

Evidência de Reconstrução interna de Representações Externas Computacionais Animadas como Representações Internas e Invariantes Operatórios: Um estudo de caso da produção de Gestos Descritivos em Física Mecânica.

Evidence of the Internal Reconstruction of External Computational Animated Representations as Internal Representations and Operational Invariants: A Case Study of the Descriptive Gestural Production in Mechanics.

*Vivian Engel e Agostinho Serrano
LTECIM - PPGECIM - ULBRA.
asandraden@gmail.com*

RESUMO

Neste artigo utilizamos uma técnica de análise da produção gestual de estudantes que utilizaram simulações computacionais dentro do conteúdo de Física Mecânica, focando no conceito de Conservação de Energia. Esta análise gestual revela a existência do que poderia ser chamado um segundo discurso, não-verbal, consistindo de imagens mentais estáticas e animadas. As imagens mentais animadas podem ser conceituais ou não, e quando são conceituais, revelam a utilização de representações mentais e invariantes operatórios relacionados ao conceito de Conservação de Energia Mecânica que aparentemente, conforme os resultados parecem dar suporte, favorecem o crescimento conceitual neste campo conceitual de Física Mecânica. Concluimos que as simulações computacionais parecem enriquecer este discurso não-verbal ao fornecer representações que possibilitam um melhor aprendizado de conceitos físicos.

Palavras-chave: Gestos descritivos, Simulações Computacionais, Ensino de Física, Teoria de Campos Conceituais, Teoria da Carga Cognitiva.

ABSTRACT

In this paper, we use an analysis technique of the gestural production of students that use computer simulations within the concepts of mechanics, focusing in the concept of energy conservation. This gestural analysis reveals the existence of what can be called a second, non-verbal discuss, consisting of static or animated mental imagery. The mental imagery can be conceptual or not, and when they are conceptual, they reveal the usage of mental representation and operational invariants related to the concept of mechanical energy conservation, that apparently, as our results seem to give us support, favor the conceptual growth in this conceptual field of physics. We conclude that the computational simulations

seem to enrich this non-verbal discuss when they teach representations that make it possible a better learning of physics concepts.

Keywords: Descriptive gesture, Computer simulations, Physics teaching, Theory of conceptual fields, theory of the cognitive charge.

INTRODUÇÃO

A investigação do aprendizado de conceitos científicos com o auxílio de computadores tem se revelado um desafio que persegue a área de Ensino de Ciências e Matemática há décadas. Muito tem se dito e observado dos efeitos, em geral benéficos, do uso em especial de simulações computacionais. As simulações podem, naturalmente, incluir representações utilizadas por cientistas na descrição dos seus modelos, como vetores em física ou ligações químicas. A utilização destas representações enriquece o modelo e facilita o aprendizado (DOERR, 1997). No ensino de física, representações múltiplas como vetores, gráficos, tabelas, animações, etc., multiplamente conectadas para representar um fenômeno pode influenciar positivamente o aprendizado (DE JONG et al., 1999; DOERR, 1997). Em química, o uso de múltiplas representações é considerado de grande importância para o aprendizado de química (KOZMA et al., 1997; NOH et al., 1997; WU et al., 2001) e o uso de diferentes níveis de representação de um fenômeno químico (macroscópico, microscópico e simbólico) (GABEL, 1998; JOHNSTONE, 1993) é considerado um elemento-chave no aprendizado.

Os computadores podem ser descritos como apresentando ao estudante, em uma aplicação didática, representações gráficas animadas que de alguma forma parecem auxiliar o aprendizado de conceitos em áreas como a física. Estas representações gráficas externas podem, então, serem internalizadas durante o processo de aprendizado.

Como referencial teórico deste trabalho, escolhemos a teoria de Campos Conceituais de Gerard Vergnaud (1981, 1993). Esta teoria diz que para estudar e compreender como os conceitos evoluem na mente de um sujeito, por meio de suas experiências, é preciso considerar o conceito (C) como uma terna de conjuntos, ou seja, $C = (S, I, R)$, onde:

- **S** é o conjunto de situações que dão significado e utilidade ao conceito;
- **I** é o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito (objetos, propriedades e relações), que podem ser reconhecidas e usadas pelos sujeitos, de forma a analisar e dominar aquelas situações;
- **R** é o conjunto de significantes, isto é, a representação simbólica, lingüística, gráfica ou gestual, que podem ser utilizadas para representar aqueles invariantes, e, desta forma, representar as situações e os procedimentos para lidar com eles.

Em termos psicológicos, o autor explicita que S, o referente, é a realidade; e I e R representam os dois aspectos integrantes do pensamento, o significado (I) e o significante (R).

É fundamental considerar esses três conjuntos simultaneamente – situações, invariantes operatórios e representações simbólicas – ao longo da aprendizagem, para estudar o desenvolvimento e o uso de um conceito (VERGNAUD, 1981).

Outro aporte teórico utilizado é a Teoria da Carga Cognitiva (SWELLER, 1988), que considera, também de forma resumida, que temos uma memória de trabalho finita e que qualquer processo que permita a automatização de esquemas utilizados no aprendizado de algum conceito ou processo, “libera” memória de trabalho para que se possa utilizar em outras tarefas cognitivas, na direção do aprendizado.

Como não temos acesso às representações externas dos estudantes é necessário “desenvolver uma visão mais clara conjunto de conceitos definidos para que possamos entender melhor estes processos de raciocínio não-formal” (STEPHENS; CLEMENT, 2010).

Definição do Problema e Método de Pesquisa

O objetivo deste artigo é analisar a produção de gestos descritivos e o vínculo destes gestos com o crescimento conceitual após uma simulação conceitual em física mecânica, como compreendido pela teoria de Campos conceituais de G. Vergnaud, acima descrita.

A atividade didática foi baseada em duas simulações desenvolvidas dentro da plataforma modellus 4.01¹. A primeira simulação consiste em um sistema massa-mola oscilante horizontal. Este sistema já foi encontrado codificado pelos autores na sessão de exemplos do modellus, contudo com outro foco didático. Os autores modificaram a simulação para apresentar a energia potencial e a energia cinética como gráficos de barras, além dos vetores velocidade e aceleração (Vide figura 1, esquerda). A segunda simulação foi originalmente concebida em outro trabalho (REIS & SERRANO, 2004) e adaptada para esta versão do modellus (Vide figura 1, direita).

O experimento consistiu na aplicação de pré e pós-testes, duas simulações computacionais e entrevistas individuais, conforme descrito abaixo. Os pré-testes foram realizados com um total de 26 estudantes, e ao pós-teste um subtotal de 14 estudantes compareceram, donde apenas 6 foram entrevistados. Assim, a amostra consiste de um total de 6 estudantes que fizeram todas as etapas de investigação. Todos os estudantes fazem cursos de graduação em engenharia e ciências exatas, em uma universidade privada de Canoas, RS, Brasil, que estaremos descrevendo neste trabalho. Relatamos agora esta experiência com o uso do software.

Os estudantes realizaram pré e pós-testes individuais. A etapa experimental foi realizada em dupla/trio, com auxílio de um guia de simulação. Após estas etapas foi realizada uma entrevista individual com 06 sujeitos selecionados. Para a realização das entrevistas, filmadas logo após o pós-teste, foi utilizada uma técnica chamada de “think aloud” (SCHERR, 2008; STEPHENS & CLEMENT, 2010). Esta técnica utiliza um método de coleta de dados em que o entrevistador e o entrevistado mantêm constante diálogo a respeito do que o entrevistado está pensando durante a execução de uma tarefa. As entrevistas foram gravadas com posterior transcrição e análise das mesmas.

O experimento foi realizado em três etapas por cada estudante:

ETAPA 1 - Na primeira etapa um pré-teste de resolução de problemas que foi realizado, antes de qualquer contato com o software, livremente pelos alunos em base dos

¹ disponibilizado gratuitamente em <http://http://modellus.fct.unl.pt/>

seus próprios conceitos, individualmente. Três situações-problemas foram propostas, uma envolvendo uma bolinha oscilando em uma mola, a segunda sendo uma bolinha picando no chão e a terceira situação-problema sendo uma tarefa de explicar o conceito de “conservação de energia”.

ETAPA 2 – Nesta etapa, os estudantes foram instruídos de como utilizar o software Modellus 4.01 e, posteriormente, utilizaram-no para elaboração dos problemas em duplas e trios. Durante esta etapa, é necessário que os estudantes manipulem livremente o programa, pois é nela que acreditamos ocorrer a internalização de lógicas inerentes às representações computacionais.

O programa (Figura 1) permite que o usuário explore uma série de simulações de um sistema massa-mola, colisões e velocidade, alterando seus parâmetros, tudo isso em design 2D.

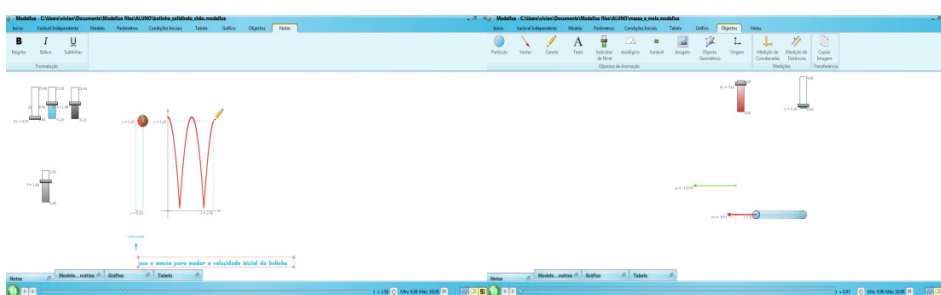


Figura 1 – Simulações utilizadas no processo didático.

ETAPA 3 – Posteriormente, após o uso do software, foi aplicado o pós-teste, onde sem o auxílio do programa, os estudantes efetuaram 3 atividades sobre conservação de energia: cinética, potencial, total e, por último, conceituaram novamente a conservação de energia, tal qual supra escrito.

ETAPA 4 – Entrevista após as atividades. Nesta entrevista, solicitamos a cada estudante entrevistado que comparasse sua resposta do pré e pós-teste e explicasse a diferença entre estas respostas. Estas entrevistas foram filmadas, e tanto seu discurso como a produção gestual foi transcrita e codificada conforme detalhada por Stephens & Clement (2010).

METODOLOGIA DE ANÁLISE GESTUAL

Teoricamente, a metodologia proposta por Stephens e Clement (2010) é sustentada por alguns fatos da literatura de diversas áreas que, resumidamente dá ao entrevistador uma visão pelo menos parcial nas imagens mentais geradas pelos sujeitos:

- O tipo e a quantidade dos gestos parecem estar associados com a natureza da representação interna do sujeito (Lozano e Tversky, 2005; Iverson e Goldin-Meadow, 1997, 1998).
- A Produção de gestos representacionais, em particular, parece estar associada com processos visuoespaciais e outros processos imagísticos (Iverson e Goldin-Meadow,

1997; Krauss, 1998; Hostetter e Alibali, 2004; Alibali, 2005; Feyereisen e Havard, 1999).

- A evidência colecionada leva pesquisadores a sugerir que gestos representacionais não é meramente a tradução dos significados verbais dos sujeitos, mas pode revelar pensamento não-verbal. Uma hipótese alternativa é que gestos é uma tradução física de palavras, mas um número de estudos jogaram dúvida na plausibilidade desta hipótese (Iverson;Goldin-Meadow, 1997; Roth, 2000).
- Gestos descritivos parecem ser uma forma natural de expressar os resultados de animações mentais e transmite informação sobre a animação não revelada no discurso do sujeito (McNeill, 1992; Hegarty, Mayer, Kriz, 2005).

Assim, utilizamos essa metodologia de análise para ter acesso ao que poderíamos chamar de “discurso não-verbal imagístico” dos estudantes durante a resolução de problemas de estereoisomeria. Vale a pena ressaltar que, conforme pode ser visto nas referencias acima descritas, existe na comunidade de psicologia cognitiva uma tendência atual a vincular a produção de imagens mentais e a gênese conceitual, tendência que pode representar uma janela de pesquisa à comunidade de ensino de ciências e matemática.

Cada representação captada em vídeo é apenas considerada uma representação descritiva se, em algum momento, o estudante denomina explicitamente ou implicitamente esta representação da forma que denominamos neste trabalho.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

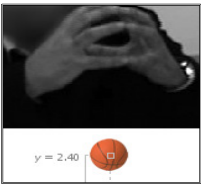

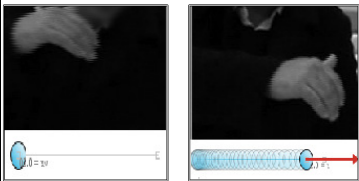
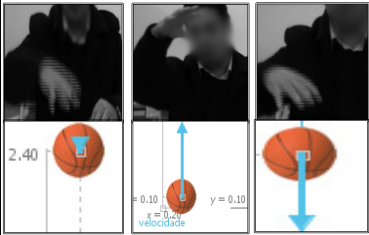
Para melhor compreensão dos resultados, organizamos a análise gestual em duas tabelas. A primeira tabela (Tabela 1) tem fotos das filmagens que representam gestos descritivos produzidos pelos estudantes durante a entrevista realizada após a tomada de dados escritos. A primeira coluna apresenta uma imagem – se for o caso de um gesto que representa uma imagem estática (como uma bola), como pode ser visto na primeira coluna da Tabela 1 – ou de uma seqüência de imagens, indicando uma imagem mental animada, como pode ser visto já a partir da segunda linha na Tabela 1. Quando o gesto descritivo produzido significar algo que está diretamente associado à alguma representação utilizada na simulação, uma imagem (ou sequencia de imagens) da simulação também foi adicionada. A coluna central indica quais estudantes utilizaram este gesto descritivo durante a entrevista. Finalmente, a terceira coluna apresenta a nossa interpretação do significado do gesto descritivo utilizado.

A Tabela 2 apresenta, na mesma sequencia de linha utilizada na Tabela 1, representações externas utilizadas nos testes escritos na coluna à esquerda, os estudantes que utilizaram estas representações externas em algum dos testes, e na coluna à direita o significado por nós associado. Dois tipos de gestos foram identificados: uma categoria de gestos expressados pelos estudantes tem como significado, de acordo com o nosso olhar, imagens mentais estáticas. Outro tipo de gesto significa uma sequencia de imagens, ou o que poderia ser chamado de gesto representando imagens mentais animadas.

Gestos Estáticos

Na primeira linha da Tabela 1, tem-se o gesto descritivo da representação interna estática de uma bola, utilizada e denominadas pelos estudante RR e RG. Esta representação interna tem um correspondente na simulação, como também pode ser visto na Tabela 1. RR indica que esta representação é de uma bola, enquanto RG indica utiliza este gesto descritivo ora como bola, ora como da energia em uma bola. Na Tabela 2, representações de uma bola (como ilustradas) são utilizadas por todos estudantes. Durante o discussão de RR e RG, eles utilizam este gesto descritivo várias vezes: “... isso tudo vai fazer com que perca a energia na **bola**, e vá se perdendo, conforme ela vai diminuindo seu movimento.” (RG). Assim, o estudante implicitamente denomina esta representação estática.

Tabela 1 – Gestos descritivos (e representação correspondente da simulação) identificados durante a entrevista. Cada gesto descritivo apresentado na coluna à esquerda é produzido pelos estudantes correspondentes da coluna central. Na coluna à direita, a interpretação do significado do gesto descritivo.

GESTO (IMAGEM)	ESTUDANTE	SIGNIFICADO
	RR e RG	Bola (RR) / Bola com centro de energia (RG)
	JO, CL, RR, RG e KT	Variação de Energias
	RG	Velocidade
	RR, RG, CL e JO	Bola / Animado

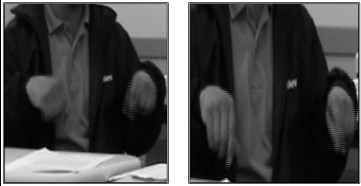


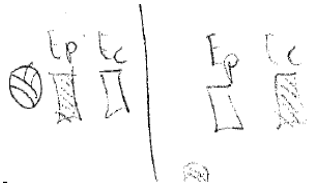
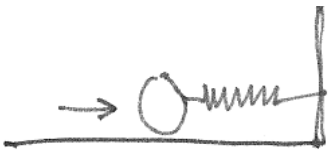

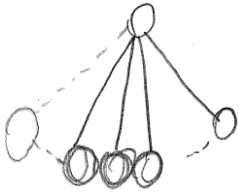
	RR	Pêndulo (Conservação de Energia)
	CL	Cama Elástica (Conservação de Energia)

Tabela 2 – Representação externa identificada no pré/pós-teste. Cada representação externa apresentada na coluna à esquerda é produzida pelos estudantes correspondentes da coluna central. Na coluna à direita, a interpretação do significado do gesto descritivo.

GESTO (IMAGEM)	ESTUDANTE	SIGNIFICADO
	JO, CL, RR, RG e KT	Bola (RR) / Bola com centro de energia (RG)
	JO	Variação de Energias
	RG	Velocidade
	JO, CL, RR, RG e KT	Bola / Animado

	RR	Pêndulo (Conservação de Energia)
—	CL	Cama Elástica (Conservação de Energia)

Gestos Animados com significado Conceitual

Na segunda linha em diante da tabela 1 temos os gestos animados utilizados pelos estudantes. O mais importante, segundo nosso ponto de vista, é o que representa o caráter dinâmico da energia mecânica em função do tempo. Os estudantes indicam, com este gesto animado, a alternância entre energia cinética e potencial. Este gesto é apresentado pelos estudantes após o uso da simulação computacional, que foi construída especificamente para o ensino de Energia Mecânica. Este gesto é reproduzido por todos os estudantes entrevistados, e também é reproduzido como representação externa pelo estudante JO no pós-teste. Os demais estudantes não utilizam esta representação externa possivelmente por apenas terem internalizado a representação, mas não tendo a necessidade de indicar externamente seu uso interno. Este fato é uma forte indicação da utilidade da análise gestual, que indica o uso intensivo de representações internas que nem sempre são externalizadas. O uso deste gesto é inerente à representação interna e nem sempre é indicada explicitamente no discurso, como pode-se ver abaixo:

- Estudante RG: “...Perdendo energia potencial, cinética, inverte uma, inverte outra [Gesto animado para alternância de energia], e vai se perdendo a energia total. Mas as energias cinética e potencial, elas vão se oscilando e tu não perde nenhuma delas.”
- Estudante RR: “Entrevistador: Ok, aí depois tu disse que a energia cinética não tem final nem inicial e que a potencial diminuirá e que a total não se conserva.
RO: Bom, isso eu vi no programa, através dos gráficos.. a energia cinética, só quando chegava no meio que ela tinha energia cinética [gesto animado]”
- Estudante CL: “...Como eu usei na prova, uma criança numa cama elástica, ela, digamos, pode pular ali para sempre, variando a energia potencial gravitacional e a energia da constante elástica [gesto animado para alternância de energias]. Isso ficou... na verdade a energia vai ser sempre a mesma, que ela sobe e que ela encosta na cama [gesto da cama elástica], e que a energia total, ela nunca muda, é sempre máxima.”
- Estudante KT: “Então, depois do programa eu passei a entender, que a energia potencial.. quando a energia potencial é zero a energia gravitacional é máxima, e elas vão oscilando [gesto animado]

Este gesto animado, que foi reproduzido universalmente pelos estudantes durante a entrevista, indica a internalização da mesma animação que a simulação utiliza (ver Tabela 1). Esta animação, uma vez internalizada, auxiliou cognitivamente os estudantes a compreenderem o conceito de energia mecânica como soma integral das energias cinéticas e potenciais durante o movimento de objetos em um campo gravitacional. Interpretamos esta internalização, de acordo com o referencial teórico de Campos Conceituais, ocorrendo pela internalização da representação de energia como barrinhas, e em seguida de invariantes operatórios específicos para este conceito, associado a esta representação, como a oscilações das alturas das barrinhas tal como ilustrada nos gestos descritivos animados. Isto por si indica um crescimento cognitivo acompanhado de um crescimento conceitual para o conceito de energia segundo a teoria de Campos Conceituais. O estudante também se sente mais a vontade para aplicar esta representação e invariantes (como visto no caso do estudante CL, que aplica para o exemplo de uma cama elástica, não trabalhado durante a atividade de simulação) para outras situações-problema. Possivelmente isto indica uma liberação de carga cognitiva, pois a mente opera esta representação de forma tácita, pelo fato de que raramente isto é mencionado explicitamente no discurso verbal. Esta carga cognitiva liberada provavelmente permite o estudante estabelecer relações mais significativas para este conceito.

O segundo gesto animado com significado conceitual (terceira linha das tabelas 1 e 2) é o gesto animado que o estudante RG produz durante o seguinte trecho da entrevista:

Entrevistador: Quero que tu me diga, exatamente o que mudou do teu pré para o pós teste, como tu enxergava a energia cinética e potencial? Como funciona isso na tua cabeça? O que tu pensa logo que tu de para com um problema?

RD: *Ahm, é eu tinha meus conceitos diferentes de energia, quando ele falou ali, exercícios de mola e peso, eu pensava na energia e na gravidade que atuasse no corpo. O que eu vi, é que a velocidade que me surpreendeu mais durante o programa, eu não tinha muita noção da velocidade. Eu achava que, de uma mola por exemplo, que ele ganhava velocidade e depois perdia velocidade [gesto animado significando velocidade]. Mas na verdade é ao contrário, ele vai.. a velocidade e máxima e quando chega no final ele vai diminuindo. Em função das energias serem completamente o inverso... uma leva a outra. [gesto animado significando velocidade]*

Este gesto é produzido, acompanhando uma imagem mental que se refere à simulação. O estudante percebeu, na simulação, que a velocidade de uma mola oscilando em um sistema massa-mola é máxima na metade da distancia total percorrida. Como esta percepção foi importante para o estudante, ele internalizou não apenas as energias cinética e potencial sob a forma da representação discutida acima, mas também a velocidade da bola ao fazer a simulação computacional. A mesma análise realizada acima, explanando o crescimento conceitual decorrente da assimilação de representações, invariantes e da liberação de carga cognitiva é válida para este caso também.

Gestos Animados sem Significado Conceitual

Outro gesto animado produzido é o de uma bola subindo e descendo (quarta linha das tabelas 1 e 2), sendo este um exemplo utilizado durante a simulação, reproduzido como gesto animado pelos estudantes RR, RG, CL e JO e como representação externa por todos os estudantes. Este gesto descritivo não tem relação direta com algum conceito físico, apenas com a situação proposta na simulação e recordada na entrevista. A quinta e a sexta linhas das tabelas 1 e 2 também se referem a outros gestos animados produzidos pelos estudantes que não tem significado conceitual, apenas se referindo a situações-problemas utilizadas como exemplo durante a entrevista (mas também durante o pós-teste, como indica a quinta linha da tabela 2, para o estudante CL) para aplicação do conceito de conservação de energia. Estes fatos, que os estudantes utilizaram exemplos não utilizados anteriormente, indicam a capacidade de utilizar as representações animadas internalizadas para outras situações-problemas, e que as simulações não apenas auxiliam cognitivamente os estudantes em situações discutidas durante o uso do computador, mas também em outras.

CONCLUSÃO

Qual o valor de um software didático como uma simulação conceitual computacional? A nosso ver, pode-se expor este valor como uma hipótese de trabalho de como simulações computacionais enriquecem o aprendizado, segundo o referencial teórico de Campos Conceituais: Estes softwares dão ao estudante acesso a representações que foram historicamente construídas, discutidas, e por assim dizer reconstruídas durante uma etapa de solução de problemas históricos por uma determinada ciência. No nosso caso, a física. Uma vez implementadas estas representações (em geral gráficas) em um software e sendo executadas em um computador, capaz de fazer operações lógico-matemáticas e de tomar decisões (por loops if-then-else, do-while, etc), estas representações tornam-se animadas, e tanto podem ser executadas autonomamente pelo software, como por demanda e comando do usuário, da forma particular que o usuário deseje, e ambas estas formas são internalizadas e posteriormente utilizadas pelo usuário (neste caso estudante) para resolução de situações-problemas, como observado pela internalização das representações de conservação de energia e da velocidade (Tabelas 1 e 2). A programação destas representações computacionais é realizada de acordo com regras que, em bons softwares, são cientificamente consistentes.

Agora, com a metodologia proposta por Stephens e Clement (2010), podemos identificar os gestos que são produzidos após uso de ferramentas computacionais, que indicam a internalização de animações (gestos animados) e representações estáticas (gestos estáticos), que auxiliam e potencializam o aprendizado de conceitos científicos. Em particular, foram identificados gestos específicos, acima descritos, que indicam uma espécie de linguagem não-verbal das imagens geradas pela estudante. Em especial, existem eventos onde os estudantes geram seqüências de gestos que indicam operações mentais específicas com o objetivo de resolver uma determinada situação-problema. Estes gestos podem ser lidos como uma seqüência de signos indicando a utilização de imagens mentais estáticas e animadas que auxiliam o estudante a resolver uma situação-problema, mesmo que o discurso verbal do estudante não se refira diretamente a esta visualização, pois sua explanação utiliza o processo mental imagístico, mas não necessariamente faz menção a este processo. Se fossemos fazer uma analogia lingüística, é como se ocorresse

simultaneamente, dois discursos durante a entrevista, um verbal e outro não-verbal, que dá suporte ao primeiro. O papel da simulação é o de fornecer representações (signos) que fortalecem e enriquecem o discurso não-verbal, potencializando o aprendizado conceitual que se torna evidente no discurso verbal. Estas representações animadas fornecidas pelo uso da simulação computacional são internalizadas sob a forma de representações e invariantes operatórios associados ao conceito de energia, e seu uso livre é aplicado para resolver problemas. Sua capacidade de aplicar o conceito de conservação de energia é substancialmente melhorada com o uso de software.

Em suma, a nosso ver, este é uma das perspectivas oferecidas pelo uso de TI no aprendizado de conceitos científicos, a capacidade de oferecer ao estudante a possibilidade de assimilar representações e invariantes operatórios, em um curto espaço de tempo, que são úteis para o aprendizado de conceitos científicos. E, como discutido no parágrafo anterior, estas representações e invariantes internalizados realizam “simulações mentais” (termo cunhado por Clement) que ampliam a capacidade cognitiva do estudante, liberando memória de trabalho e liberando carga cognitiva, permitindo domínio progressivo de situações-problemas e crescimento conceitual, como por ser lido pela Teoria de Campos Conceituais. Recomendamos, portanto, a investigação desta hipótese de trabalho afim de que se torne uma contribuição mais pertinente aos pesquisadores da área de Ensino de Ciências e matemática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIBALI, M. W. **Gesture in spatial cognition: Expressing, communicating, and thinking about spatial information**, *Spat. Cogn. Comput.* V. 5, p. 307, 2005.
- DE JONG, T.; MARTIN, E.; ZAMARRO, J.M.; ESQUEMBRE, F.; SWAAK, J.; VAN JOOLINGEN, W.R. **The integration of computer simulation and learning support: An example from the physics domain of collisions**. *Journal of Research in Science Teaching*, v.36, n.5, p. 597-615, 1999.
- DOERR, H.M. **Experiment, Simulation and Analysis: An integrated Instructional Approach to the Concept of Force**. *International Journal of Science Education*, v.19, n.3, p. 265-282, 1997.
- FEYEREISEN, P. AND I. HAVARD, I. **Mental imagery and production of hand gestures while speaking in younger and older adults**, *J. Nonverbal Behav.* v. 23, p. 153, 1999.
- GABEL, D. **The complexity of chemistry and implications for teaching**. *Boston*, p. 233-248, 1998.
- HEGARTY, M.; MAYER, S.; KRIZ, S.; KEEHNER, M. **The role of gestures in mental animation**, *Spat. Cogn. Comput.* v. 5, p. 333, 2005.
- HOSTETTER, A. B.; ALIBALI, M. W. **On the tip of the mind: Gesture as a key to conceptualization**. In K. Forbus, D. Gentner & T. Regier (Eds.), *Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pp. 589-594. Mahwah, NJ: Erlbaum, 2004.
- IVERSON, J. M.; GOLDIN-MEADOW, S. **What's communication got to do with it? Gesture in children blind from birth**, *Dev. Psychol.* v. 33, p. 453, 1997.
- IVERSON, J. M.; GOLDIN-MEADOW, S. **Why people gesture when they speak**, *Nature* v. 396, p. 228, 1998.

- JOHNSTONE, A.H. **The development of Chemistry Teaching.** *J. Chem. Educ.*, v.70, n.9, p. 701-705, 1993.
- LOZANO, S.; TVERSKY, B. **Proceedings of the Twenty-Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society**, BARA B.; BUCCIARELLI, M. (Eds.) Stresa, Italy: Erlbaum, 2005.
- LYNN, S.; CLEMENT, J. J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 6, n° 020122, 2010.
- KOZMA, R.B.; RUSSELL, J. **Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena.** *Journal of Research in Science Teaching*, v.34, n.9, p. 949-968, 1997.
- KRAUSS, R. M. **Why do we gesture when we speak?** *Curr. Dir. Psychol. Sci.* v. 7, p. 54, 1998.
- MCNEILL, D. **Hand and Mind: What Gestures Reveal About Thought.** Chicago: University of Chicago Press, 1992.
- NOH, T.; SCHARMANN, L.C. **Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem- solving ability.** *Journal of Research in Science Teaching*, v.34, n.2, p. 199-217, 1997.
- REIS, M. A. F.; SERRANO, A. **Uma análise do uso de simulações computacionais no ensino de colisões.** *Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física.* Jaboticatubas: Sociedade Brasileira de Física, 2004. Disponível em <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/sys/resumos/T0027-2.pdf>>
- ROTH, W.-M. **From gesture to scientific language,** *J. Pragmat.* v. 32, p. 1683, 2000.
- SCHERR, R. **Gesture analysis for physics education researchers.** *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, v. 4, n° 010101, 2008.
- STEPHENS, A. LYNN; CLEMENT, JOHN J. **Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students.** *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 2010.
- SWELLER, J. **Cognitive load during problem solving: Effects on learning.** *Cognitive Science*, v. 12, p. 257–285, 1988.
- VERGNAUD, G. **Quelques orientations théoriques et methodologiques dès recherches françaises en didactique des mathématiques.** *Recherches en Didactique des Mathématiques*, v.2, n.2, p. 215-232, 1981.
- _____. **Teoria dos campos conceituais.** In: NASSER, L. (Ed.). *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática.* Rio de Janeiro, p. 1-26, 1993.
- WU, H.-K.; KRAJCIK, J.S.; SOLOWAY, E. **Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom.** *Journal of Research in Science Teaching*, v.38, n.7, p. 821-842, 2001.