

Real x Virtual no Aprendizado de Circuitos Elétricos: Um estudo comparativo de quatro diferentes tipos de ferramentas de processamento extracerebral com relação às imagens mentais e drivers de estudantes que as utilizaram.

**Real vs. Virtual in Electrical Circuit Learning: A
comparative study of four different types of extracerebral
processing tools with respect to the mental images and
drivers of students who used them.**

Luís Paulo Basgalupe Moreira

Instituto sul-rio-grandense – campus Pelotas
lp-rs@pelotas.ifsul.edu.br

Agostinho Serrano de Andrade Neto

Ulbra Canoas
asandraden@gmail.com

Resumo

A discussão sobre o uso de laboratórios virtuais no aprendizado de conceitos físicos frente ou versus o uso de laboratórios reais é perene na área de ensino de Física. Buscou-se comparar a utilização de quatro tipos diferentes de ferramentas de processamento externo – culturais e hiperculturais –, identificando de que forma diferenciada cada uma pode contribuir na geração de imagens mentais em estudantes no conteúdo de circuitos elétricos. Por meio de testes e entrevistas com estudantes, foram identificadas quatro categorias de imagens mentais: de circuito elétrico, corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica. À luz do referencial teórico da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), observou-se a mudança cognitiva e o diálogo entre as diferentes ferramentas na composição do discurso gestual/imagístico do estudante. Concluiu-se que, dentro da perspectiva teórica e metodológica utilizada, de forma surpreendente, as imagens mentais foram mais ricas, com as explicações dos estudantes, para a modelagem computacional.

Palavras-chave: circuitos elétricos, experimentos reais, experimentos virtuais, teoria da mediação cognitiva.

Abstract

The discussion about the use of virtual laboratories in the learning of physical concepts versus or against the use of real laboratories is perennial in the area of Physics teaching. We sought to compare the use of four different types of external processing tools - cultural and hypercultural -, identifying how differently each can contribute to the generation of mental

images in students in the content of electrical circuits. Through tests and interviews with students, four categories of mental images were identified: electric circuit, electric current, potential difference and electrical resistance. In the light of the theoretical reference of the Theory of Cognitive Mediation (CMT), we observed the cognitive change and the dialogue between the different tools in the composition of the student's gestural / imagistic discourse. It was concluded that, within the theoretical and methodological perspective used, surprisingly, the mental images were richer, with the explanations of the students, for the computational modeling.

Key words: electrical circuits, real experiments, virtual experiments, cognitive mediation theory.

Introdução

O tema circuitos elétricos na maioria das vezes apresenta aos estudantes um enorme desafio na aprendizagem que vai desde conceitos básicos até o desenvolvimento em circuitos elétricos bem complexos. Ao mesmo tempo em que se percebe essas dificuldades, também é o momento em que se procura maneiras que sejam eficientes dentro do estudo desse campo conceitual. Sempre é possível buscar e encontrar maneiras que possibilitem consideráveis avanços no ganho cognitivo dos estudantes.

Com o notável aumento no uso de microcomputadores pelos estudantes nos últimos anos, é possível perceber que existe uma possibilidade muito grande de se associar a aprendizagem de conteúdos de Física. Neste caso especialmente, está-se trabalhando como associar essa ferramenta ao ensino de eletricidade. Ao mesmo tempo em que se buscou introduzir as novas tecnologias, não houve afastamento das tradicionais. São estratégias pedagógicas que podem se adequar perfeitamente ao estudante de hoje, pois o computador passou a ser de uso diário, envolvendo o estudante nas diferentes plataformas que estão à sua disposição. A utilização das TICs necessita estar associada a situações reais. A discussão sobre o uso de laboratórios virtuais no aprendizado de conceitos físicos frente ou versus o uso de laboratórios reais é perene na área de ensino de Física. Neste trabalho, buscou-se oferecer uma luz a esse debate dentro da perspectiva de imagens mentais.

Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC)

Souza (2012) propõe uma teoria cognitiva baseada na ideia de que a inteligência humana não resulta apenas de um funcionamento cerebral, mas também da complementação desse funcionamento pelo processamento auxiliar realizado por estruturas externas ao indivíduo (mediação), o que inclui objetos, artefatos, grupos sociais e culturas. Com a revolução digital, surgiram as TICs e estas passaram a ser uma nova forma de mediação há algum tempo. É a sociedade mudando com o auxílio da cultura. Mesmo considerando que a capacidade humana cognitiva cresceu nos últimos séculos, não se pode considerar que isso seja suficiente para que o homem possa resolver todos os problemas que lhe surjam. É possível deduzir que a expansão da capacidade cognitiva dos seres humanos se dá por meio de alguma forma de processamento extracerebral de informações.

Souza *et al* (2004) procuram explicar o processamento da informação pelo cérebro, propondo assim uma abordagem ampla para a cognição humana. A TMC é uma teoria contextualista e construtivista. Os autores apresentam o desafio de “fornecer uma síntese teórica coerente de teorias psicológicas e estruturais que são geralmente vistas como separadas, ou mesmo em

conflito umas com as outras, de modo a produzir um modelo unificado” (SOUZA *et al*, 2004, p. 2321). A TMC é fundamentada e referenciada em cinco premissas relativas à cognição humana e ao processamento de dados:

- 1) A espécie humana tem como maior vantagem evolutiva a capacidade de gerar, armazenar, recuperar, manipular e aplicar o conhecimento de várias maneiras; 2) A cognição humana é efetivamente o resultado de algum tipo de processamento de informação; 3) Sozinho, o cérebro humano constitui um finito e, em última instância, seu recurso de processamento de informação é limitado; 4) Praticamente qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas em algum grau; 5) Seres humanos complementam o processamento da informação cerebral por interação com os sistemas físicos externos organizados. (SOUZA *et al*, 2004, p. 2321; tradução nossa)

A capacidade do cérebro humano de complementar o processamento de informações com o uso de sistemas físicos organizados é, para os autores dessa contribuição, uma das suas melhores características e culmina com a invenção dos computadores. Com o surgimento da Revolução Digital, houve mudanças importantes nas sociedades e culturas de todo o mundo, influenciando o homem em níveis individuais e coletivos pelo impacto das tecnologias digitais sobre o pensamento, surgindo desse contexto uma nova cultura, a hipercultura (SOUZA *et al*, 2004).

Segundo os autores, mesmo antes dos adventos computacionais, o cérebro humano já se utilizava de mediações externas auxiliares, porém essas eram mediações físicas do ambiente, objetos, sistemas simbólicos e artefatos. Essa mediação, para os autores, era denominada de mediação psicofísica cultural. Um exemplo dessa mediação no estudo da Física é utilizar em experimentos as formas criadas por limalha de ferro quando expostas a um campo magnético para descrever campo elétrico.

A cognição humana é o resultado de processamento de informações, e uma parte importante desse processamento é realizada fora do cérebro. Nesse sentido, utilizou-se o processamento externo por meio da interação com estruturas do ambiente para aumentar a capacidade de processamento de informações feitas pelo cérebro. Por exemplo, quando se utiliza um computador para processar informações, ou mesmo realizar um cálculo mais complexo, está-se utilizando-o como um mecanismo externo de mediação. Para tanto, precisa-se construir alguns mecanismos internos que possibilitem manusear esse computador e compreender não somente o seu processamento, mas também as informações que ele está oferecendo. Esses mecanismos internos é que tornam possível a utilização dos mecanismos externos e são chamados pelos autores de drivers, tecendo uma analogia à computação, própria a uma abordagem baseada na metáfora computador-cérebro da psicologia cognitiva.

Souza (2006) considera a emergência de uma nova forma de mediação, na qual os mecanismos externos passam a incluir os dispositivos computacionais e seus impactos culturais, enquanto que os mecanismos internos incluem as competências necessárias para o uso eficaz de tais mecanismos externos. Isso é o que ele chama de mediação social.

Partindo-se do princípio de que a cognição humana depende fundamentalmente do processamento de informações e considerando que o cérebro humano isolado se apresenta como insuficiente para explicar a maior parte do desempenho cognitivo, é forçoso concluir que outros mecanismos de processamento de informação estão envolvidos.

Um modelo científico do pensamento humano precisa levar em conta não apenas uma esfera intracerebral do intelecto, mas também uma dimensão extracerebral em que ocorre a manipulação de dados, informações e conhecimento. É possível chamar a todo esse processo de “mediação” (ver Figura 1).

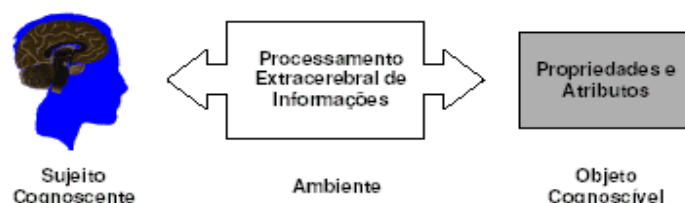


Figura 1: O processo de mediação

O que se está introduzindo aqui é uma nova noção, segundo a qual, do ponto de vista de um determinado indivíduo, a mediação é mais do que um filtro, sendo, de fato, um componente ativo que age como um verdadeiro dispositivo computacional, realizando diversas operações lógicas sobre os dados e as informações associados a um determinado objeto e situação.

A mediação social é um ponto importante na TMC. Quando se colocam diversos sujeitos num mesmo ambiente, fatalmente algum tipo de interação começa a ocorrer entre eles. Pode-se observar isso na ilustração (ver Figura 2): Sejam A, B e C sujeitos/objetos. À medida que A interage com B via mediação psicofísica e B interage com C da mesma forma, é possível reduzir isso a uma interação indireta entre A e C. Caso A, B e C estejam em interação devido a algum tipo de convívio social estável, é possível afirmar que se trata de uma verdadeira mediação social entre A e C.



Figura 2: Mediação social

Os circuitos elétricos têm um campo conceitual bastante abstrato e, sendo assim, é necessário recorrer a signos para poder penetrar mentalmente no mundo dos elétrons. Para compreender o funcionamento de um circuito elétrico, o estudante precisa criar modelos mentais. Para entender tal assunto, os estudantes precisam estar familiarizados com a multiplicidade de condições, com o significado de modelos científicos e também com a diferença entre os níveis macroscópicos (fenômenos físicos), microscópicos (elétrons, cargas) e representacionais (simbólicas e representações matemáticas). Segundo Johnstone (1991), os conteúdos podem ser representados nesses três níveis. O nível macroscópico corresponde às representações mentais adquiridas a partir da experiência sensorial direta, ou seja, é construído mediante a informação proveniente dos sentidos; já o nível microscópico refere-se às representações abstratas, a exemplo de modelos que os estudantes têm sobre a Física associados ao esquema de partículas; o outro nível chamado de simbólico expressa os conceitos que os estudantes têm a partir de fórmulas, equações, expressões matemáticas, gráficos, entre outros.

Definição do Problema e Método de Pesquisa

O foco principal da pesquisa é compreender de que forma é alterada a estrutura cognitiva dos estudantes após a utilização de diferentes ferramentas culturais e hiperculturais empregadas no

ensino de Física como auxílio na resolução de problemas em circuitos elétricos. Na perspectiva da fundamentação teórica que serve de base a esta pesquisa, é possível verificar que a utilização de mecanismos externos no processo de mediação cognitiva tem como consequência propiciar um aumento da capacidade de processamento de informações do cérebro e, portanto, cria melhores condições para a cognição a partir da modificação e/ou criação de drivers na estrutura cognitiva dos estudantes. Para que se pudesse fazer tal verificação, foi montada uma sequência de atividades e elas foram propostas aos estudantes de maneiras diferentes para que fosse possível acompanhar o ganho cognitivo nas diversas situações.

Os estudantes participantes da experimentação didática são de cursos de tecnologia. As atividades foram aplicadas na turma do Curso Tecnólogo em Sistemas de Internet (TSI) do Instituto Federal Sul-rio-grandense, campus Pelotas.

Embora com um curto espaço de tempo e uma carga horária também reduzida, buscou-se sair das usuais aulas teóricas, apresentando o conteúdo de uma forma mais atrativa, especificamente para estudantes de um curso que está inserido dentro da informática.

De acordo com Papert (1980), um bom ambiente de aprendizagem requer um contato livre entre o utilizador e o computador. Para isso, deverão ser disponibilizadas aos estudantes “ferramentas que viabilizem a exploração dos nutrientes cognitivos, ou seja, os elementos que compõem o conhecimento”. Dessa forma, utilizou-se também ferramentas que eles estão acostumados a usar no seu dia a dia. O uso de softwares de modelagem e simulação em um curso superior congrega a experiência dos estudantes com a ferramenta e uma forma diferente de aprendizagem. Os estudantes apresentam experiência em diferentes softwares, o que pode ser muito útil em sala de aula na utilização de outros softwares. Então, dessa forma, juntou-se a experiência trazida por eles para rodarem ferramentas que falem de Física. Montou-se assim um ambiente próprio para que os estudantes se sentissem à vontade e pudessem interagir com os conceitos da Física. A proposta de pesquisa foi de aplicação do material instrucional confeccionado para atividades práticas e verificação do comportamento desses estudantes conforme aprendiam utilizando as ferramentas propostas, sejam elas aplicadas de forma isolada ou combinadas. Foi preciso propor as atividades de uma forma cautelosa para que se pudesse sair do ambiente deles, estudantes, de certa forma virtual, para um ambiente que se pode chamar de real ou, ainda, concreto.

Os circuitos elétricos foram trabalhados de quatro formas distintas. A primeira, a considerada forma “tradicional”, com a utilização do “quadro negro e giz” para que se pudesse ter a visão do estudante com essa aprendizagem para se ter um parâmetro. A segunda com a utilização do software Modellus. Modellus é um software que permite trabalhar com modelos matemáticos em Matemática, Física e Química, não só para serem feitos cálculos ou esboçar gráficos, mas também para, a partir desses modelos, poder fazer simulações de situações previstas por eles (TEODORO, 2008). As limitações inerentes a cada modelo podem ser discutidas e o software, por si só, não cria um fenômeno físico. Por isso, podem ser consideradas simulações de certas situações reais.

No ensino de física, por meio desse software, pode-se estudar diversos fenômenos. As vantagens na utilização de uma simulação no Modellus residem no fato de o estudante poder variar fácil e rapidamente os parâmetros envolvidos nos modelos e obter uma saída gráfica, além de animação e ferramentas de medição. Neste estudo, o software foi utilizado com a finalidade apenas de simulação, proporcionando aos estudantes o manuseio das grandezas físicas resistência elétrica, diferença de potencial e corrente elétrica, além da visão geral do circuito elétrico.

A terceira forma proposta para estudar os conteúdos relacionados a circuitos elétricos foi a utilização do PhET, Simulações Interativas de Ciência. O Projeto PhET (*Physics Educational*

Technology) foi iniciado por Carl Wieman, ganhador do prêmio Nobel em Física de 2001 por conseguir a condensação de Bose-Einstein. Wieman usava um applet de Martin Goldman (do site physics2000, um projeto anterior e muito famoso da mesma universidade). Java é uma multiplataforma e tem alta performance (por ser uma linguagem estática e compilada). Nessa situação, os estudantes podem trabalhar livremente os circuitos. A montagem é livre e existem também instrumentos de medida que possibilitam que sejam utilizados como em circuitos reais. Considera-se esse software, embora haja outros, muito próximo da realidade. A escolha se deu em muito pelo fato do software ser gratuito, assim como o Modellus. Utilizando-se softwares gratuitos, espera-se alcançar um número muito maior de estudantes que se interessem em estudar circuitos elétricos.

Por último, a utilização de painéis de componentes como forma de trabalhar circuitos elétricos de forma real. Com relação a esses painéis, eles foram especialmente construídos com o objetivo de dar grande liberdade ao estudante de construir um circuito elétrico. A proposta era que ele conseguisse pensar a partir das simulações realizadas, sejam as realizadas no Modellus ou no PhET. Com fios e componentes como resistores e lâmpadas, foi possível a montagem de um circuito funcional. Optou-se por deixar fixos no painel uma fonte de alimentação, com um interruptor e um multímetro.

As atividades práticas foram planejadas e apresentadas aos estudantes em 13 atividades. Após essas atividades, foi proporcionada uma tarefa final envolvendo resolução de problemas em que havia uma possibilidade de resolverem com duas ferramentas de livre escolha deles e um problema com uma ferramenta previamente delimitada.

Análise dos Resultados

Após a tarefa final com resolução dos problemas, foi realizada uma entrevista com os estudantes com o objetivo de analisar os gestos e a fala dos estudantes. A metodologia ora empregada utiliza a técnica de entrevista Report Aloud, por meio da qual o estudante reporta seu processo de pensamento enquanto responde às questões, associadas à análise de gestos descritivos e inéditos no ensino de Física. Existe uma produção do autor original da análise gestual, Clement (2006, 2009), porém difere deste trabalho pela utilização da técnica Think Aloud. A diferença entre as duas técnicas consiste em que, no Think Aloud, o entrevistador está diretamente buscando identificar o raciocínio enquanto o estudante realiza as atividades. Neste caso, dever-se-ia acompanhar o estudante por meio de entrevistas enquanto utilizava as simulações.

Considera-se que essa técnica poderia produzir alterações na forma e nos procedimentos adotados pelo estudante durante a execução da atividade. Por sua vez, na técnica Report Aloud, apesar de o pesquisador não saber quais foram os passos utilizados pelo estudante no momento da execução da tarefa, questionou-se sobre quais os processos de execução da atividade. Nesta pesquisa, em particular, analisam-se os gestos com a intenção de obter uma melhor interpretação das imagens mentais que os estudantes demonstram enquanto respondem. Aqui os gestos são considerados como uma linguagem própria, e não um complemento da linguagem verbal; pelo contrário, a união desses dois recursos é considerada importante ferramenta na identificação das imagens mentais.

A metodologia não se detém exclusivamente nos gestos que são realizados concomitantemente com a fala, sem preterir os gestos realizados independentemente da fala. Os gestos realizados sem a fala têm, na maioria das vezes, uma interpretação vaga, enquanto que as situações que envolvem gestos concomitantes com a linguagem oral têm uma interpretação facilitada e estas são superiores aos gestos realizados dissociados da linguagem verbal.

Durante a análise dos vídeos, verificou-se a existência de alguns padrões de gestos, que eram realizados por mais de um estudante. Dessa forma, elaborou-se uma classificação dos principais

gestos realizados, por meio de uma sigla que, posteriormente, seria utilizada nas transcrições para identificar a realização de gestos, com o momento do vídeo em que esse gesto foi realizado. A referida classificação foi dividida, basicamente, em quatro tipos: gestos associados à circuito elétrico, gestos associados corrente elétrica, gestos associados à diferença de potencial e gestos associados à resistência elétrica. Classificamos também os gestos como sendo de nível microscópico ou nível macroscópico. No nível microscópico a explicação do conceito está pautada em elementos que remetem para objetos não diretamente visíveis e/ou palpáveis já o nível macroscópico a explicação do conceito está pautada no que é visível e/ou palpável.

Com essa metodologia, foi possível levantar o que os estudantes pensaram ao resolver cada problema com a utilização de determinada ferramenta, ou escolhida livremente por eles ou já determinada no enunciado. Embora não seja o foco deste trabalho, as entrevistas foram gravadas com posterior transcrição e com a análise também do gestual (MONAGHAN; CLEMENT, 1999). Dos 15 estudantes que participaram dessa fase da pesquisa, 11 escolheram resolver os problemas apresentados com lápis e papel e o software PhET, 2 optaram por resolver os problemas utilizando o PhET e o painel de circuitos, 1 estudante resolveu os problemas utilizando Modellus e o painel de circuitos e 1 estudante apresentou a solução dos problemas com lápis e papel. Nas entrevistas, foi possível identificar, de forma indireta, as imagens mentais que os estudantes utilizaram durante as suas respostas na resolução dos problemas propostos e, conseqüentemente, os drivers.

Desenvolveu-se na sequência um levantamento de como os gestos surgiram com a utilização das ferramentas utilizadas e estas foram relacionadas com as grandezas físicas trabalhadas. Pela análise, foi possível identificar quatro categorias de imagens mentais: de circuito elétrico, corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica. Dos 15 estudantes que trabalharam e realizaram entrevista, apenas um não demonstrou gestos durante a entrevista, portanto este não aparece no levantamento. Sendo assim, temos os gestos de 14 estudantes classificados.

Os gestos efetuados pelos estudantes estão organizados em tabelas para uma melhor análise. Nessas tabelas, além da quantidade de gestos mostrados por cada estudante, ainda estão classificados em um primeiro momento os gestos de acordo com o nível de representação, microscópico ou nível de representação macroscópico. Na Tabela 1, aparecem os gestos a partir do PhET e do Modellus, na Tabela 2 os gestos produzidos a partir da utilização do painel de componentes e do lápis e papel. Não achamos necessário mostrar os gestos em que não foram identificados vínculo com nenhuma das ferramentas utilizadas. Estes gestos estavam vinculados a uma grandeza, mas não foi possível interligar a sua origem com a ferramenta.

Foi verificado nas Tabelas 1 e 2 que os gestos gerados após os estudantes terem contato com todas as quatro ferramentas e resolverem problemas utilizando-as resultam em um gestual mais acentuado quando da utilização do PhET. Foram levantados 76 gestos na ferramenta que mais gestos proporcionou, evidenciando, assim, a aquisição de drivers na resolução dos problemas com a utilização dessa ferramenta.

	PHET												MODELLUS											
	CIR			COR			DDP			RES			CIR			COR			DDP			RES		
	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma
1	3		3	6	5	1	1		1															
2				3	3																			
3	2		2	1	1							3		3										
4																								
5	6		6	1	1							2		2	4		4							
6	1		1																					
7	4		4	1	1				1		1	3		3										
8																								
9	3		3	4	4							1		1										
10	2		2	3	3							1	1											
11																								
12																								
13	2		2	1	1																			
14	5		5	10	3	7	4		4	2														
tot	28			30			6			12			4			0			0			0		
	76												4											

Tabela 1: Análise PhET e Modellus

Esperava-se que o Modellus, pela circunstância de ser também um software, proporcionasse um melhor resultado. Isso dá indícios de que a preferência recai sobre a modelagem. Parece que a escolha pela modelagem pode se dar por ser esta considerada pelos estudantes mais próxima do real. Não se esperava que houvesse o mesmo desempenho em ambos os softwares, mas a expectativa era que se alcançasse um resultado bem diferente do que se atingiu.

	PAINEL												LÁPIS E PAPEL											
	CIR			COR			DDP			RES			CIR			COR			DDP			RES		
	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma	t	mi	ma
1	5		5									1		1										
2														1		1							1	1
3	1		1					1		1		1		1										
4	2		2											1		1								
5														1		1								
6	2		2																					
7	2		2	3	3							1		1										
8														9		9								
9																								
10	8		8											4		4								
11	4		4	1		1																		
12	2		2											5		5				1	1			
13														3		3	5	3	2	1		1		
14														2		2	3		3					
tot	26			4			1			3			26			8			2			1		
	34												37											

Tabela 1: Análise lápis e papel e painel de componentes

Ainda foram levantados 15 gestos que não tiveram sua classificação vinculada a uma das quatro ferramentas trabalhadas. Destes, 4 estavam relacionados com circuito elétrico, 2 com corrente elétrica, 7 com diferença de potencial e 2 com resistência elétrica.

Fica evidente pela análise que a ferramenta utilizada que mais gerou gestos foi o software PhET. Há fortes indícios de que a ferramenta proporcionou ganhos cognitivos com aquisição de drivers dentro do estudo de circuitos elétricos. Os 76 gestos demonstram que a utilização do software PhET foi marcante na solução dos problemas, com a presença de imagens mentais e drivers estáticos, dinâmicos, microscópicos e macroscópicos, destacando-se inclusive em relação à atividade de laboratório.

Considerações Finais

Foi possível verificar, ao longo desta pesquisa, que, devido ao fato de que os estudantes trabalharem com diferentes ferramentas, eles adquiriram drivers diversos. Destes, a utilização

do software PhET foi marcante na solução dos problemas, com a presença de imagens mentais e drivers estáticos, dinâmicos, microscópicos e macroscópicos, destacando-se inclusive em relação à atividade de laboratório. Já na comparação entre os dois softwares, é possível observar que o PhET teve uma superioridade sobre o Modellus, também na geração de drivers e representações mentais. Isso surpreendeu, tendo em vista que as atividades desenvolvidas no Modellus possuíam um grau de dificuldade menor do que as desenvolvidas no PhET. Outra situação que chama a atenção nessas atividades é que o estudante desenvolve gestos espontâneos que foram adquiridos a partir da utilização das ferramentas propostas dentro do presente estudo. O fato de os estudantes terem sido submetidos a várias ferramentas e especificamente à intervenção do PhET – uma atividade de modelagem – evidencia uma maior mudança cognitiva em relação às demais. Devido a esse processo, está caracterizada a aquisição de uma quantidade maior de drivers hiperculturais com o software PhET. À luz do referencial teórico da TMC, foi possível observar a mudança cognitiva e o diálogo entre as diferentes ferramentas na composição do discurso gestual/imagístico do estudante. Concluiu-se que, dentro da perspectiva teórica e metodológica utilizada, de forma surpreendente, as imagens mentais foram mais ricas, com as explicações dos estudantes, para a modelagem computacional, seguida para utilização de experimentos reais, lápis e papel e, por último, simulações computacionais. Isso dá indicativos de que os drivers foram gerados e os estudantes liberaram sua memória de trabalho, ampliando sua capacidade cognitiva, de forma que situações propostas em problemas tiveram um crescimento conceitual que, ao nosso ver, foi proporcionado principalmente pela mediação hipercultural dentro das atividades que esses estudantes desempenharam ao longo do semestre, uma vez que não havia indícios de que eles tenham ingressado no curso com tais capacidades.

Referências

- CLEMENT, John. “Thought experiments and imagery in expert protocols.” Model-based reasoning in **science and engineering**, 2006.
- CLEMENT, J. J., & Stephens, A. L. (2009). **Documenting the use of expert scientific reasoning process by high school physics students**. *Physics Education Research*, 6(2), 20122–1 – 20122–15.
- JOHNSTONE, A. H. Why Science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, 7(2), 75-83, 1991
- MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 921– 944, 1999.
- PAPERT, Seymour. **Mindstorms: children, computers, and powerful ideas**. Basic Books, Inc., 1980.
- SOUZA, B. C. **A teoria da mediação cognitiva: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital**. Tese (Doutorado em Psicologia Cognitiva), Programa de Pós-Graduação em Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.
- SOUZA, B. C. de. A teoria da mediação cognitiva. In L. Meira & A. Spinillo (Org.) **Psicologia cognitiva: cultura, desenvolvimento e aprendizagem**. Recife: Editora da UFPE. 2006.
- SOUZA, B. C. de. **A teoria da mediação cognitiva: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital**, 2004. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Disponível em: <<http://www.liber.ufpe.br/teses/arquivo/20040617095205.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

SOUZA, B. C. *et al.* Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, v. 28, n. 6, p. 2320–2330, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563212002026>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

TEODORO, Vítor M. N. D. **Mathematical modelling in science and mathematics education**: rationale and examples, Conference on Computational Physics 2008, Kaohsiung, (Congresso), 2008.