

SIMULAÇÕES INTERATIVAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS:

inferência de conceitos científicos

Anna Rita Sartore

UPFE

ufpesartore@gmail.com

Resumo

Este artigo decorre de um percurso investigativo sobre o uso didático de objetos educacionais e discorre sobre o potencial para inferência de conceitos científicos de Ciências a partir do uso de interfaces interativas de simulação veiculadas pela Internet. Foi selecionada a interface do projeto PhET (*Physical Education Technology*) da Universidade do Colorado Boulder (EUA). Analisou-se a aplicação dos objetos educacionais a licenciandos do curso de Pedagogia em quatro períodos consecutivos sendo as simulações intuitivas e eficazes para o propósito. O trabalho teve como balizas teóricas, entre outros, Anastasiou (1998), Costa (2004), Festinger (1975), Smetana e Bell (2012).

Palavras chaves: Simulações Interativas. Ensino de Ciências. PhET Colorado.

Abstract

This article aims to investigate the didactic use of simulations on the potential for the inference of scientific principles when using interactive interfaces of simulation distributed on (ou “published on”) the Internet. An interface from the PhET projects (Technology of Physical Education) of the University of Colorado Boulder (USA) was selected by us. We applied the Interactive Simulations to four sequential classes of our Pedagogy students, having it done intuitive simulations for the purpose. The work has as theoretical beacons, among others, Anastasiou (1998), Costa (2004), Festinger (1975), Smetana, Bell (2012).

Keywords: Interactive Simulations. Science Learning. PhET Colorado,

Introdução

A cultura digital e seus efeitos, que permeiam de forma tão maciça o cotidiano dos brasileiros, têm dificuldade de entrar, com vigor e de forma produtiva para a aprendizagem

dentro das nossas salas de aula do ensino básico público. Já se atribuiu essa morosidade e ineficácia a questões estruturais, falta de computadores e conexão eficiente e à falta de um trabalho sistemático de formação continuada de professores. As queixas nunca foram sem razão, todavia é preciso caminhar no sentido de superar e corrigir esses entraves, visto que há muito e bom material gratuito para o ensino que pode tornar o cotidiano escolar mais atrativo e eficiente além do fato de que, não obstante todas as mazelas que o país enfrenta, caminhamos para uma expansão significativa de acesso de brasileiros à rede mundial de computadores.

Esse aumento se deu, sobretudo nos últimos três anos, pela posse de celulares com conexão, conforme apontou o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em anúncio veiculado em novembro de 2017 pela Pnad, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio Contínua.

O levantamento revelou que, até o ano de 2013, menos de 50% das residências tinham acesso à Internet, marca superada no curso de um ano chegando a 63,6% em 2016. Esse salto ocorreu pelo fato de a conexão à rede ser realizada por meio de celulares em 94,8% das residências. Esse é um número surpreendente se pensarmos que um telefone móvel com recursos de computador pessoal e os planos de acesso à Internet ainda representam um custo elevado para a maior parte da população.

O uso crescente desses aparelhos produz toda sorte de conjecturas no que diz respeito às consequências comportamentais decorrentes dessa conexão ininterrupta do sujeito ao espaço virtual.

Costa, em sua pesquisa, aponta que

Diante da liberdade, da autonomia e da privacidade precoces (por padrões tradicionais), que a telefonia celular lhes outorgou, bem como da intensa, fluida, instantânea e espontânea sociabilidade que viabilizou, não é de espantar esses jovens vejam seus celulares como indispensáveis para as suas vidas (2004, p. 172).

Há também, evidentemente, efeitos indesejáveis como a compulsão de uso de interfaces em aplicativos e isso merece atenção dos pais, da comunidade educadora, daquela de saúde e do próprio indivíduo que faz uso dos recursos digitais. No artigo que trata de aspectos patológicos do uso da Internet, Fortim e Araújo destacam, com duração de dez anos:

Quatro aspectos psicológicos mais apresentados são (i) dinâmica relativa ao controle: sensação de controle sobre as relações com os outros e sobre a imagem de si mesmo; (ii) o UPI, uma estratégia de coping, de enfrentamento da ansiedade; (iii) característica de as atividades da internet serem vistas, como ilusórias e como reais; (iv) papel libertador; seja de aspectos sombrios, de comportamentos sexuais, agressivos, seja de aspectos até conhecidos, mas pouco assumidos frente aos outros (2013, p. 292).

Há indícios que a fisiologia de recompensa do cérebro em contato com o espaço virtual, no que diz respeito ao cumprimento de metas e vitória sobre os desafios, se aproxima daquela que produz a notória dependência de jogos de azar. Evidentemente, a captura patológica do usuário por um meio/objeto, qualquer que seja ele, é predominantemente tributária de traços psíquicos do sujeito e não de poderes intrínsecos do engenho, mesmo que ele seja sedutor pela abundância de estímulos que oferece aos sentidos. De toda a forma, merece atenção.

Para além das justas apreensões e da tomada de providências contra um eventual mau uso da Internet, seria um desperdício bani-la dos espaços formais de aprendizagem, abdicando do seu potencial de fascínio enquanto coadjuvante e parceira no ensino.

De fato, uma das características positivas do universo virtual é de franquear a possibilidade de autodidatismo dos sujeitos. Os temas e o alcance dessa aprendizagem autônoma apresentam uma abrangência difícil de aquilatar, pode-se apontar o fato de recursos de hardware e software, contidos nos celulares e em outros móveis, acudirem também àqueles que não dominam a leitura e a escrita, visto que há um incontável número de tutoriais em forma de vídeos e imagens que socorrem o usuário, fornecendo informações sobre uma infinidade de assuntos a partir de uma consulta oral. É um obstáculo driblado pela tecnologia e que não merece ser minimizado.

Com essas questões em mente, este artigo buscou compreender a potencialidade de “ensinagem” de interfaces da rede, entendendo como diz Anastasiou (1998) ensinagem como o termo que engloba uma prática entre professor e aluno, envolvendo um processo de ensinar/aprender atingindo e produzindo efeito em ambos.

Para que um professor selecione, e incorpore, na sua sala aula os recursos que a rede franqueia há uma primeira dificuldade que decorre da infinidade de material disponível, sobretudo aquele composto no formato de hipertexto que permite ao usuário inúmeras

possibilidades de percurso pelas informações, saltando de um assunto para outro assunto ao acionar os links. O que, a princípio, representa uma virtude pode redundar em desorientação do usuário, até porque há inúmeras interfaces e recursos de má qualidade didática dedicadas à educação e que apenas simulam a produção de inferências, não superando os modelos de memorização convencional.

A investigação, ora descrita, dá continuidade a uma pesquisa anterior sobre uso de Tecnologia Digitais em sala de aula e resulta de uma primeira triagem de Objetos Educacionais (OE), voltados para ensino de Ciências da Natureza, levando em conta a qualidade operacional dos recursos oferecidos e a palavra dos professores sobre o tema.

Da seleção trabalhada anteriormente, elegeu-se uma interface de simulações interativas com a finalidade de avaliar o potencial para produção de inferências conceituais a partir de validação, ou não, de hipóteses, quer a interface seja trabalhada em sala de aula, quer em trabalho extraclasse de cunho individual. Finalmente submeteu-se o material ao crivo do cotidiano, testando as simulações junto a estudantes da Licenciatura em Pedagogia.

A interface do Projeto de Simulações Interativas, PhET (*Physical Education Technology*) da Universidade do Colorado Boulder (EUA), foi a selecionada para aplicação em vista de seus atributos de acesso, manejo e pelo padrão de interatividade que faculta ao usuário. O programa é de autoria do físico Carl Wieman, prêmio Nobel de Física¹; foi lançado em 2002 e é sediado pela Universidade do Colorado Boulder, (EUA).

É importante ressaltar que o programa funciona sob licença CC 3.0, *Creative Commons*, permitindo que seu conteúdo seja compartilhado, copiado e redistribuído de forma gratuita. Além disso, é facultado adaptar, remixar, transformar e construir sobre o material da interface, opções de enorme valor porque permite que sejam feitas adaptações visando a um melhor atendimento das faixas etárias ou de escolarização e abrindo um espaço de autoria coletiva e colaborativa sobre esses objetos educacionais. Elencados os critérios de escolha da interface PhET, passamos ao percurso da investigação.

¹ Carl Wieman, juntamente com Eric Allin Cornell, receberam o Prêmio Nobel de Física pela criação experimental do Condensado de Bose-Einstein.

Metodologia

As simulações foram aplicadas por quatro semestres consecutivos, a partir do ano de 2015, em diferentes turmas da disciplina de Metodologia do Ensino de Ciências, da licenciatura em Pedagogia, concluindo com visita técnica da pesquisadora à Universidade do Colorado.

Aqui, é necessário pontuar um procedimento metodológico que valida a escolha desses sujeitos (de nível universitário) para o escopo da investigação, isto porque, em princípio, eles deveriam dominar previamente os conceitos presentes nas simulações e isso, evidentemente, invalidaria a aferição do potencial de dedução a partir do trabalho com os OE.

Ao longo da minha experiência docente no ensino de Ciências e Biologia tenho constatado que há inúmeros conceitos e leis que, pelo fato de terem sido apenas memorizados, permanecem sem conexão com o fenômeno na natureza. Em outras palavras, há fórmulas, enunciados, conceitos e experiências, exaustivamente vistos em sala de aula, mas que não são convocados quando da análise de um evento qualquer.

Dessa forma, a seleção de simulações que pudessem atender ao objetivo da pesquisa se deu a partir de diagnóstico que verificou a existência de paradoxos conceituais nas narrativas dos alunos, que não são percebidas porque se aproximam de uma dissonância cognitiva (FESTINGER, 1975), evento que nomeia a falta de correspondência entre elemento cognitivo e elemento da realidade. Entende-se que, nessas situações, um ou outro será desprezado.

A título de exemplo, apresento uma questão aplicada sobre metabolismo vegetal. O enunciado pede que o estudante selecione em uma lista de gases qual deles a planta emprega na fotossíntese e qual usa na sua respiração e que fizesse um comentário a respeito. Uma porcentagem assustadora, beirando o cem por cento, assinala que o dióxido de carbono, gás carbônico, é utilizado para a respiração de acordo com o período do dia. Plantas, segundo os estudantes, respirariam gás carbônico durante o dia e oxigênio durante a noite, razão pela qual não se deveria manter plantas no quarto.

Reputo esse equívoco à falta de conexão das informações sobre o tema, ou seja, a uma dissonância cognitiva descrita por Festinger, visto que a fotossíntese é conteúdo onipresente em todos os anos do ensino básico. Portanto, após um diagnóstico de

paradoxos, como o descrito, foi possível selecionar simulações adequadas para o trabalho com os sujeitos da pesquisa.

A seleção do PhET, dentre tantas interfaces voltadas para temas de Ciências, deu-se a partir do atendimento de algumas questões ou requisitos básicos. A primeira questão que guiou a escolha das simulações relacionou-se com a plataforma e o recurso, enquanto simulação: a interface, entendida como a oferta de ferramentas para uso de informações, mostrava-se amigável?

Ou seja, o continente e conteúdo deviam permitir o manejo intuitivo pelo usuário sem conhecimentos para além daqueles cotidianos no uso da Internet. Atender a esse quesito foi fundamental, visto que para análise da qualidade de uma interface com objetivo educativo é preciso levar em conta que há usuários com pouca prática no manejo de recursos digitais do gênero. A plataforma PhET revelou-se intuitiva e amigável com versão em nosso idioma.

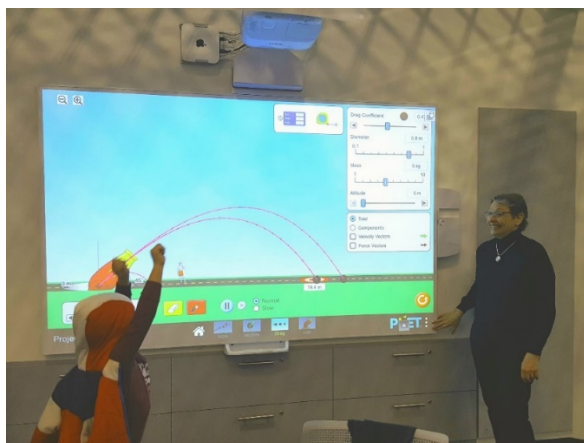
A partir disso, selecionaram-se os requisitos que as simulações deveriam apresentar para serem escolhidas. O primeiro, como se disse, era atender à questão de contradições conceituais. Em seguida, avaliou-se a eficácia da simulação sendo considerada no atendimento dos requisitos eleitos.

O primeiro requisito examinado foi a mobilização dos saberes pertinentes à produção da inferência esperada. Partiu-se da premissa que seria eficaz a simulação cuja ação didática do professor fosse só aquela de fazer perguntas provocando hipóteses, ou seja, nenhum conceito inicial seria oferecido. A própria experiência deveria abrir espaço tanto para formulação da hipótese quanto para a sua testagem, ao contrário da metodologia que expõe, a priori, um conceito ou lei para depois testá-la de alguma forma.

Isso era importante visto que a prática de comprovar uma lei, conceito ou fenômeno, previamente apresentados e descritos, por meio de experiências em laboratório, concreto ou virtual, perde muito em eficácia cognitiva por induzir a superficialidade da observação, dado que o aluno já sabe o que verá. A exposição do resultado, ou conceito, não favorece a convocação de conhecimentos prévios para dedução, minimizando a produção conexões sinápticas importantes para a consolidação da informação rumo ao conhecimento consistente. Por fim, experiências com a finalidade de comprovar o sabido liquida com a porção desafio que o sujeito tem prazer em vencer.

Nesse sentido, trata-se de desejo e podemos aprender com o sucesso dos jogos digitais no sentido que eles, invariavelmente, propõem uma missão e instrumentos para dar conta dela.

Simulação: [Movimento de projétil](#)



Sala PhET (EUA).

Fonte: a autora

Ao contrário disso, há “ensinos” que não instigam o intelecto dos alunos, tornando o tempo e o cotidiano da escola aborrecimentos a serem suportados. Induzimos o aluno a imaginar que nas ciências não há erros, não há descaminhos, idas e recomeços. “Os alunos muitas vezes pensam que seu objetivo com tais experiências é reproduzir um resultado pré-ordenado o mais rápido possível, sem cometer nenhum erro” (WIEMAN et al., 2008, p. 683).

Ainda como requisito para julgar a eficácia da simulação, avaliou-se a sua legitimidade considerando legítima aquela que não reduzisse/simplificasse excessivamente os eventos a fim de induzir à conclusão correta.

Atendidas essas demandas, passou-se ao quesito viabilidade de trabalho na modalidade projeção.

Modo Projeção



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/teaching-resources/clickersDemo

Atender à questão de viabilidade no modo projeção foi decisivo para a seleção das simulações visto que a posse, e uso individual, de celulares ou computadores em salas de aula, na escola pública, ainda enfrenta muitas limitações e reservas, quando não uma proibição sumária.

Já o acesso à Internet e uma fonte de projeção, embora, evidentemente, esteja longe de atender a todas as escolas, está presente em uma parte significativa das instituições de ensino, portanto, manejar a simulação para produção e testagem de hipóteses precisa ser viável coletivamente no modo projeção. Por fim, quanto à questão do potencial de inferir o conceito, é difícil, quantitativamente, estabelecer uma porcentagem de inferências em trabalho de cunho oral porque as vozes se somam e também porque quando um aluno aponta, os demais já percebem o caminho da dedução. Em vista disso, procurou-se validar as simulações que produzissem deduções com uma respectiva justificativa. As simulações que atenderam a todos os requisitos citados foram classificados como muito eficazes (ME). Aquelas que atenderam três dos requisitos, mas que permitissem a inferência, sem auxílio do professor, foram consideradas eficazes (E). Aquelas que não se mostrassem eficazes para testagem da hipótese e inferência de conceitos, independentemente de atender aos outros requisitos, receberam a classificação ineficazes (I).

Sobre as simulações

As simulações acessadas no [site PhET](https://phet.colorado.edu/) podem ser executadas online no celular ou tablet, bem como acessadas e baixadas definitivamente no computador. O código, como se

disse, é aberto e tudo é gratuito. As linguagens usadas são Java, HTML5 e Flash, embora esta última esteja caindo em desuso. De fato, o projeto PhET tem incentivado autores a converter, colaborativamente, todas as simulações em HTML5.

Foram testadas doze simulações, constantes do quadro adiante, ao longo de cada semestre com alunos do quinto período do curso, perfazendo um total de noventa e dois estudantes.

A seleção das simulações desconsiderou a divisão por etapa escolar sugerida pela interface e utilizou o resultado do diagnóstico prévio para cada uma das quatro turmas investigadas.

De fato, há no PhET simulações classificadas como aplicáveis aos anos iniciais do Ensino Fundamental e que são excessivamente sofisticadas, convocando domínio de conceitos prévios complexos o que leva a pensar que a experiência de docência, dos respectivos autores, é diferente daquela que temos em nossas escolas públicas.

Em razão do limite de espaço descreveremos, brevemente, as etapas de uma, dentre as simulações aplicadas aos alunos no modo projeção. Todas seguiram uma ordenação padrão, protocolo, cujas etapas foram: diagnóstico dos conhecimentos prévios para identificar conceitos equivocados, seguido da compilação das hipóteses da sala, diante da questão posta e testagens progressivas das hipóteses. A conclusão do trabalho se deu na produção de um conceito informal pelos alunos, para posterior identificação daquele conceito científico.

Simulando: densidade

A conclusão que o manejo da simulação densidade deveria provocar era de que essa propriedade decorre da relação entre massa e volume e é expressa pelo seu quociente.

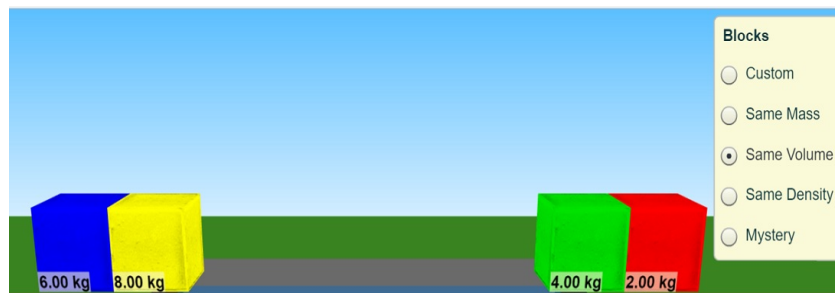
O recurso oferece cinco possibilidades de ação em relação aos blocos cuja flutuação será testada, a saber: massas iguais e volumes diferentes (*same mass*); volumes iguais (*same volume*) e massas diferentes, densidades iguais (*same density*), personalizado (*custom*), opção na qual é possível selecionar massa, volume e material e, finalmente, opção mistério que foi selecionada como a primeira a ser aplicada.

Mesma massa



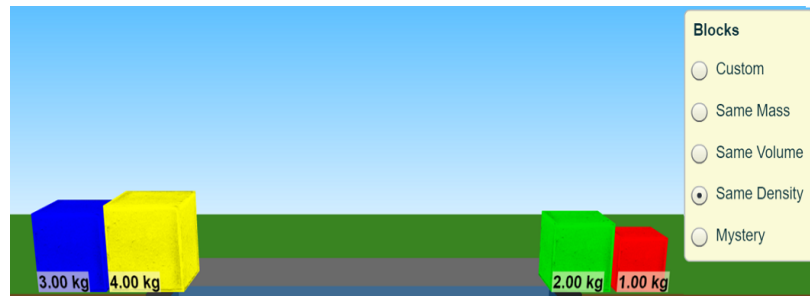
Fonte: <https://phet.colorado.edu>

Mesmo volume



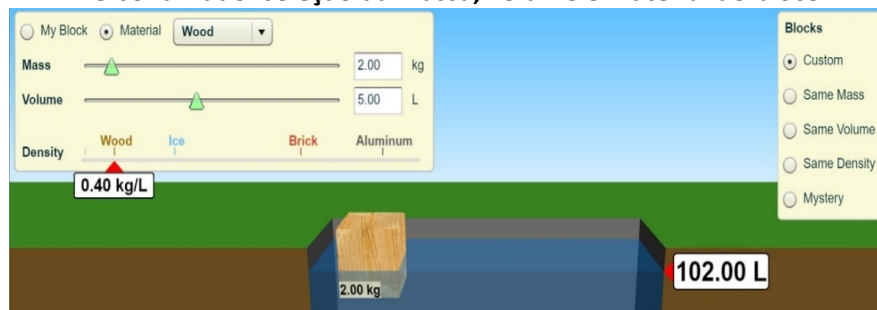
Fonte: <https://phet.colorado.edu>

Mesma densidade

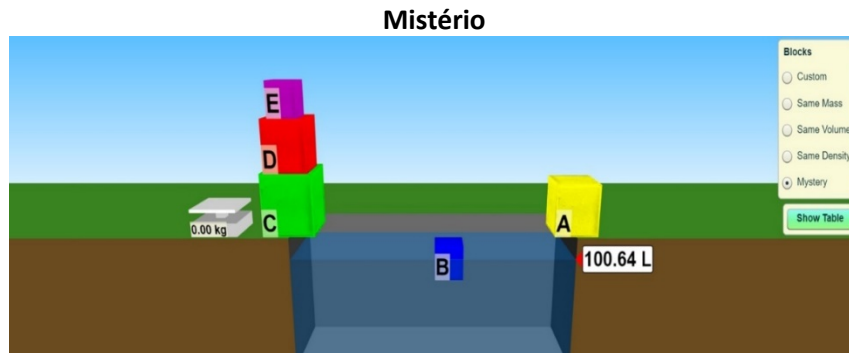


Fonte: <https://phet.colorado.edu>

Personalizado: seleção da massa, volume e material do bloco



Fonte: <https://phet.colorado.edu>



Fonte: <https://phet.colorado.edu>

Cada simulação contém um item denominado “Tópicos, Descrição e Amostras de Aprendizagem” com as possibilidades de trabalho.

Nesse exemplo, as propriedades em jogo e a serem combinadas são: densidade, massa e volume. Nos itens *Descrição* e *Amostras de Aprendizagem* há procedimentos possíveis, bem como questionamentos e inferências que a simulação permite checar.

No item *Descrição* estão algumas questões:

Por que os objetos como a madeira flutuam na água? Depende do tamanho? Crie um objeto personalizado para explorar os efeitos da massa e do volume na densidade. Você pode descobrir o relacionamento? Use a escala para medir a massa de um objeto, então segure o objeto sob a água para medir seu volume. Você pode identificar todos os objetos misteriosos?

O item *Amostras de Aprendizagens* apresenta as seguintes propostas:

Descreva como o conceito de densidade se relaciona com a massa e o volume de um objeto.

Explique como objetos de massa similar podem ter diferentes volumes e como objetos de volume similar podem ter massa diferente.

Explique porque a mudança de massa ou volume de um objeto não afeta sua densidade (ou seja, compreenda a densidade como uma propriedade intensiva).

Medir o volume de um objeto observando a quantidade de fluido que ele desloca.

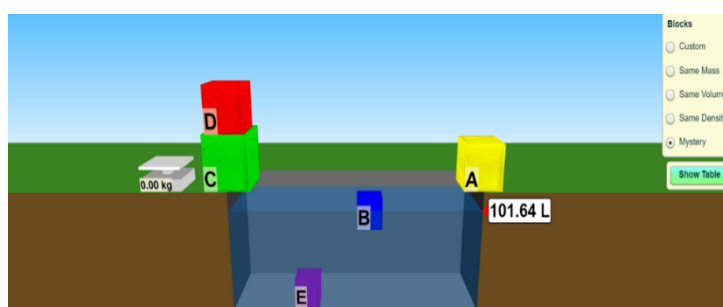
Identificar um material desconhecido calculando sua densidade e comparando com uma tabela de densidades conhecidas.

Protocolo do uso da Simulação Densidade

A primeira proposta aplicada foi na opção denominada *Mistério* e o primeiro propósito era selecionar quais blocos flutuariam, levando em conta o ocorrido com o bloco *B* e, por fim, justificar a escolha.

Todas as premissas e respostas foram compiladas no quadro e depois discutidas.

A primeira bateria de hipóteses dos alunos levou em conta o volume. A escolha dos elementos que flutuariam, unânime nas quatro testagens, foram o bloco *E* e *B*.



Fonte: <https://phet.colorado.edu>

Mergulhou-se inicialmente o bloco *E* para em seguida lançar o bloco *B*. Causou surpresa o bloco *E* ter ido a pique e o *B* flutuado.

Uma simulação bem projetada concentra a atenção do aluno sobre os conceitos científicos básicos. Quando algo inesperado acontece, o aluno questiona sua compreensão e muda os parâmetros na simulação para explorar e melhorar sua compreensão - abordagens semelhantes àquelas tomadas por um cientista que trabalha com um experimento (WIEMAN et al., 2008, p. 682).

Em seguida, os estudantes propuseram computar o peso, mas se guiaram, novamente, pelo volume, associando os maiores a um maior peso. Depois das previsões e pesagem, os blocos foram lançados no tanque.



Fonte: <https://phet.colorado.edu>

O conflito se deu quando, após a pesagem o bloco *E*, que foi ao fundo, apresentar 3,53 kg enquanto o bloco *C*, que flutuou, embora pesasse mais, 4,08 kg.

A discussão progrediu e a relação massa-volume foi citada, mas foi na aplicação do modelo *personalizado* de simulação, com a observação das variações volume em diferentes materiais, que a noção de densidade se solidificou enquanto uma relação até chegar-se à enunciação da propriedade.

Essa descrição, que eventualmente causará surpresa a algum leitor, sugere que não foi possível aos estudantes recuperarem, de pronto, saberes trabalhados desde as séries iniciais a fim de fazer frente ao desafio proposto. Entende-se que é uma pista de que há algo equivocado no ensino de Ciência no ensino básico e que descola a experiência pessoal do sujeito com os fenômenos dos conceitos aprendidos a respeito deles e da sua enunciação científica.

As razões são múltiplas. Segundo Roth et. al (1997), os alunos deixam de aprender através de demonstrações de professores, em vista de:

(a) a falta de estrutura teórica dos alunos para separar os sinais - os fenômenos - do ruído, (b) interferência de discursos aprendidos em outros contextos do curso de física, (c) interferência de outras demonstrações e imagens que tinham alguma superfície semelhança, (d) problemas dos alunos em reunir estruturas estruturais coerentes a partir das informações dadas, (e) baixa relevância do conhecimento relacionado às demonstrações em testes, e (f) falta de oportunidades para que os alunos avaliem suas descrições e explicações. (p. 509).

Dentre os aspectos que dificultam a aprendizagem, analisando conteúdo trabalhado de forma expositiva, como citado pelos autores, há alguns que as simulações investigadas põem em jogo.

No que diz respeito à questão da *“falta de arcabouço teórico que permita ao estudante distinguir fenômenos de ruídos”*, no sentido daquilo que é importante perceber e da importância de ignorar o que é eventual, ou mesmo desprezível, pelo fato da simulação trabalhar no sentido e na direção inversos da exposição, consegue estimular o usuário a perceber o que se repete, o que é intrínseco e o que é eventual.

No final do percurso de inferência por simulação, mesmo partindo com um conhecimento prévio relativamente modesto, pode-se esperar que o trabalho acrescente um conhecimento ao arcabouço teórico do sujeito. Sobre simulações, Carvalho et al. afirmam:

Parecem-se mais com problemas reais. A resolução de problemas baseados em simulações e em problemas do mundo real, requer que os estudantes distingam a informação importante da acessória. As simulações, tal como as experiências reais, também permitem abordar os problemas da incerteza nas medições e consequentemente, a incerteza nos resultados obtidos. Assim, as simulações podem fazer a ligação entre a teoria (mundo ideal) e o mundo real (2013, p. 60).

Embora Roth et al. tratem especificamente do ensino de física, quando se referem a discursos aprendidos em outros contextos, eles são verificáveis em outras áreas e podemos reconhecê-los veiculados nas mídias que, por vezes, distorcem o conceito a fim de simplificar a mensagem. Os procedimentos de aplicação da simulação no ambiente coletivo e o próprio recurso operam no sentido de fazer emergir esses equívocos, rumo à sua desconstrução.

Quanto à dificuldade que o estudante tem para reunir estruturas coerentes, entende-se que a colaboração coletiva da simulação no formato projeção é aliada do professor na promoção da confluência dessas estruturas e que um eventual constrangimento que o estudante tenha em se expor se dilui no grupo.

Por fim, o último aspecto apontado como dificuldade da aprendizagem que é o fato de o aluno não refletir no que pensa sobre algo, a simulação franqueia justamente a oportunidade de o aluno avaliar as suas próprias explicações e compreensão. De outra forma, quando o sujeito é apenas apresentado ao conteúdo científico pronto, resulta que ignora o que não sabe e entende que pelo fato de ter “tido a aula do conteúdo” e, eventualmente, ter se saído bem em avaliações, muitas de valor duvidoso, considera que se apoderou das informações e se dá por satisfeito.

Quanto ao expediente de projetar a simulação, ele se mostrou exequível desde que seja construído um procedimento que organize a participação coletiva. Considera-se também que foi eficaz o quesito reflexão a partir de contribuições orais colaborativas. Finalmente, as atividades foram consideradas, na sua maioria, interessantes, segundo os relatos dos estudantes. A seguir, quadro de resultados.

Quadro de eficácia da simulação a partir dos critérios eleitos

Simulação	Requisitos avaliados				
	Mobilização de saberes	Legitimidade	Potencial Inferência	Modalidade Projeção	Produção de inferência
1. Densidade	atende	atende	atende	atende	ME
2. Efeito estufa	atende	atende	atende	atende	E
3. Comer e exercitar-se	atende	atende	atende	atende	ME
4. A rampa	atende	Não atende	atende	atende	E
5. Mudança de Energia	atende	atende	atende	Não atende	E
6. Construa uma molécula	atende	Não atende	atende	atende	E
7. Estados da matéria	atende	atende	atende	Não atende	E
8. Energia da pista de skate	Não atende	atende	Não atende	atende	I
9. Monte um átomo	atende	Não atende	atende	atende	E
10. Movimento de projétil	atende	atende	atende	atende	ME
11. Soluções açúcar e sal	atende	atende	atende	atende	E
12. Seleção Natural	atende	não atende	atende	atende	E

Fonte: a autora

Para além de examinar a eficácia das simulações do PhET, cujo resultado contabilizou três como muito eficazes, uma ineficaz e oito eficazes, o processo permitiu estimar que simulações interativas são recursos que driblam algumas dificuldades do cotidiano escolar, a saber:

- permitem uma experimentação nem sempre possível de concretizar em um laboratório tradicional, dado que oferecem a visualização virtual de

fenômenos como é o caso, por exemplo, de variações no efeito estufa ou do metabolismo humano;

- contemplam a reversibilidade e repetição por utilizarem modelos visuais que facultam, ao aluno, perceber relações de causa e efeito imediatamente.
- possibilitam testar hipótese que só podem ser promovidas virtualmente em sala de aula como, por exemplo, simular a queda de um objeto no vácuo.

Isso não significa que a ação concreta, mãos na massa, ou no material em laboratório, seja dispensável. Do ponto de vista psíquico, defende-se que há uma questão “afetiva” no sentido daquilo que afeta ao sujeito simbolicamente mobilizada quando uma experiência acontece dentro de um laboratório, mesmo que ele não seja sofisticado. O laboratório irriga o imaginário do aluno, movendo a dupla corpo/curiosidade e esse efeito não encontra paralelo no uso de simulações, mesmo que operadas individualmente. O ideal, inegavelmente, é explorar ambas as vivências.

Considerações Finais

No que diz respeito ao seu design instrucional, ao desenho pedagógico, que dá suporte à interface PhET, o uso continuado, desde o ano de 2013, me permite afirmar que ela tem recebido contínuas melhorias quanto à organização dos recursos, quer na forma de objetos, quer como material de apoio.

Há textos explicativos, vídeos que suportam legenda automática de boa qualidade; textos que tratam da temática e links que encaminham o usuário para artigos publicados em periódicos científicos importantes. Também há em curso todo um trabalho para que a interface se mostre mais responsiva para uso nos dispositivos móveis, aproximando-se do desempenho que apresenta quando utilizada em desktops.

Didaticamente as simulações PhET podem ser desenvolvidas pelo método de *Aprendizagem Baseada em Problemas*, em vista da possibilidade de desafio e do estímulo ao raciocínio, além da possibilidade de controle de variáveis e a verificação imediata de premissas, o que é um quesito interessante também para o estudo autônomo.

As simulações por computador são mais eficazes quando elas (a) são usadas como suplementos; (b) para incorporar estruturas de suporte de alta qualidade; (c) incentivar a reflexão do aluno; e (d) promover a dissonância cognitiva (SMETANA; BELL, 2012, p. 1337).

Vale ressaltar que observando o uso individual, sem maiores intermediações, concluiu-se que as simulações se revelaram compreensíveis no quesito operacionalização, desde que o conteúdo fosse compatível com a idade do usuário e que, de modo geral, todos se mostraram estimulados a jogar.

Por mais que as simulações sejam eficientes, em um país como o nosso, que se mostra surpreendentemente *indisperto* para investir na educação e que busca sempre soluções fáceis, independentemente de elas apresentarem boa qualidade, é imprescindível não perder de vista as questões citadas a seguir, propostas pelos professores do departamento de Física da Universidade do Colorado, a mesma que serve de repositório para as simulações PhET.

Por que as crianças de quinze anos deveriam usar produtos químicos virtuais em copos virtuais? Por que aos dezoito anos de idade devem fazer experiências virtuais em laboratórios virtuais de física? A resposta a essas perguntas é frequentemente: porque as simulações são menos dispendiosas; porque não há professores de ciências suficientes. Mas essas respostas imploram uma grande questão: estamos usando a tecnologia do computador, não porque ensina melhor, mas porque perdemos a vontade política de financiar adequadamente a educação? (FINKELSTEIN et al., 2005).

Explorar recursos é da lavra de professores e pesquisadores porque é de nossa responsabilidade investigar sistematicamente e trazer reflexões sobre produtos destinados ao ensino de nosso país.

No que diz respeito às simulações PhET, é impossível aquilatar o efeito de apropriação dos conceitos resultantes do uso de modelos visuais e representações múltiplas, bem como não é inviável prever a longevidade desses saberes para o usuário, ao menos em curto prazo. Todavia, é razoável crer que a construção coletiva de um saber a partir de um trabalho cognitivo direcionado e, sobretudo, ativo, seja mais eficiente que a exposição do conteúdo acabado. Isso vale tanto para experiências concretas, quanto para as virtuais.

Mais seguro é dizer que qualquer aprendizagem será mais efetiva na medida em que os envolvidos estiverem investidos de desejo. Se refletirmos sobre as razões que, desde sempre, levam os alunos a admirarem seus professores e, muitas vezes, seguirem na mesma trilha de interesses, vamos nos deparar com o desejo. Se estendermos essa reflexão e chegarmos a Freud (1912-1981) e seu conceito de *transferência*, enquanto aquilo que

nomeia uma relação que envolva amor, concluímos, como ele mesmo, que o professor pode atingir seu aluno, via inconsciente, através de seu desejo.

Por fim, o desejo parece o ingrediente mais efetivo de uma aula, quer ela empregue tubos de ensaio de vidro, quer de pixels.

Referências

ANASTASIOU, L. G. C. **Metodologia do Ensino Superior**: da prática docente a uma possível teoria pedagógica. Curitiba: IBPEX, 1998.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponível em https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=40

CARVALHO, Paulo Simeão; CHRISTIAN, Wolfgang; BELLONI, Mario. Physlets e Open Source Physics para professores e estudantes portugueses. **Rev. Lusófona de Educação**, Lisboa, n. 25, p. 59-72, 12/2013. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1645-725020130003000005&lng=pt&nrm=iso Acesso em: fev. 2018.

COSTA, A. M. N. Impactos Psicológicos do Uso de Celulares: Uma Pesquisa Exploratória com Jovens Brasileiros. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Universidade de Brasília, v. 20, n. 2, pp. 165-174, Mai-Ago 2004.

FESTINGER, L. **Dissonância Cognitiva**. Rio de Janeiro: Zahar, 1975.

FINKELSTEIN, N. D.; ADAMS, W. K.; KELLER, C. J.; KOHL, P. B.; PERKINS, K. K.; PDOLFESKY, N. S.; REIS, S. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical Review Physics Education**. V. 1, 1 ed., 2005. Disponível em: <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>>. Acesso em: maio 2017.

FORTIM, Ivelise; ARAÚJO, Ceres Alves de. Aspectos psicológicos do uso patológico de internet. **Bol. - Acad. Paul. Psicol.**, São Paulo, v. 33, n. 85, p. 292-311, dez. 2013. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-711X2013000200007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso fev. 2017.

FREUD, S. La dinámica de la transferencia (1912). **Obras Completas**. Vol. II. Madri: Biblioteca Nueva, 1981.

ROTH, W. M.; MCROBBIE, C. J.; LUCAS, K. B.; BOUTONNÉ, S. Por que os alunos não conseguem aprender com demonstrações? Uma perspectiva de prática social sobre aprendizagem em física. **J. Res. Sci. Ensigne.**, v. 34, pp. 509-533, 1997. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com>>. Acesso em: set. 2017.

SMETANA, L. K.; BELL, R. L. Computer Simulations to Support Science Instruction and a Learning: A critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, v. 34, 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2011.605182>>. Acesso em: nov. 2017.

WIEMAN, C. E.; WENDY, K. A.; PERKINS, K. K. PhET: simulações que melhoram a aprendizagem. **Ciencia**, v. 322, Edição 5902, pp. 682-683, 2008. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/322/5902/682.full>>, Acesso em: out. 2012.