alunos e professores para conferir estabilidade ao seu contexto de atuação. Ao identificar esses chamados etnométodos, procuramos por um lado construir o cenário global da aula, por outro focalizar as práticas de interpretação.



Terminada a fase de observação e análise das 36 horas de gravação, o conjunto de narrativas foi lido exaustivamente no sentido de se identificar destaques com características semelhantes, seja do ponto de vista do conteúdo das narrativas, das razões de sua construção ou dos comentários e sínteses que geraram. O conjunto de notas foi então digitado ao computador. Esse processo caracterizou outra reconstrução. As narrativas foram depuradas, as estruturas dos textos foram ligeiramente melhoradas. Durante essa reconstrução verificamos mais uma vez a recorrência dos destaques.

O documento resultante da transcrição das notas no computador, com as narrativas melhor estruturadas, foi lido várias vezes, num esforço de mais uma vez identificar e confirmar elementos de ligação entre as narrativas. Aquelas agrupadas por seus aspectos comuns reconduziram novas averiguações das gravações, agora apenas dos trechos destacados e mapeados. Uma vez confirmados os elementos que ligavam as narrativas, esses trechos foram então delimitados como episódios, um deles apresentado e analisado neste trabalho.

## PROCEDIMENTOS DE VERIFICAÇÃO

Os primeiros episódios, delimitados para análise, foram apresentados a dois professores do departamento em que trabalha um dos autores da pesquisa. Dois estudantes de engenharia (bolsistas, que filmaram as aulas, prepararam os computadores para a utilização do *Modellus* e, eventualmente, atuaram como monitores no acompanhamento de algumas atividades) também participaram dessa seção de debate dos episódios destacados. O objetivo dessa apresentação foi o de aferir a pertinência de uma primeira comparação entre as práticas de interpretação de duas duplas na atividade com simulações.

Tentamos checar com os professores do departamento e com os alunos bolsistas a evidência da elaboração de modelos, mediada pelas representações dinâmicas na tela do computador e se isso ocorria de modo sensivelmente diferente para cada dupla. Discutimos a possível contribuição do ambiente estruturado com o *Modellus*. Tivemos uma confirmação positiva para a evidência destacada, do ponto de vista da interpretação e elaboração de modelos. Nossos interlocutores reconheceram as possibilidades criadas por uma representação que evolui no tempo e que pode ser manipulada pelos alunos. Esse procedimento, realizado apenas uma vez, concretizou uma primeira tentativa de verificar se os episódios inicialmente escolhidos eram um material rico para análise.

O espaço de crítica sistemática sobre as descrições e análise produzidas foi, então, concretizado nas reuniões de discussão entre os autores desse trabalho e no grupo de pesquisa do qual fazem parte. Nas reuniões entre os autores, descrições e análise eram contrapostas à observação dos episódios registrados em áudio e vídeo. Um deles exercia então o papel de juiz da pertinência e qualidade das evidências, das descrições e da análise propostas. Cumprida essa etapa, escrevíamos um relatório transcrevendo os episódios, articulando

descrição e análise. Esse material era debatido no grupo de pesquisa. As evidências eram então os diálogos transcritos, e procurávamos aferir se as conclusões que retirávamos delas poderiam ser sustentadas do ponto de vista empírico e teórico. Tais procedimentos constituíram etapas fundamentais de desenvolvimento dessa pesquisa qualitativa e tiveram o papel de suportar boas descrições, descrições fundamentadas, e as análises decorrentes.

## COMPARAÇÃO DE MOVIMENTOS CIRCULARES UNIFORMES DE MESMA FREQUÊNCIA E RAIOS DIFERENTES

Transcrevemos e discutimos, a seguir, o episódio, no qual os alunos Evandro e Mário 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, por 2, notação utilizada pelos alunos. Estes foram solicitados para 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.

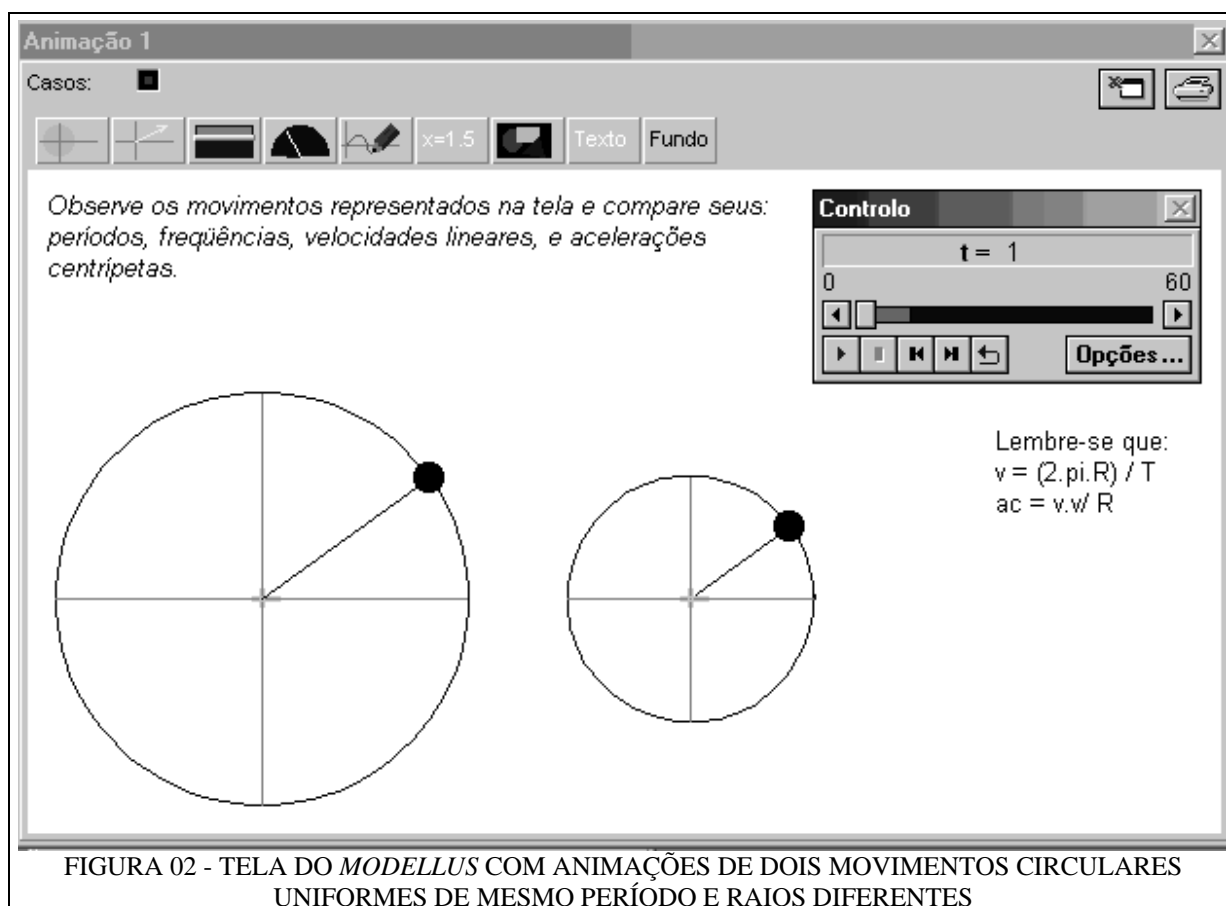


FIGURA 02 - TELA DO *MODELLUS* COM ANIMAÇÕES DE DOIS MOVIMENTOS CIRCULARES UNIFORMES DE MESMO PERÍODO E RAIOS DIFERENTES

### 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 mennnnos! 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 e procurando mostrar que em um mesmo intervalo de tempo, a bola, no movimento 1, percorre maior distância. Evandro acompanha atentamente o argumento do colega. Não explicita o que é igual para ele. Associa período, na linha 162, 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. Mário, por sua vez, inicia o diálogo indicando que percebia mais diferenças do que invariantes. Enquanto argumenta com o colega reelabora e conclui pela igualdade dos períodos. A sua compreensão da tela vai se modificando na medida em que fala e produz explicações sobre ela. 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 freqüências 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.*

12. Mário: É. 10 segundos.... Agora...freqüência.
13. Evandro: Freqüência 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 pequeno trecho foi destacado porque ele indica 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 seja 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... Frequência...  
 18. Evandro: Iguais. A frequência é igual.  
 19. Mário: Não, vai ser ... a 1 vai ser maior. Frequência...  
 20. Evandro: Não.  
 21. Mário: Vai ser sim sô..  
 22. Evandro: Não... Sendo que a frequência é o inverso do período.  
 23. Mário: Ahn?  
 24. Evandro: Se a frequência é o inverso do período... os dois... se tendo o mes... o mesmo período... vai ter a mesma frequência.  
 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 frequência?... 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 frequência é o inverso do período.  
 37. Mário: Mas eu sei disso... mas eu quero uma forma mais .... de achar a frequência...  
 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 de um 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 freqüência 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 freqüência, afirmou a igualdade das freqüências ainda que não soubesse mostrá-las na tela. Assim como para Mário, para ele também, o que sobressaía era a diferença no comprimento dos arcos.

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 freqüência.

### **Seqüência 4**

*Mário retoma a afirmação de que as freqüências são diferentes. Evandro insiste que são iguais. Chega o professor. Evandro repete seu argumento, baseado na relação algébrica entre período e freqüência, e o professor afirma que está correto. Mário discorda e chama a discussão para si. O professor retoma a definição de freqüência, 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 1: Uma volta,... '10s'. Período, ... 10s. Freqüência é o quê?... o inverso do período. Então qual que é a freqüência aí? ... '0,1'... '0,10'.  
 47. Mário: Mas...olha só fessor (*falando junto com o Professor 1 quando este terminava o enunciado anterior*). Mas olha...  
 48. Professor 1: 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 '1s'.
53. Professor 1: Tudo bem.
54. Mário: A lá, tá vendo?
55. Professor 1: 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 1: 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 1: 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 1: Qual que é mais rápido?
62. Mário : É esse aqui (*aponta para o movimento 1*)... porque...
63. Professor 1: Ele tá percorrendo...
64. Mário: Um espaço maior...
65. Professor 1: No mesmo intervalo...
66. Mário: No mesmo tempo que o outro (*falando praticamente junto com Professor 1*).
67. Professor 1: Beleza...A velocidade dele é maior (*apontando para o movimento 1*). Não é isso?
68. Evandro: Isso.
69. Professor 1: Você me entendeu?
70. Mário: Até aí correto.
71. Professor 1: 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 1: Entendeu?
75. Mário: É a mesma coisa que espichar a corda.
76. Professor 1: É.
77. Mário: Pode botar pequenininha que vai dar uma volta mesma coisa... pode botar grande que vai dar a mesma volta...
78. Professor 1: A mesma volta.
79. Mário: É isso aí, fessor, muito obrigado.
80. Professor 1: 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 a atividade seguinte.*

**Análise da Seqüência 4: sabemos mais do que podemos dizer**

Para resolver o impasse em torno da igualdade das frequências, o professor reforça o argumento da relação algébrica entre frequência e período, mas esse argumento não é suficiente para Mário, que retoma a diferença entre os comprimentos dos arcos para sustentar a diferença entre as frequências. 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 frequência é outra, que a referência para se medir frequência 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, o que Evandro enunciou de forma bastante incompleta pode ser a relação constante entre o perímetro da circunferência e o raio, cuja proposição ele atribuiu a Galileu.

**INTERPRETAÇÃO DE REPRESENTAÇÕES DINÂMICAS**

Exploramos as animações do *Modellus* como representações dinâmicas e manipuláveis de um modelo físico. Não utilizamos o software para simular fenômenos. O episódio em questão apresenta evidências que sustentam a seguinte hipótese apresentada por NERSESSIAN (1992): as simulações em computador podem ser tomadas como um sistema de ferramentas de quem pensa, 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 simulações 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, frequência, 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. Na medida em que operaram sobre as representações, 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 frequência fosse tratada para além de um rearranjo de símbolos como se esses fossem objetos concretos. Esse tipo de procedimento é destacado por ARONS (1983) ao discutir o raciocínio aritmético envolvido na divisão. 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 dispendo os símbolos em padrões com os quais têm familiaridade, tratando-os como objetos concretos. A obtenção

da resposta correta pelo aluno nem sempre demonstra a compreensão 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 aritmético 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.

Essa investigação apresentou evidências da possibilidade de se estruturar ambientes de aprendizagem motivadores, que incorporam elementos do fazer científico – elaboração, representação e interpretação de modelos - mas que não implicam necessariamente em um projeto mais ousado como, por exemplo, tratar um problema em aberto. A observação das interações permitiu-nos reforçar a constatação de que articular experimento, construção de representações de um modelo e interpretação dessas representações animadas no computador, cria um contexto que favorece o engajamento e as trocas em sala de aula. Apresentamos evidências do caráter distribuído da cognição, quando tomamos como unidade de análise o aluno e as diferentes fontes do ambiente – incluindo outros alunos e professor – com as quais interage na realização de uma atividade. Além disso, constatamos que o ambiente com simulações cria uma situação diferente de interpretação, uma vez que os estudantes estão envolvidos com representações dinâmicas, que evoluem no tempo, que podem efetivamente ser manipuladas externamente, como objetos concretos. Tal condição torna o ambiente com simulações um nível intermediário entre objetos do mundo real e o conhecimento científico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARONS, A.B. Student patterns of thinking and reasoning – Part one. *The Physics Teacher*, (21), 576-581, 1983.
- CLANCEY, W. J. Conceptual coordination: abstraction without description. *International Journal of Educational Research*, 27(1), p.5-19, 1996.
- 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.
- HOLSTEIN, J.A. and 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.
- MATURANA, H. R. e VARELA, F. G. *A árvore do conhecimento*. As bases biológicas do entendimento humano. Campinas: Editorial Psy II, 1995. 281p. (Traduzido da edição, em alemão, por Jonas Pereira dos Santos.)

MOREIRA, A. F. e BORGES, O. Percepção e elaboração de conceitos. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 8, 2002, Águas de Lindóia, SP. *Atas* [CD-ROM]. Organizadas por Deise M. Vianna, Luiz O. Q. Peduzzi, Oto N. Borges, Roberto Nardi. São Paulo: SBF, 2002.

MOREIRA, A. F. e BORGES, O. Práticas de interpretação mediadas por experimentos e simulações. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 3, 2001, Atibaia, SP. *Atas* [CD-ROM]. Organizadas por Marco Antônio Moreira, Ileana Maria Greca e Sayonara Cabral da Costa. Porto Alegre : s.n., 2001.

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 phychology, 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.

SALOMON, G. (Ed.) *Distributed Cognitions*. Psychological and educational considerations. Cambridge University Press: 1997. cap.4. p.111-138.

SCHÖN, D. A. *Educating the reflective practitioner*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1987. 355p.