

A Influência das Simulações no Aprendizado de Colisões Mecânicas em Física

Agostinho Serrano
Jeferson Fernando de Souza Wolff

RESUMO

Neste artigo buscamos investigar experimentalmente as contribuições do uso de simulações para a aprendizagem significativa do conceito de colisões. Para esse estudo utilizamos análises verbal e gestual como indicadores de imagens mentais empregadas pelos alunos durante suas explicações. Os dados foram coletados por meio de entrevistas, realizadas antes e após as simulações, com o grupo experimental e o controle. Analisamos a ocorrência de uma possível evolução na aprendizagem desses diferentes grupos. Como aporte teórico, adotamos a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel como suporte da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), de Campello de Souza. Os resultados indicam que as representações mentais de conceitos associados ao estudo de colisões sofreram uma notável evolução, com modificações dos *drivers* devido às mediações hiperculturais, relacionadas com as simulações de colisões.

Palavras-chave: Simulações. Colisões. Aprendizagem significativa. Mediação cognitiva.

The Influence of Learning in Simulations of Mechanical Collisions in Physics

ABSTRACT

In this article we aim to investigate whether simulations contribute to the meaningful learning of the concept of Mechanic Collisions. For this study we used verbal and gestural analysis as indicators of mental imagery used by students during their explanations. Data was acquired from interviews, recorded before and after the simulation, with the experimental and control groups. We investigated a possible evolution in the learning for these different groups. As theoretical referential, we adopted Ausubel's theory of Meaningful Learning in conjunction with the Cognitive Mediation Theory (TMC) of Campello de Souza. The results indicate that mental representations of concepts associated to the learning of Collisions experienced an evolution, with modification of the *drivers* due to the hypercultural mediation, related with the collision simulation.

Keywords: Simulations. Collisions. Meaningful learning. Cognitive mediation.

Agostinho Serrano é Doutor em Física pela USP. Atualmente, é pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática da ULBRA. Endereço para correspondência: ULBRA/PPGECIM, Av. Farroupilha, 8001, prédio 14, sala 338, 92450 Canoas, RS. E-mail: asandraden@gmail.com

Jeferson Fernando de Souza Wolff é Doutorando em Ensino de Ciências e Matemática no PPGCIM da ULBRA. Atualmente, é professor do IFSul. Endereço para correspondência: IFSul, Campus Charqueadas: Rua General Balbão, 81, Bairro Centro, 96745-000 Charqueadas, RS. E-mail: jefersonwolff@terra.com.br

Acta Scientiae	Canoas	v.16	n.4	p.25-46	Ed. Especial	2014
----------------	--------	------	-----	---------	--------------	------

INTRODUÇÃO

A utilização de simulações é apontada por diversos autores como um importante instrumento para o ensino da Física, tendo uma boa aceitação entre os pesquisadores (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001, TAO; GUNSTONE, 1999). Podemos destacar que, entre os fatores apontados por esses pesquisadores, destaca-se o de que a utilização de simulações possui vantagens devido aos recursos gráficos, às animações que podem ser implementadas, à manipulação de dados e variáveis pelos estudantes, o que torna a simulação de grande valor pedagógico para a investigação de determinados fenômenos científicos, como no caso de colisões. Consideramos ainda que é um grande desafio a compreensão dos efeitos da utilização de simulações no ensino, principalmente no que diz respeito ao que é assimilado pelos alunos após a manipulação de uma simulação.

Neste trabalho utilizamos simulações para o ensino de colisões. O ensino de colisões pode ser baseado nas Leis de Newton ou nas chamadas Grandes Leis de Conservação (momento linear e energia), conforme estabelecido por Grimellini-Tomasini et al. (1993). Os autores recomendam o uso da abordagem para o Ensino de Física baseado nas grandes leis de conservação, pois:

[...] permite que a mecânica seja vista de uma perspectiva pós-newtoniana, estendendo seus limites de validade além da fronteira da mecânica clássica. Permite que uma grande gama de fenômenos possam ser enquadrados em um padrão compacto e autoconsistente, provendo o estudante com um dos exemplos mais iluminadores das potencialidades da descrição de fenômenos naturais dados pela física, e pode também contribuir para uma melhor compreensão do conceito de campo. (TOMASINI et al., 1993, p.169)

Assim, o que realizamos neste trabalho foi uma atividade de ensino de colisões com o suporte do uso de simulações, buscando investigar as contribuições que esta atividade pode trazer para a aprendizagem significativa do conteúdo de colisões. O estudo que iremos apresentar aqui será de dois casos-chave: estudantes de ensino superior, comparando um caso que realizou simulações com outro que não a realizou, buscando as alterações nos *drivers*,¹ principalmente devido à simulação.

Essa atividade foi desenvolvida como experimento-piloto do trabalho de uma tese de doutorado, em Ensino de Ciências e Matemática, que está sendo desenvolvida na Universidade Luterana do Brasil. O problema original é um desdobramento da investigação de Mestrado de Reis (2003). Na versão original, apenas foi analisado o material escrito produzido pelos alunos. Na atividade realizada por nós, além do material escrito, também foram analisadas entrevistas gravadas em vídeos, a fim de se investigar não apenas os resultados do uso das simulações, mas “como” estas simulações podem

¹A definição de *drivers* utilizada neste trabalho encontra-se na seção Teoria da Mediação Cognitiva.

modificar a cognição dos estudantes ao resolver problemas de colisões. Esta análise é feita prioritariamente através da análise da fala e dos gestos produzidos pelos estudantes.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho está alicerçado na teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel (1968, 1980), como um elemento suprateórico, e na Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), de Campello de Souza (2004, 2006) e Campello de Souza et. al. (2012) e na análise detalhada do fenômeno educativo.

Aprendizagem significativa

Ausubel considera a aprendizagem significativa uma teoria primordialmente cognitivista, resultado do armazenamento de informações na mente de quem aprende de forma organizada. Para ele, a interação entre o material a ser aprendido e a estrutura cognitiva de quem aprende, quando ocorre aprendizagem significativa, modifica-se de forma definitiva.

O conhecimento existente na estrutura cognitiva é definido por Ausubel (1968) como *subsunçor* ou a menos usual tradução “ideia-âncora”. Podemos dizer que aprendizagem significativa ocorre quando o novo conhecimento consegue se “ancorar” nos *subsunçores* existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Conforme Moreira (2010), as novas ideias, os novos conceitos e as novas proposições poderão ser aprendidos quando interagirem com outras ideias, outros conceitos e outras proposições, que sejam relevantes e estejam claros e disponíveis na estrutura cognitiva do aprendiz, servindo, dessa forma, como um ancoradouro a esses novos conhecimentos.

Se este novo conceito não se relacionar com os *subsunçores* que o aprendiz possui, ou seja, sem que ocorra qualquer interação com os conceitos relevantes, existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, teremos o que Ausubel classifica como aprendizado mecânico. Este tipo de aprendizado não passa de uma simples memorização de leis, conceitos ou fórmula e até mesmo de técnicas de resolução, tendo como objetivo utilizar este aprendizado em um intervalo de tempo específico, que, muitas vezes, culmina com o momento da prova.

Para que ocorra uma aprendizagem significativa, o novo conceito terá de ser potencialmente significativo, e terá de se relacionar com a estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não literal, modificando a estrutura cognitiva e que deixe um resíduo do novo conhecimento nos *subsunçores* modificados. Dessa forma, buscamos identificar os resíduos e as modificações nos *subsunçores*, após a utilização das simulações de colisões. Isto, para nós, é evidência de aprendizagem significativa.

Teoria da Mediação Cognitiva

A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) é recente e foi apresentada por Campello de Souza em sua tese de doutorado (2004), onde oferece uma explicação da forma como ocorre o processamento da informação pelo cérebro, sob a ótica do uso, do processamento extracerebral. A TMC é uma teoria contextualista e construtivista, tendo quatro pilares de sustentação: As teorias de Jean Piaget, Gérard Vergnaud, Lev Semenovitch Vygotsky e Robert Sternberg. Uma das aplicações especiais da TMC é a compreensão das mudanças individuais ou coletivas associadas à introdução das novas tecnologias, como ferramentas externas ao pensamento dos indivíduos.

Campello de Souza (2004, 2006) e Campello de Souza e Roazzi (2012) buscam descrever, na TMC, o crescimento da capacidade cognitiva que ocorre devido ao contato com elementos externos, como os objetos e o ambiente no que o autor denomina mediação psicofísica, a interação em grupo na mediação social, os sistemas simbólicos e artefatos culturais na mediação cultural e o computador e a internet na mediação hipercultural, conforme resumido na Tabela 1. A TMC analisa a cognição em termos da mediação e relação entre os processos intra e extracerebrais. A aquisição do conhecimento acerca de objetos ocorre através da interação com eles e também por meio da ajuda de estruturas no ambiente que fornecem capacidade de processamento adicional aos seus cérebros.

A tabela 1 é uma adaptação do trabalho de Campello de Souza (2006), em que aborda os estágios da evolução cognitiva.

TABELA 1 – Estágios da evolução cognitiva.

Estágios da Evolução Cognitiva		
Formas de Mediação	Mecanismos Externos	Mecanismos Internos
Psicofísica	Física dos Objetos e do Ambiente	Sistemas Sensoriais
Social	Interação em Grupo	Habilidades Sociais
Cultura	Sistemas Simbólicos, Práticas e Artefatos	Conhecimento Tradicional e/ou Formal
Hipercultural	Computador e Internet	Competências necessárias para uso das tecnologias

Fonte: Campello de Souza, 2006.

A necessidade da existência de uma combinação entre sistemas externos capazes de processamento de informação e mecanismos mentais internos, que permitem o seu uso, melhoram o desempenho cognitivo. Os sistemas externos abrangem desde componentes do mundo material até complexas estruturas socioculturais, incluindo também instrumentos e ferramentas diversos, tais como simulações computacionais. Já os mecanismos mentais internos são essencialmente representações mentais ativas, que contêm invariantes

operatórios – segundo teorizado por Vergnaud (1981,1993) – agregando conceitos, esquemas e competências, que funcionam como verdadeiros “*drivers*” de dispositivo. De acordo com a TMC, a aprendizagem ocorre quando o aluno, após mediação com algum elemento externo (psicofísico, social, cultural ou hipercultural), desenvolve representações e *drivers* que são originários da mediação supracitada.

A TMC considera os *drivers* como “máquinas virtuais” que por si só são utilizadas como novas competências capazes de instrumentalizar o aprendiz com a capacidade de resolver novas situações que, antes, não era capaz de resolver de forma autônoma. Os *drivers* possuem papel fundamental no contexto da mediação do pensamento humano como os mecanismos externos que vão muito além de simples conexão, conforme Ramos e Serrano (2013):

[...] para garantir o processo de mediação cognitiva com um mecanismo externo, nosso cérebro cria competências específicas para se comunicar com este mecanismo – que é um auxiliar no processamento de informação – e, a partir dessa mediação, adquire um ganho de processamento de informações que se mantém mesmo que a conexão com o mecanismo externo seja interrompida. (RAMOS; SERRANO, 2013, p.4)

Os mecanismos extracerebrais relacionados ao processamento de informações constituem-se uma vantagem cognitiva, que servem não apenas de coprocessadores de informações auxiliares ao cérebro, mas também auxiliar na interação com objetos cognoscíveis. Estes mecanismos deverão estar relacionados diretamente com *drivers* já existentes, já que a incorporação do objeto trará modificação ou formação de novos *drivers*. Assim, a cognição humana pode ser considerada como um conjunto de mecanismos internos e externos de processamento de informação, que juntos formam um sistema complexo e organizado. Um ponto importante a ser ressaltado é que os mecanismos internos de mediação poderão utilizar os mecanismos externos, mesmo quando estes não estejam presentes, ou seja, utilizar os seus *drivers*. Em nossa pesquisa, a simulação é mecanismo externo, e os mecanismos internos são as competências necessárias que o estudante deve possuir para realizar as simulações. Como hipótese, consideramos que os *drivers* do estudante sofrem modificações e que os alunos utilizam estes *drivers* para resolver problemas de colisões, mesmo quando o computador não está presente.

Em relação ao que foi exposto, verificamos que a TMC possui um potencial de explicar as possíveis alterações na estrutura cognitiva, que venha a surgir com a utilização das simulações computacionais, de forma eficaz, com a utilização de conceitos que surgiram após a Era Digital. Dessa forma, consideramos o modelo proposto pela TMC atraente e diretamente relacionável com a nossa proposta de pesquisa.

DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA E METODOLOGIA

O objetivo deste artigo é o de apresentar os resultados parciais de uma pesquisa que visa a compreender e a identificar as influências de simulações para a Aprendizagem Significativa. Para essa análise, levamos em consideração as expressões verbais e gestuais, relacionando como forma de expressar os mecanismos internos e externos de mediação cognitiva, a fim de verificar as alterações nos *drivers* dos estudantes.

As atividades foram realizadas em uma turma de Física I, da Universidade Luterana do Brasil, campus Canoas, com 26 estudantes do curso de Engenharia. Dividimos a turma em dois grupos: sendo um experimental, e o outro de controle. As atividades desenvolvidas por todos esses estudantes constaram de um pré-teste, uma simulação com a utilização de um guia de simulação e um pós-teste. Alguns estudantes foram selecionados de forma aleatória e entrevistados, individualmente, logo após o pré-teste. No grupo experimental, a entrevista foi realizada após realizarem a simulação e o pós-teste; enquanto que o grupo controle realizou o pós-teste e a entrevista sem terem tido contato com a simulação. Contudo, foi oferecida a oportunidade de os estudantes do grupo controle utilizarem a simulação após o fechamento da coleta de dados.

As simulações utilizadas foram elaboradas no *software* Modellus 4.01, sendo a primeira referente a uma bola abandonada de certa altura que colide com o solo e a segunda a simulação de dois carros que colidem na horizontal. Para cada uma dessas simulações, os alunos tinham a possibilidade de alterar parâmetros, como massa, velocidade inicial, coeficiente de conservação de energia, que constava do valor percentual de quanto da energia cinética seria conservada após a colisão.

Após as etapas do pré-teste e do pós-teste foram realizadas entrevistas individuais com 10 estudantes, assim divididos: 6 eram do grupo experimental e 4, do grupo de controle. Estas entrevistas ocorreram em média uma semana após a realização da simulação. Neste trabalho iremos apresentar o relato de apenas dois desses casos: um do grupo de controle e outro do grupo experimental.

Para a realização das entrevistas, filmadas após o pré-teste e o pós-teste, utilizamos uma técnica chamada de “*thinkaloud*” (SCHERR, 2008; STEPHENS; CLEMENT, 2010). Esta técnica consiste sucintamente em um método de coleta de dados onde o entrevistador (neste caso o professor) e o entrevistado (estudante) mantêm constante diálogo a respeito do que o entrevistado está pensando durante a execução de uma tarefa; no caso deste trabalho, a realização do pré-teste e do pós-teste. Durante as entrevistas, o professor entrevistador não se ateve apenas às questões do pré e pós-teste, mas também indagou em outras situações, com variações como o tipo de colisão, por exemplo.

Na análise das entrevistas gravadas, além do áudio, também nos detivemos a buscar algumas interpretações dos gestos utilizados pelos alunos, enquanto expressavam as suas ideias referentes ao pré-teste e pós-teste. Para isso, alicerçamo-nos nos trabalhos que vêm sendo desenvolvidos por Stephens e Clement (2008, 2010), cujos autores fornecem, de forma resumida, uma visão parcial das imagens mentais que o entrevistado possa estar

utilizando. Encontramos também outros trabalhos desenvolvidos que buscam relacionar os gestos utilizados e as possíveis imagens mentais, que poderão estar associadas às representações internas.

Nos trabalhos de Clement (1994, 2000, 2008) é considerado que o relatório verbal de imagens estáticas e dinâmicas, movimento das mãos, gestos descritivos e auto projeção são indicativos de imagens mentais. Porém, o autor chama a atenção de que devemos ter vários indicadores combinados para fornecer uma visão sobre as imagens mentais. Clement (2008) enumera vinte e oito categorias que auxiliam na identificação das possíveis imagens mentais, algumas das quais foram utilizadas neste trabalho.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir passaremos a descrever as análises, relacionando questões do pré-teste e do pós-teste que abordem temas semelhantes, a fim de identificar possíveis *drivers*.

Pré-teste Aluno 1

O Aluno 1, pertencente ao grupo de controle, apresenta dificuldades nos conceitos de energia e, principalmente, de conservação do momento linear. Em seu pré-teste, algumas questões não foram respondidas, enquanto as outras respostas estão diretamente associadas às concepções alternativas do estudante. Quanto à utilização de gestos, verificamos que, em apenas seis momentos, gesticula durante as suas respostas do pré-teste, pois, na grande maioria das vezes, não se utilizam gestos durante a explanação oferecida ao professor. Passaremos a apresentar alguns momentos da entrevista do pré-teste do Aluno 1.

O Aluno 1, ao ser questionado sobre o comportamento de uma esfera que é abandonada de certa altura e colide com solo de forma elástica, responde utilizando gestos para a representação de imagens mentais. A primeira situação apresentada pelo Aluno 1 é a de uma imagem dinâmica, em que juntamente com a fala, ele gesticula para representar o movimento de queda de um objeto que colide com o solo e novamente retorna até certa altura. Para explicar, utiliza gestos, conforme a Figura 1, cujo o movimento da mão representa a descida e a subida da bola após a colisão com o solo. Nesta situação, conforme a TMC, utiliza *drivers* que foram adquiridos através da mediação psicofísica² em sua resposta.

² O sujeito possui sua interação com os objetos condicionada, podendo ser considerada como a forma mais básica e até mesmo como uma mediação instintiva (SOUZA, 2006).

FIGURA 1 – Aluno gesticulando para indicar movimento de queda, colisão e subida de um objeto.



A1: Eu fiz só o desenho, desenhei primeiro, primeiro desenho a pessoa jogando a bola para frente e o segundo a bola caindo em direção ao chão e picando para cima. [53”. Movimento da mão indicando movimento da bola.]

P: Hum. Tá. Então, tu representou duas situações, a primeira situação como é o desenho aí mesmo?

A1: Ele jogando a bola para o chão, jogando a bola um trajeto ali [1’08”. Movimento horizontal da mão], e segundo ela caiu e já tá subindo. [1’13”. Movimento da mão de subida e descida]

Verificamos, pois, que ele se utiliza do gesto para indicar o movimento de subida e descida da bola, mas, ao ser questionado na sequência de quanto seria a altura de retorno, não consegue responder, deixando a questão em branco. Então, podemos verificar que se utiliza apenas do conhecimento através da interação psicofísica, dos seus conhecimentos adquiridos com a interação com o meio. As imagens mentais, possivelmente utilizadas ao responder essa questão, são de suas interações com o meio.

Na questão em que duas bolas colidem na horizontal, confunde a representação de momento linear com peso, e responde praticamente toda a questão sem a realização de gestos.

P: “O que aconteceu com a energia cinética do sistema?”

O Aluno 1 pensa durante alguns segundos e começa respondendo:

A1: “Botei que afastou, que a bola A (pensa mais um pouco), que a bola A afastou a bola B que tem menor peso, como ela é mais pesada, acredito que aconteceu que ela tenha afastado a bola B que tem um peso menor.”

P: “A bola A tem um peso?”

A1: “A bola A tem um peso maior que a bola B”

No diálogo acima e analisando o pré-teste, verificamos que o Aluno 1 confunde a ideia de peso e momento linear. Nas informações do problema, inicialmente, a bola A

possui $P_A = 6 \text{ kg.m/s}$, enquanto a bola B possui $P_B = 1 \text{ kg.m/s}$, ou seja, a bola A possui maior momento e não maior peso. E com relação ao questionamento inicial, referente ao que aconteceu com a energia cinética do sistema, o estudante não responde.

Na sequência da questão, quando questionado sobre o tipo de colisão, não faz menção à conservação de energia cinética, mas sim sobre a forma como ele acha que o sistema ficará no final, utiliza gestos em sua explicação para indicar as imagens mentais existentes na colisão, conforme podemos ver no diálogo abaixo:

A1: Esta colisão é elástica, inelástica, superelástica? Por quê?

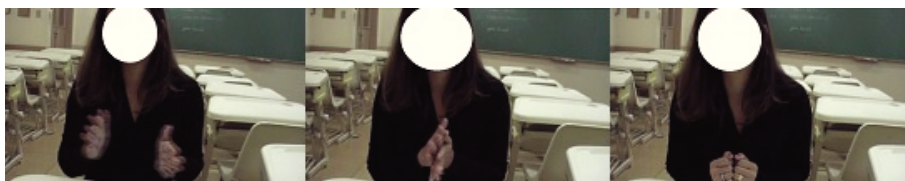
A1: Coloquei elástica, porque, após a colisão, as bolas não ficam unidas, elas, ela vai estar em movimento, acredito, como eu falei na A, acredito que a bola B vai voltar para trás.

P: Como assim, as bolas ficam unidas, poderia explicar só um pouquinho isso?

A3: Porque pelo que eu lembrei da explicação do professor se não houvesse movimento seria inelástica, daí os corpos ficariam juntos assim quando há colisão e eles ficam juntos. juntos [4'52"]. Representa com as mãos a colisão e, ao final, junta as mãos para indicar que eles ficam juntos]

Verificamos que, nessa situação, o Aluno 1 utiliza um *driver* que foi adquirido através de uma interação social com professor. Além disso, realiza gestos indicando a colisão onde as bolas ficam unidas após a colisão, conforme pode ser verificada na Figura 2, representando a imagem mental que estava descrevendo no diálogo anterior.

FIGURA 2 – Na primeira imagem, o estudante indica aproximação das bolas; na segunda imagem, o momento da colisão; e, na terceira, deixa as duas mãos juntas indicando que, após a colisão, os corpos permanecem juntos.



Como podemos verificar pelas colocações do Aluno 1, ele não utiliza a lei da conservação de energia, nem menciona em momento algum, apenas tenta explicar o tipo de colisão através do movimento dos corpos após a colisão.

Ainda verificamos a utilização do conceito de força, a fim de explicar a continuidade ou não do movimento do corpo, conforme verificamos no diálogo abaixo:

P: Para que lado a bola A se move após a colisão, esquerdo ou direito, ainda relacionado com exercício anterior?

A1: Botei para a direita, já que a bola B não tem força suficiente para empurrar a bola A para a esquerda.

P: Já que ela não tem força suficiente?

A3: É.

P: Como é que tu chegaste à conclusão de que ela não tem força suficiente?

A3: Também eu deduzi, pelos dados e pelo movimento da figura.

P: Ah tá.

A3: Mas eu não fiz os cálculos.

P: Não fez o cálculo, pelas informações do problema.

A3: Isso.

Na situação apresentada anteriormente, o estudante não se utiliza de gestos para responder. De forma geral verificamos um estudante muito inseguro em suas respostas, utilizando basicamente de *drivers* que foram obtidos através de interação psicofísica. A seguir passaremos a analisar o pós-teste do Aluno 1.

Pós-teste Aluno 1

O Aluno 1, durante a entrevista do pós-teste, quando questionado com relação a jogar uma esfera que irá colidir com solo até parar, utiliza a ideia de que a força mantém o movimento dos corpos, além de confundir energia potencial com força, mostrando-se confuso em suas respostas, como podemos ver no diálogo abaixo:

P: Por que a energia potencial vai diminuindo? Por que você considerou que ela vai diminuindo?

A1: Porque acho que potencial tá dizendo, né, tá dizendo o que é energia potencial no nome.

P: Ahm.

A1: E ela vai diminuindo, vai perdendo a força.

P: Qual força tu consideras que ela perde?

A1: A força do movimento, não sei explicar muito bem, a força porque ela para, porque chega uma hora, então, energia potencial é aquela que vai potencializar o movimento. Se o movimento vai diminuído, acredito que a energia potencial vai diminuindo, também.

Verificamos no diálogo acima a confusão conceitual que Aluno 1 produz em relação aos conceitos de energia potencial e movimento. Podemos dizer, então, que esses conceitos não se relacionam ainda com os *subsunçores* desse aluno. Quando questionado sobre que tipo de colisão que teria ocorrido, da mesma forma que no pré-teste, confunde os tipos de colisão, considerando para essa situação, em que, após a colisão, a bola não retorna à mesma altura como uma colisão elástica, conforme podemos verificar no diálogo abaixo. Utiliza gestos que provavelmente estejam vinculados com as imagens mentais que o estudante utilizou durante as suas respostas.

A3: Que tipo de colisão é essa? Eu coloquei elástica, porque, apesar dela não voltar, não sei se não confundi, não voltar para trás, ela continua em movimento, né? [4'38". Realiza pequenos movimentos com a mão indicando retorno.]

P: Como assim, voltar para trás, o que tu consideras?

A3: Não, é que às vezes na elástica ela volta para onde ela estava, ela colide e ela volta [4'47". Movimento com a mão de ida e volta na horizontal]. Então, apesar de nesse caso não voltar [4'53". Movimento indicando retorno] do local onde estava, de onde foi atirada, ela se mantém em movimento, não sei se não me confundi é isso aí.

Verificamos, no trecho acima, um dos poucos momentos em que esse estudante realiza gestos para expressar as imagens mentais que está utilizando, no momento em que responde. Nessa situação podemos verificar que os gestos que indicam a provável imagem mental de uma colisão, em que está para ser elástica deveriam colidir e, após os objetos envolvidos, passariam a se deslocar em sentidos opostos. Quando o professor entrevistador questiona como seria esse movimento de voltar para trás, o estudante novamente realiza gestos, indicando o corpo se deslocando em um sentido e, após a colisão, deslocando-se em sentido oposto.

Mais à frente, ele insiste na ideia de perder força, o que seria na realidade perder energia. Ao ser questionado como a bola para, após ter sido abandonada, o Aluno 1 responde:

A1: Porque perde a força, não para de imediato, pica no chão algumas vezes, aí perde a força até parar.

Mais à frente no diálogo.

A1: Vai perdendo a força, vai diminuindo a altura da bola, e cada vez vai ficando mais baixa até parar no chão.

Outro conceito que ainda não ficou bem claro para o Aluno 1 é o referente ao tipo de colisão, já que ele expressa verbalmente a sua dúvida sobre colisões inelásticas. Durante

o diálogo não são produzidos gestos descritivos que pudessem representar algum tipo de imagem mental.

A1: A esfera A batendo na B, e a duas parando próximas, grudadas uma na outra, que aí não houve o movimento, apesar de que... isso é que é minha dúvida, a inelástica não sei se fica colada uma na outra e a superelástica, completamente inelástica, eu confundo um pouco a inelástica com completamente inelástica, não sei qual é a diferença.

Na situação em que considera a colisão de duas esferas de massas iguais, semelhante à questão abordada no pré-teste, nesta situação o estudante coloca que movimento terá um retorno da esfera que colide não muito diferente da resposta dada durante o pré-teste.

P: Como é que seria essa colisão, como é que tu imaginaste essa colisão?

A1: Eu imaginei que a esfera A vai bater na B, vai voltar para trás e a esfera B vai para frente.

P: Hum, a esfera A vai?

A1: Vai bater na B e vai voltar para trás.

Ao ser questionado sobre a conservação do momento linear, o estudante não consegue responder, apresentando dificuldades em compreender o conceito de momento linear.

Esses são os principais pontos analisados do Aluno 1 durante a entrevista. Verificamos que não há ainda uma aprendizagem significativa dos conceitos cientificamente aceitos de colisões e mediação utilizadas em suas respostas que são psicofísico e sócio cultural.

Pré-teste Aluno 2

O Aluno 2 pertence ao grupo experimental, durante o pré-teste ele se demonstrou muito inseguro em suas respostas, expondo concepções alternativas dos principais conceitos envolvidos no estudo de colisões. Verificamos que, durante toda a entrevista do pré-teste, em apenas cinco momentos ele realiza gestos descritivos que provavelmente estejam relacionados com as imagens mentais desse estudante, passando praticamente toda a entrevista com os braços cruzados.

Na primeira questão ele realiza alguns gestos com as mãos, indicando o movimento de uma bola abandonada de certa altura, mas apenas representa o movimento, sem aprofundar a sua resposta, inclusive não responde com relação à altura de retorno da esfera após a colisão com o solo, conforme podemos verificar no trecho do diálogo

abaixo e na Figura3. Ainda, nesta mesma questão, no que diz respeito à energia, o Aluno 2 responde apresentando uma ideia correta do que pode acontecer com a energia. Porém não consegue relacionar nem energia nem a característica do movimento considerando colisões perfeitamente inelásticas ou superelástica.

A2: Fiz o desenho dele no caso, um homem jogando uma pedra no chão [47'']. Realiza movimentos indicando que está jogando uma pedra, mas de forma muito tímida] e a outra parte do desenho [51'']. Indicando a outra parte do desenho com a mão] ela subindo [54'']. Movimento de subida], no caso que ela bate e volta [53'']. Movimento de subida e descida].

P: Volta. E ela, porque já é pergunta até mesmo do b], ela volta mais ou menos que altura, como é que tu fizeste isso?

A2: Eu não cheguei a fazer.

FIGURA 3 – Movimento indicando a subida e descida da bola.



Em outra questão, onde há uma figura de duas bolas de aço com seus respectivos valores de energia cinética antes e após a colisão, e para o momento linear valores iniciais, mas finais para apenas uma das esferas. A energia cinética desse sistema não é conservada, o que é respondido pelo Aluno 2 de forma correta, argumentando na redução da energia cinética não é conservado. Na mesma questão, classifica a colisão como elástica, sem levar em consideração a relação com conservação de energia do sistema, pois anteriormente havia comentado que a energia cinética seria reduzida, o que deveria ser então considerado uma colisão inelástica.

Na última questão do pré-teste eram colocadas várias situações referentes às velocidades após uma colisão, quando esta fosse elástica, inelástica, superelástica. Ele apenas tentou responder à questão de colisão elástica, as demais deixando em branco. Diferentemente do Aluno 1, não utiliza o conceito de força para explicar a manutenção do movimento. Pelas respostas apresentadas pelo Aluno 2, verificamos que ele utiliza *drivers* que provavelmente foram adquiridos através de interações psicofísica ou culturais.

Pós-teste Aluno 2

Aluno 2, durante as suas respostas, utiliza diversas vezes imagens mentais que remetem à simulação de colisões. Isso é um indício de que os *drivers* que antes eram predominantemente psicofísicos passaram a ser mais hiperculturais.

Na primeira questão do pós-teste, o Aluno 2 representa a movimentação com mão, muito semelhante com ao foi apresentado na simulação, e descreve o que está visualizando com relação à situação de jogar uma bola de certa altura. Na figura 3 é apresentada uma sequência de imagens que está relacionada com os gestos utilizados no diálogo abaixo. Na figura 4, temos a imagem da simulação, de onde provavelmente o estudante retirou as imagens mentais.

A2: As energias variam, enquanto a bola sobe e desce, [40'']. Movimento de jogar a bolinha no chão, antes mesmo de começar a falar] tu tá jogando a bolinha no chão, pica [42'']. Movimento da bolinha picando] sobe [43''] Movimento da bolinha subindo] quica, já não sobe na mesma velocidade, ela vai perdendo essa energia. [44'']. Realiza movimento de subida e descida cada vez menor da bolinha].

FIGURA 4 – Representa o movimento de queda, colisão e subida da bola.

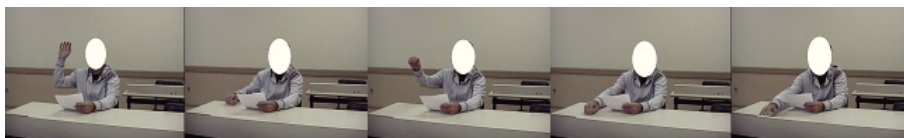
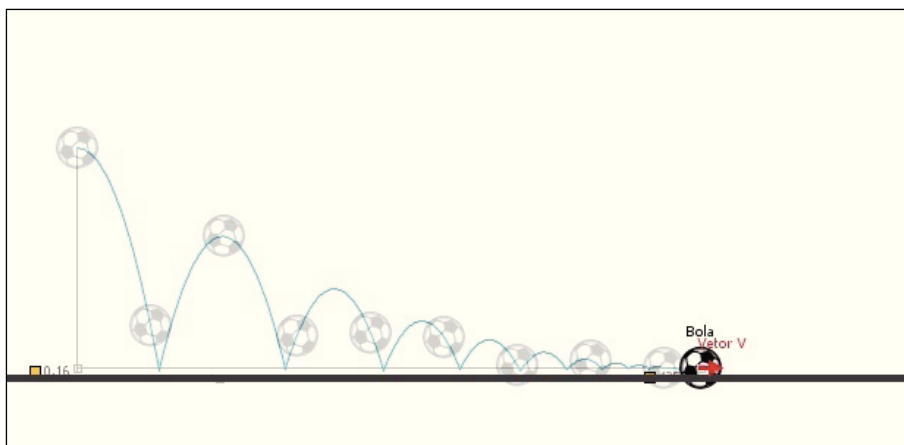


FIGURA 5 – Imagem da simulação.



Na Figura 4, temos os gestos de representação da queda da bola colidindo com o solo e retornando a uma altura menor. Na primeira imagem representa o início do movimento da bola caindo; na segunda imagem, momento em que ela colide com o solo; terceira imagem representa altura máxima de retorno, que é inferior à altura em que foi abandonado; na quarta e na quinta imagem representa momentos finais do movimento da bola colidindo com o solo, quando podemos observar que a mão do estudante se deslocou para frente, o que indica que o movimento realizado pela bola também teve deslocamento na horizontal, semelhante com o que aconteceu na simulação, Figura 5. Realizando uma comparação entre as Figuras 4 e 5, podemos verificar que, provavelmente, o estudante estava utilizando como imagem mental na sua solução as imagens adquiridas durante a realização da simulação. Comparando com a primeira entrevista do pré-teste, podemos considerar que este estudante modificou os *drivers* que estava utilizando como modificações, devido à interação hipercultural. Neste caso podemos ver a importância do estudo das imagens mentais através da interpretação dos gestos, pois fornece uma segunda fonte de dados que podemos utilizar para triangular com a análise do conteúdo da resposta do estudante durante a entrevista.

Ainda com relação à questão da queda da bola, verificamos que o Aluno 2 classifica corretamente o tipo de colisão, situação que não havia ocorrido no pré-teste, e fica claro que a simulação também auxiliou na sua resposta, pois agora ele menciona em seu discurso que lembrou a simulação enquanto respondia, conforme podemos verificar na transcrição abaixo:

A2: Que tipo de colisão é esta?

A2: Eu botei inelástica.

P: Ham. Por que tu consideraste ela como inelástica?

A2: Ahm, pensei na aula [2'39'']. Aponta para sala onde foi realizada a simulação] no dia da aula eu pensei, e fiz o exercício, ela fica inelástica, percebi esse mesmo [2'48'']. Realizando pequenos movimentos que parece que lembram a aula de simulação].

P: Qual aula?

A2: A da simulação [2'50'']. Aponta para a sala onde ocorreu a simulação].

P: Ah, tu lembraste da aula...

A2: Da simulação.

P: Hum.

A2: Da simulação. Segui os mesmos passos da aula da simulação [2'58'']. Movimento indicando que seguiu passos da simulação]. *****

Pelo trecho anterior, fica evidente que a simulação pode estar contribuindo para a compreensão dos conceitos de colisão, utilizando imagens mentais que são provenientes

da simulação. O *driver* que antes era apenas psicofísico da queda de um corpo, a partir da utilização da simulação, ele sofre modificações que incorporam, em sua estrutura, os mecanismos externos apresentados na simulação. A modificação desse *driver* ocorre através dos mecanismos externos de mediação hipercultural, que neste caso é a simulação. Em termos conceituais também temos uma aprendizagem significativa, pois passa a classificar corretamente o tipo de colisão, associado ao conceito de energia, o que durante o pré-teste apenas apresentava apenas interpretações através das concepções espontâneas.

Em outra questão considera uma bolinha quicando e retornando e atingindo sempre a mesma altura, o Aluno 2 faz um desenho que representa corretamente o fenômeno, e as suas respostas estão conceitualmente corretas, razão por que podemos verificar que provavelmente o conceito de energia foi compreendido. O caso inclusive realiza gestos que indicam imagens mentais dinâmicas, semelhantes às apresentadas durante a simulação; classifica corretamente o tipo de colisão e justifica a resposta a partir dos conceitos de energia. Novamente utiliza gestos descritivos que remetem à simulação e, em seu discurso, relata que as imagens mentais que está utilizando são lembranças da simulação, conforme podemos verificar abaixo:

A2: Acho que a energia cinética e potencial elas continuam as mesmas. Ela tá subindo e descendo [3'51". Movimento de subida e descida] e não varia essa posição de sobe e desce, continua sempre na mesma posição.

P: O que tu quer indicar com esse movimento de sobe e desce.

A2: Da bolinha [4'03". Movimento indicando o movimento da bolinha], subindo e descendo.

P: Ah tá, tá.

A2: Bolinha subindo e descendo.

P: Certo, certo.

A2: Não sei se tu percebeste, mas na aula fazia assim também [4'09". Aponta para a sala onde foi realizada a simulação. 4'10" Realiza movimento que parece lembrar o movimento da simulação].

P: A onde?

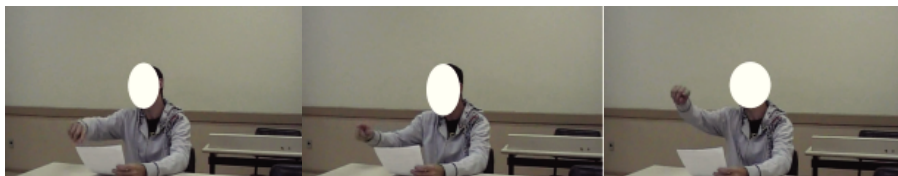
A2: Na aula da simulação, fazia assim também [4'11". Aponta para a sala onde foi realizada a simulação. 4'13". Movimento com a mão, que parece lembrar a simulação.].

P: Ahm.

A2: A energia total quando ela bate no chão. Eu acho que a energia total dela é a mesma também, considerando como se fosse a bolinha [4'30". Movimento que parece estar segurando a bolinha].

A2: Que tipo de colisão é esta? Eu botei elástica, botei elástica, porque a energia cinética dela se mantém a mesma [4'43'']. Realiza movimento semelhante ao da bolinha picando], foi o que eu pensei.

FIGURA 6 – Movimento com mão direita indicando queda e subida da bola.



No discurso anterior fica claro que o Aluno 2 está utilizando como mecanismo mediação externa, *driver* referente à simulação de colisões utilizadas na aula. Mesmo não estando presente, o *driver* que foi adquirido referente à simulação de colisões, volta a se fazer presente como um mecanismo de mediação externo. Verificamos que realiza gestos muito semelhantes e, ao mesmo tempo em seu discurso, descreve o movimento de subida e descida da bolinha, e também menciona diretamente a simulação em seu discurso, em que nessa situação podemos ter certeza de que ele utiliza os *drivers* adquiridos na simulação.

Em uma questão relacionada com colisões superelástica, verificamos novamente a utilização dos *drivers* adquiridos com a utilização da simulação de colisões. Além de mencionar em sua resposta a utilização das imagens mentais referentes à simulação, os gestos por ele utilizados são descritivos que indicam o movimento realizado pela bola durante a colisão superelástica. Estes gestos indicam o aumento na altura de retorno da bola após a colisão com o solo. Isso pode ser verificado através de parte da transcrição da entrevista realiza abaixo, e na Figura 7.

A2: Três. Se você fosse explicar a um aluno o que é uma colisão superelástica, o que você diria a ele? Fale da sua trajetória e do comportamento da energia cinética, potencial e total do sistema.

A2: A colisão superelástica é aquela que você pega uma bolinha e é lançada para baixo e a cada vez que ela a sua altura aumenta mais e a energia potencial sempre sobe. Percebi isso naquele exercício da simulação [5'51'']. Aponta para a sala onde foi realizada a simulação]. Tu joga a bolinha e ela sobe, vem e ela sobe mais alto ainda [5'54'']. Realiza movimento de subida e descida de uma colisão superelástica].

P: Então, quando tu foste responder essa aí, lembrou...

A2: Da simulação.

P: Da simulação.

A2: Bastante da simulação.

P: Como é que foi mesmo? Como é que foi a simulação? Só poderia me exemplificar de novo.

A2: [6'14". Começa realizando movimento de jogar a bolinha, mesmo antes de começar a descrever.] Foi jogada a bolinha, ela bateu no chão, ela subiu até uma certa altura, depois desceu, colidiu com o chão e ela subiu mais alto ainda, subiu mais alto ainda que aquela posição inicial dela do primeiro lançamento [6'15". Durante toda a descrição A2 realiza movimentos indicando o que está acontecendo durante a colisão superelástica.].

P: Isso tudo se deve ao ...

A2: Ao simulado.

P: Ok. Perfeito.

FIGURA 7 – Movimento indicando a subida e a descida referente a uma colisão superelástica. Podemos verificar que a altura de retorno aumenta entre as imagens um três e cinco.



Outro momento quando podemos verificar a modificação nos *drivers* devido à simulação foi em uma colisão elástica na horizontal. Verifica-se também a utilização dos gestos que indicam a colisão semelhante à ocorrida na simulação. Verifica-se que teve uma aprendizagem significativa, responde corretamente as características do movimento, conforme podemos verificar no texto abaixo:

A2: (questão) Quatro. Na situação ao lado, o alvo encontra-se em repouso [Esfera B] e o projétil em movimento [Esfera A], ambos com massas iguais que após determinado tempo irão colidir. Responda o que acontecerá com i] a energia cinética e a quantidade de movimento; e ii] as velocidades das esferas, após a colisão.

A2: Se a colisão for elástica. As duas energias cinéticas são as mesmas, a quantidade de movimento são as mesmas e as velocidades as mesmas. Eu pensei nisso, na segunda fase da simulação, que era um carrinho, um caminhão e um carrinho [7'17". Realiza movimento para demonstrar o carrinho e o caminhão.]. Eu vi que na colisão elástica o caminhão bate [7'20". Realiza movimento indicando a batida do caminhão com o carrinho] e eles andavam sempre com a mesma direção [7'22". Carrinho e caminhão andando com mesma velocidade.]. e as velocidades ficaram as mesmas.

FIGURA 8 – Movimento indicando colisão entre o caminhão e o carrinho, utilizados na simulação.



Com relação à questão acima podemos verificar que, apesar de caracterizar a colisão com duas esferas, o estudante utiliza os *drivers* adquiridos na simulação; por isso descreve que a colisão ocorreu entre um carrinho e um caminhão, imagens estas utilizadas na simulação. Este mesmo tipo de situação já foi reportado por Monaghan & Clement (1999) em um experimento de velocidade relativa, que o autor chama de “simulação mental”- aqui interpretado dentro do referencial teórico da TMC como a utilização de um driver adquirido em uma situação onde as representações de carrinho e caminhão eram utilizadas.

Ao responder a questão que abordava colisão inelástica, novamente o Aluno 2 utiliza os *drivers* adquiridos com a simulação. Podemos perceber, nesta questão novamente, que a simulação favorece às imagens mentais utilizadas pelo aluno para responder. Porém, no que se relaciona com momento linear, responde de forma equivocada. Os seus movimentos com as mãos lembram a simulação, conforme podemos verificar na transcrição e imagens abaixo.

A2: Se a colisão for inelástica. A energia cinética final é menor que a inicial, as quantidades de movimento são diferentes e as velocidades são diferentes. Eu percebi no simulador que na colisão inelástica (começa a realizar movimentos indicando colisão). O caminhão veio, bateu no carrinho, arremessou o carrinho, e o caminhão veio voltando para traz (faz movimento com as mãos indicando a colisão, conforme podemos ver na figura 9). A2: Foi nisso aí que eu pensei. *****

FIGURA 9 – Gestos indicando colisão.



Conseguimos perceber claramente que houve, com esse aluno, uma evolução, uma aprendizagem significativa do conceito de colisão, verificando um resíduo no *subsunçores*

originais, que se modificaram a partir da utilização da simulação. Poderíamos apresentar outras situações que evidenciam essa evolução no aluno, mas optamos pelos principais pontos, até mesmo pela limitação de espaço na apresentação do artigo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos começar questionando sobre a validade da utilização de uma simulação computacional referente a colisões, em termos de aprendizagem significativa.

Ao realizar uma análise global da diferença entre os dois estudantes durante as suas entrevistas de pré-teste e de pós-teste, verificamos que não ocorre uma mudança conceitual, tampouco ocorre uma aprendizagem significativa dos conceitos de colisões para o Aluno 1, cujos conceitos permaneceram inalterados. Porém, para o Aluno 2, conseguimos identificar mudanças, resultantes, em última análise, de uma aprendizagem significativa. Esta aprendizagem significativa ocorre a partir do mecanismo externo, a simulação, que acabou por modificar os *drivers* deste estudante. O Aluno 1, durante as duas entrevistas, utiliza de concepções alternativas em suas respostas e demonstra insegurança e dúvidas ao responder. Uma das concepções alternativas mantidas pelo Aluno 1 é a da necessidade de uma força para manter um corpo em movimento. O Aluno 2, que inicialmente possuía a mesma concepção durante a entrevista do pré-teste e a mesma insegurança em suas respostas, responde aos questionamentos do pós-teste, demonstrando segurança em suas respostas, e, progressivamente, deixa de utilizar as concepções alternativas que estão diretamente associadas aos *drivers* psicofísicos e utiliza respostas que estão diretamente associados com a simulação, modificando, dessa forma, os *drivers* e passa a ter mais características hiperculturais.

Um outro comparativo entre os dois estudantes, refere-se à quantidade de gestos utilizados durante as duas entrevistas. O Aluno 1 manteve praticamente o mesmo número de seis gestos descritivos durante o pré-teste e cinco durante o pós-teste; enquanto o Aluno 2 passa a utilizar mais expressões gestuais para expressar as imagens mentais, tendo utilizado cinco gestos descritivos no pré-teste contra trinta e três ocorrências no pós-teste, sendo que destas, vinte e cinco conseguimos identificar que estão associadas à simulação computacional.

Mesmo sendo os resultados obtidos, nesse experimento, preliminares em nossa pesquisa de Doutorado, já podemos chegar a algumas conclusões interessantes. Uma conclusão é a de que as representações fornecidas pelas simulações acabam por modificar ou talvez até criar nos *drivers*, que são utilizados posteriormente, mesmo sem a presença da simulação, pois esta passou a fazer parte dos *drivers* do estudante. Os *drivers* adquiridos ou modificados estão substancialmente associados à capacidade melhorada do estudante em utilizar os conceitos de energia ou momento linear em suas explicações sobre as colisões que ocorreram.

Em suma, a utilização de simulações computacionais em ensino de Física oferece perspectivas de melhoria na aprendizagem significativa, uma vez que os *drivers* referentes

à simulação, adquiridos após a utilização dela, são utilizadas na solução de (novos) problemas. Os *drivers* adquiridos com a simulação melhoram o desempenho e ampliam a capacidade cognitiva do estudante, já que libera memória de trabalho, libera carga cognitiva, permite domínio progressivo dos conceitos, e resulta, dessa forma, em uma aprendizagem significativa.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 625p.
- CAMPELLO DE SOUZA, B. A Teoria da Mediação Cognitiva. In: SPINILLO, A.; MEIRA, L. (Org.). *Psicologia Cognitiva: cultura, desenvolvimento e aprendizagem*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2006. p.147-169.
- CAMPELLO DE SOUZA, B.; ROAZZI, A. *A Teoria da Mediação Cognitiva: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital*. Recife: Programa de Pós-graduação em Psicologia/Universidade Federal de Pernambuco, 2004, 281p. Tese de Doutorado em Psicologia Cognitiva.
- CAMPELLO DE SOUZA, B.; SILVA, A. S.; SILVA, A. M.; ROAZZI, A.; CARRILHO, S. L. S. Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. *Computers in Human Behavior*, v.007, p.10.1016, 2012.
- CLEMENT, J. Imagistic simulation and physical intuition in expert problem solving. The 16th annual conference of the Cognitive Science Society, *Proceedings...* Amherst: Springer, 1994, 1994, p.201-206.
- CLEMENT, J. J. (Ed.). *Creative model construction in scientists and students: the role of imagery, analogy, and mental stimulation*. Amherst: Springer, 2008.
- CLEMENT, J. J. *Analysis of clinical interviews: Foundations and model viability*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 2000. p.341-385.
- GRIMELLINI-TOMASINI, N.; PECORI-BALANDI, B; PACCA, J. L. A.; VILLANI, A. Understanding conservation laws in mechanics: students' conceptual change in learning about collisions. *Science Education*, v.77, n.2, p.169-189, 1993.
- MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. 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.
- MOREIRA, M. A. O que é afinal Aprendizagem Significativa? *Material de apoio aula inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais da UFMG*. Cuiabá: UFMG, 2010.
- RAMOS, A. F; SERRANO, A. Como são internalizadas as competências adquiridas quando um aluno utiliza computadores? Um exemplo de mediação cognitiva em rede durante a utilização de software de modelagem molecular. IX Encontro Nacional de

Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. Águas de Lindoia, SP. *Anais...* p.1-8, 2013.

REIS, M. A. F. *O Uso de Simulações Computacionais no Ensino de Colisões Mecânicas*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Luterana do Brasil, 2003.

SCHERR, R. Gesture analysis for physics education researchers. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, New York, v.4, n° 010101, p.1-9, 2008.

STEPHENS, A. L.; CLEMENT, J. J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, New York, v.0000000, p.01-15, 2010.

TAO, P. K.; GUNSTONE, R. F. A process of conceptual change in force and motion during computer-supported Physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 37, p.859-882, 1999.

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 conceptual understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v.38, p.821-842, 2001.