

Revisão sistemática de literatura acerca da experimentação virtual no ensino de Física

Ivanderon Pereira da Silva, Licenciado em Física (2008, UFAL), Especialista em Mídias na Educação (2010, UFAL), Especialista em Formação de Professores em Mídias na Educação (UFAL, 2010), Mestre em Educação (2010, UFAL) e Doutor em Educação (2016, UFAL). Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus Arapiraca. Líder do Grupo de Pesquisa em Educação, Mídias, Tecnologias e Sociedade (GEEMTS). ivanderon@gmail.com

Luis Paulo Leopoldo Mercado, Doutor em Educação (PUC/SP, 1998), Mestre em Educação (UFSM, 1993), Especialista em Formação de Professores em Mídias na Educação (UFAL, 2010), Licenciado em Ciências Biológicas Licenciatura Plena (UFSM, 1989) e Bacharel em Direito (CESMAC, 2012). Atualmente é Bolsista Produtividade em Pesquisa Nível 2 do CNPq e Professor Titular do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões (UFAL). Líder do Grupo de Pesquisa Tecnologias da Informação e Comunicação na Formação de Professores Presencial e Online (TICFORPROD), luispaulomercado@gmail.com

Resumo: Esta investigação analisou, a partir de uma revisão sistemática de literatura, pesquisas com foco no uso de experimentos virtuais no ensino de Física. Baseou-se num inventário de estudos publicados entre 2005 e 2015 que considerou: teses e dissertações defendidas, oriundas dos Programas de Pós-graduação em Educação e em Ensino, reconhecidos pela Capes; artigos publicados nos anais do Simpósio Nacional de Ensino de Física, Encontro de Pesquisa em Ensino de Física e Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências; e artigos publicados em revistas qualis com foco no ensino de Ciências/Física avaliadas nas áreas de Educação e Ensino. Como resultados, constata-se que os experimentos virtuais permitem a visualização de conceitos abstratos; a redução do tempo necessário para a preparação, coleta de dados e execução dos experimentos; possibilitam repetir o mesmo experimento várias vezes; ampliar o número de sujeitos que podem manipular o experimento; realizar experimentos que não podem ser executados em laboratórios convencionais; manipular parâmetros físicos; garantir um feedback imediato; abordar um número maior de fenômenos num intervalo de tempo menor; comumente são interativos, flexíveis, reutilizáveis e interoperáveis; não há restrições de acesso no que diz respeito ao tempo e nem lugar; permitem o desenvolvimento de novas competências; evitam que o aparato experimental seja danificado por mau uso; e favorecem a realização de trabalhos colaborativos a distância, que dificilmente seriam possíveis fora do cenário da experimentação virtual.

Palavras-chave: Experimentos Virtuais, Possibilidades didáticas, Ensino de Física.

Systematic review of literature on virtual experimentation in physics teaching

Abstract: This research analyzed, from a systematic review of literature, research focused on the use of virtual experiments in physics teaching. It was based on an inventory of studies published between 2005 and 2015 that considered: theses and dissertations defended, coming from the Graduate Programs in Education and Teaching, recognized by Capes; articles published in the annals of the National Symposium of Physics Teaching, Research Meeting in Physics Teaching and National Meeting of Research in Science Education; and articles published in journals qualis with focus in the teaching of Sciences / Physics evaluated in the areas of Education and Teaching. It is observed that virtual experiments allow the visualization of abstract concepts; the reduction of the time necessary for the preparation, data collection and execution of the experiments; make it possible to repeat the same experiment several times; to increase the number of subjects

that can handle the experiment; perform experiments that can not be performed in conventional laboratories; manipulate physical parameters; ensure immediate feedback; addressing a greater number of phenomena within a shorter time frame; interoperable, flexible, reusable and interoperable; there are no access restrictions with respect to time and place; allow the development of new skills; prevent the experimental apparatus from being damaged by misuse; and they favor the accomplishment of collaborative works at a distance, that would hardly be possible outside the scene of the virtual experimentation.

Keywords: Virtual Experiments, Didactic possibilities, Physics Teaching.

Submission: 2018-10-02/ approval: 2018-12-11

Introdução

No laboratório da escola ou da universidade, geralmente, há procedimentos didáticos específicos a serem realizados a partir da prática experimental. Normalmente, em uma atividade desse tipo, os estudantes formam grupos e, colaborativamente, analisam procedimentos, manipulam recursos e avaliam os resultados obtidos. Há ainda tempos e espaços determinados para a realização das tarefas e, muitas vezes, os dados obtidos apresentam erros e falhas necessárias para a compreensão da forma como a Física evolui e se constitui enquanto Ciência.

No cenário contemporâneo, raras são as práticas experimentais que não exploram, em algum grau, as potencialidades dos recursos virtuais, seja essa relação evidente na problematização, montagem do aparato experimental, coleta, tabulação e/ou análise dos dados. Para Cardoso e Dickman (2012, p. 899), dentro dessa perspectiva, “os símbolos e as imagens produzidos pela informática podem proporcionar, em diferentes níveis, um ganho cognitivo”. Partimos da ideia de que a experimentação é a prática com o uso do experimento e este é o resultado da composição de um aparato que permite a representação de um fenômeno natural e a análise da relação entre as variáveis nele contidas.

Ao considerar que “experimentar, portanto, é submeter à experiência; é pôr à prova; é ensaiar; é conhecer ou avaliar pela experiência” (BORGES; MORAES, 1998, p. 30 apud SILVA et al., 2012, p. 147); e que essa tem se dado, em algum grau, a partir da mediação dos símbolos produzidos pela informática, é possível então considerar que estamos num contexto de práticas de experimentação virtual.

Simões Junior et al. (2011, p. 1), chamam os experimentos virtuais de experimentos computacionais e afirmam que a ideia básica desses recursos “é simular de forma controlada o comportamento físico de um sistema complexo resolvendo um conjunto de

equações matemáticas baseado em um modelo físico-matemático fundamental e bem aceito pela comunidade científica”. Para Pereira e Costa (2011), tais recursos “são ferramentas computacionais que, por meio de representações dinâmicas, possibilitam a exploração de fenômenos da natureza”. Nesse sentido, compreendemos os experimentos virtuais como conteúdos digitais, baseados em modelos matemáticos que descrevem padrões naturais e que são aceitos pela comunidade científica, a partir dos quais é possível controlar as variáveis pré-definidas neste modelo e visualizar rapidamente os efeitos produzidos.

Diante dessa definição, investigamos as possibilidades de uso dos experimentos virtuais no ensino de Física. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática de literatura. Segundo Ramos et al. (2014), esse método analisa de forma sistêmica estudos com foco num determinado tema. Comumente se baseia na análise de um levantamento que busca aprimorar a compreensão sobre a questão enfocada.

Desse modo, foram analisados os produtos do levantamento desenvolvido por Silva e Mercado (2018) que teve como foco estudos relacionados à experimentação em Física mediada por interfaces digitais. Trata-se de um inventário que considerou: a) as teses e dissertações defendidas no período de 2005 a 2015 e que são oriundas dos Programas de Pós-graduação reconhecidos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) nas áreas de Educação e Ensino; b) artigos publicados, no mesmo período, nos anais do Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) e Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC); e c) artigos publicados nesse mesmo período nas revistas avaliadas na quadrienal de 2013-2016 com estratos A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5 e C no Qualis/Capes, nas áreas de Educação e Ensino e que tinham como foco a divulgação de estudos sobre o ensino de Ciências/Física.

Os resultados dessa revisão sistemática de literatura estão organizados nas próximas seções.

Simulações computacionais no ensino de Física

O conceito de simulação parece ser um dos mais frequentes entre os estudos que enfocam o uso de tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) no ensino de

Física. No entanto, é preciso considerar que, em tais estudos, os termos simulação e animação frequentemente são utilizados indistintamente. Porém, “simulação” deriva do latim “simulatus” que significa “imitar”. Já o termo animação deriva do latim “animatio” que tem relação com a “qualidade do ser animado”. A animação recupera a ideia do movimento, enquanto que a simulação recupera a ideia da mimese, representação, imitação.

Nesse sentido, Silva (2012, p. 879), define a animação como “um tipo de sequência dinâmica de imagens; é um elemento gráfico animado, mas preferencialmente não contínuo”. Uma estratégia de animação que vem sendo utilizada no ensino de Física é o stop motion. Trata-se de uma técnica que utiliza uma sequência de imagens diferentes de um mesmo objeto, que quando passadas rapidamente dão a ideia de que esse está em movimento. Segundo Ferreira (2014, p. 745) o stop motion é “compreendido como movimentação pelo fenômeno da persistência retiniana, que provoca a ilusão no cérebro humano de que algo se move continuamente quando são reproduzidos mais de doze quadros por segundo”.

Esse autor apresentou a análise da produção e exploração experimental de uma animação stop motion intitulada “O Arco-íris”, produzido por três alunos do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e que enfocava a propagação, reflexão, refração e absorção da luz, o fenômeno do arco-íris e a dispersão luminosa. Essa animação “tem dois minutos e oito segundos de duração e apresenta um simpático extraterrestre empenhado em capturar um arco-íris do planeta Terra para presentear sua amada”. (FERREIRA, 2016. p. 125). O vídeo “o Arco-íris” foi produzido utilizando uma câmera fotográfica digital e massa de modelar para criar os personagens. A câmera digital captou as imagens e um software de edição de vídeo foi utilizado para criar a animação <https://www.youtube.com/watch?v=m_usnSraZlc>.

Já a simulação computacional, aplicada à experimentação em Física, consiste no “processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para a sua operação” (PEGDEN, 1990 apud GREIS et al., 2011, p. 52). O cerne dessa definição é acompanhado por autores como Nieves (2013), Sievers Junior et al. (2011), Monteiro et al. (2013) e Dantas et al. (2014)

Tais recursos, além de possibilitarem a visualização de fenômenos que dificilmente poderiam ser reproduzidos a partir de experimentos convencionais, “possibilitam observar em alguns minutos a evolução temporal de um fenômeno que levaria horas, dias ou anos em tempo real” (HECKLER et al., 2007, p. 268). Assim, por meio desses recursos, os sujeitos podem alterar “parâmetros, verificar as possibilidades e limitações das suas hipóteses confrontando-as com o modelo físico apresentado” (GONÇALVES et al, 2006, p. 33) quantas vezes for necessário e na velocidade que melhor atender às suas necessidades de aprendizagem.

As simulações computacionais podem ser classificadas de diferentes formas. Giordan (2008, p. 127) as classifica em três categorias, de acordo com os parâmetros de entrada que geram o gráfico: a) simulação por primeiros princípios; b) simulação semi-empírica e; c) simulação empírica. Segundo esse autor, as simulações por primeiros princípios são “aquelas que interpretam os fenômenos a partir de representações algébricas derivadas de modelos teóricos *stricto sensu*, ou seja, sem a participação de medidas experimentais”. As simulações semi-empíricas são aquelas nas quais a “programação codifica leis que contêm parâmetros ajustados para reproduzir medidas experimentais” (idem). Já as simulações empíricas são aquelas nas quais o código “pode se basear em leis puramente empíricas, ou seja, em representações algébricas derivadas das medidas experimentalmente observadas” (idem).

Gonçalves et al. (2006), também propõem uma classificação para as simulações computacionais, no entanto, de acordo com seu grau de interatividade: a) simulações interativas e; b) simulações não interativas. Enquanto nas simulações não interativas os sujeitos se limitam a visualizar a reprodução do modelo físico, nas simulações interativas é possível manipular os parâmetros e verificar diferentes comportamentos e efeitos.

Hohenfeld (2013, p. 28), por sua vez, propõe a classificação das simulações quanto às mídias utilizadas: a) simulações estáticas e; b) simulações dinâmicas. Para esse autor, “nas simulações estáticas, o estudante tem pouco ou nenhum controle sobre os parâmetros da simulação. Nas simulações dinâmicas, estes parâmetros podem ser modificados com um grau de liberdade bem maior”. O quadro 1 sintetiza essa taxonomia.

Quadro 1 – Classificação das simulações computacionais

Quanto ao grau de interatividade	Quanto às mídias utilizadas	Quanto aos parâmetros de entrada
Não-interativas	Estáticas	por primeiros princípios
Interativas	Dinâmicas	semi-empírica
-	-	empíricas

Fonte: Dados da pesquisa

As simulações poder ser acessadas gratuitamente a partir da internet, ser produzidas (com a ajuda de tutoriais) por professores ou estudantes por meio de softwares específicos ou ser criadas por especialistas em programação. Quando se produz uma quantidade significativa de simulações e se deseja compartilhá-las, as instituições criam repositórios específicos para esse fim. Como exemplo de tal situação, é possível apontar o SimulPhysics <<http://ludifisica.medellin.unal.edu.co/index.php/software-hardware/simulphysics>>, que consiste num “conjunto de simulações interativas sobre diferentes tópicos da Física que apoiam a assimilação dos conceitos desenvolvidos na parte teórica do curso” (ARISTIZÁBAL et al., 2013, p. 2).

Outro exemplo, dentre os mais difundidos repositórios de simulações de Física, é o Phet Interactive Simulation (PhET) da Universidade do Colorado. Segundo Pinheiro et al. (2015, p. 2047),

O PhET é um Portal que oferece gratuitamente muitos softwares de simulações de fenômenos Físicos, Químicos e Biológicos baseados em pesquisas realizadas por vários pesquisadores de diversas Universidades do mundo. O objetivo desse projeto é auxiliar os professores com o material de apoio em aulas teóricas, bem como ajudar os alunos a compreenderem os conceitos teóricos abstratos de forma interativa e divertida. As simulações estão disponíveis no Portal PhET, em português, e podem ser baixadas gratuitamente em computadores, tablets e smartphones desde que os mesmos tenham o Java ou Flash para executarem as simulações.

Esse repositório disponibiliza de forma gratuita simulações nas áreas de Física, Química, Matemática, Biologia e Ciências da Terra. O site está disponível em 37 idiomas, dentre os quais o português <http://phet.colorado.edu/pt_BR/>. As simulações do PhET podem ser exploradas diretamente a partir da internet ou baixadas gratuitamente sem a necessidade de cadastro. Para Miranda et al. (2011, p. 5), “o grupo do PhET possui uma abordagem baseada em pesquisa, na qual as simulações são planejadas, desenvolvidas e avaliadas antes de serem publicadas no site”. Nesse sentido, “além de produzir as simulações, a equipe do PhET busca realizar uma avaliação da eficiência de seu uso em salas de aula” (idem, p. 2). Esse controle de qualidade faz com que as simulações

produzidas e disponibilizadas nesse repositório sejam cada vez mais utilizadas nas práticas pedagógicas dos professores de Física do mundo inteiro.

Além desses, é possível apontar outros espaços da internet a partir dos quais os sujeitos podem acessar simulações de fenômenos físicos. Nesse sentido, disponibilizamos uma lista de endereços que remetem à repositórios de simulações no quadro 2.

Quadro 2 – Simulações computacionais de Física

- ACDLabs <<http://www.acdlabs.com>>
- Animaciones de Física <<http://acer.forestaes.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/animaciones.html>>
- Associação Ensino Livre <<http://ensinolivre.pt/>>
- BBC Schools Science Clips <http://www.bbc.co.uk/schools/scienceclips/index_flash.shtml>
- Biblioteca de Simulações <<http://higheredbcs.wiley.com/legacy/college/halliday/0471320005/simulations6e/index.htm?newwindow=true>>
- Ciclo de Carnot <<http://www.cs.sbccc.net/~physics/flash/heatengines/Carnot%20cycle.html>>
- Ciclo de Carnot <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/carnot/carnot.htm>>
- Ciclo de Otto <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/termodinamica/motor.html>>
- Ciclo Diesel <<http://www.shermanlab.com/xmwang/myGUI/DieselG.html>>
- Ciência a Mão <<http://www.cienciamao.usp.br/>>
- e-Física <<http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/>>
- e-on <<http://www.eon-uk.com/EnergyExperience/661.htm>>
- Experimentos de cargas eléctricas <<http://www.dcc.uchile.cl/~sebrodri/JAVA/Proyecto/Proyecto.html>>
- Fichero virtual de la biblioteca a distância <<http://www.una.edu.ve/~crmbd>>
- Física Vivencial <<http://www.fisicavivencial.pro.br/>>
- Fisicanimada.net.br <<http://www.ficicanimada.net.br>>
- FisLab <<http://www.fislab.net/>>
- Freezeray <<http://www.freezeray.com/physics.htm>>
- How Stuff Works? (<<http://www.hsw.uol.com.br/>>)
- Hyper Physics <<http://hyperphysics-phy-astr.gsu.edu/hbase/vesc.html>>
- iPhysics (<<http://www.physicslessons.com/iphysics.htm>>)
- Khan Academy (<<https://pt.khanacademy.org>>)
- KS2 Bitesize <http://www.bbc.co.uk/schools/ks2bitesize/science/physical_processes/>
- Laboratório de Dilatação Térmica <<http://cref.if.ufrgs.br/~leila/dilata.htm#linear>>
- Laboratório de Física <<http://www.laboratoriodefisica.com.br/simulacoes.html>>
- Laboratório de MCU <<http://midia.atp.usp.br/atividades-interativas/AI-0073>>
- Laboratório de Termologia <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/estados/cambios.htm>
- Laboratorio virtual de la Universidad de Oregon <<http://jersey.uoregon.edu/vlab/>>
- Le Chat <http://www.fis.uc.pt/~spf/Soft_c/soft_chtml>
- Learners TV <<http://www.learnerstv.com/animation/animationcategory.php?cat=physics&page=2>>
- Medida de la densidad relativa de un líquido <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/estatica/densidad/densidad.htm>>
- Modelab2 <<http://modelab2.modelab.org/>>
- Molecular Expressions <<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/>>
- Laboratório de Motores <<http://www.k-wz.de/vmotor/dieselme.html> ; http://www.k-wz.de/vmotor/v_omotore.html ; <http://www.k-wz.de/vmotor/dampfme.html> ; http://www.k-wz.de/vmotor/z_omotore.html ; <http://www.k-wz.de/vmotor/dieselme.html> >

- Caída de los cuerpos <<http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/cinematica/graves/graves.htm>>
- Laboratório de MRUV <<http://www.wainet.ne.jp/~yuasa/flash/Vta.swf>>
- Laboratório de MRUV <http://ephysics.physics.ucla.edu/newkin/html/acceleration_racing_cars.htm>
- NTNUJAVA <<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=398.0>>
- PCCL <<http://www.physics-chemistry-interactive-flash-animation.com/>>
- Phet Interactive Simulation (PhET) <<http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>>
- Physics at Syracuse <http://www.phy.syr.edu/courses/CCD_NEW/seti/tutorial/APPLETS/htmj/escapetest.html>
- Physics Lab <<http://www.physicslab.co.uk/>>
- Portal Educ.Ar (Argentina) <<http://www.educ.ar>>
- Portal Educar Chile (Chile) <<http://educarchile.cl>>
- Programa de Educação Tutorial (PET) de Física <<http://www.pet.dfi.uem.br/index.php?frame=anim>>
- Prolicen (<<http://www.fisica.ufpb.br/prolicen/>>
- Regents Exam Prep Center Physics <<http://www.regentsprep.org/Regents/physics/physics.cfm>>
- Laboratório de Experimentos Virtuais de Física da Universidade Federam do Rio de Janeiro (UFRJ) <<http://www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos>>
- Laboratório de Experimentos Virtuais de Física da Universidade de Toronto <<http://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/>>
- Laboratório de Experimentos Virtuais de Física da Universidade do Minho <<http://alv.fisica.uminho.pt/simulacoes/>>
- Laboratório de Experimentos Virtuais do Departamento de Física da Universidade do Óregon <<http://jersey.uoregon.edu/AverageVelocity/>>
- Semiquantitative Reasoning Laboratory (SQRLab) <<http://sqrlab.modelab.org>>
- Simulación con el ciclo termodinámico de Carnot <<http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/estadistica/carnot/carnot.htm>>
- Simulaciones de electricidad y magnetism <<http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/electromagnet/electromagnet.htm>>
- Simulaciones de mecánica de fluidos <<http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/bernoulli/bernoulli.htm>>
- Simulaciones de termodinámica <<http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/estadistica/termodinamica.htm>>
- Simulador de circuitos eléctricos <<http://www.objetos.unam.mx/fisica/circuitosElectricos/index.html>>
- Simulador de esfuerzos mecánicos para ingeniería <<http://www.engineerstoolbox.com/>>
- Simulador de un sistema de transporte y almacenamiento <<http://gpvisio2.alc.upv.es/Projectes/Roque/Cajas/cajas.htm>>
- Simulations and Games <<http://www.mrmont.com/games/>>
- SimulPhysics <<http://ludifisica.medellin.unal.edu.co/index.php/software-hardware/simulphysics>>
- Sistema Solar Virtual (<<http://www.solarsystemscope.com/>>
- The Physics Classroom <<http://www.physicsclassroom.com/Multimedia-Physics-Studios>>
- Web Lab <<http://ww2.unime.it/weblab/>>
- Webeduc (Brasil) <<http://www.webeduc.mec.gov.br>>

Fonte: Dados da pesquisa

Tais recursos podem ser explorados em cenários formativos que extrapolam a sala de aula convencional. Bevilaqua et al. (2010) exploraram o uso de simulações computacionais, por meio do projeto “Ilusões Virtuais” no museu da vida, da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Segundo os autores, “o museu conta com exposições permanentes, atividades interativas, multimídias, teatro, vídeo e laboratórios, concebidos

de forma lúdica e criativa a partir de ações que valorizam a interatividade e a mediação humana” (idem. p. 3).

Rodríguez e Mayari (2015) desenvolveram um simulador para a disciplina de Física III dos estudos de Engenharia da Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Nesse simulador foi focado o tema: Circuitos eléctricos resistivos. A interface desse simulador está disponível online e pode ser acessada por meio do endereço: <<http://www.objetos.unam.mx/fisica/circuitosElectricos/index.html>>.

Pereira et al. (2011, p. 2) exploraram o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder (IVMZ) que “foi desenvolvido para demonstrar o fenômeno de interferência quântica a partir da simulação um feixe de luz construído de apenas um único fóton”. A partir de sua exploração, “muitos aspectos dos postulados da mecânica quântica podem ser facilmente ilustrados” (idem, p. 5). O IVMZ virtual está disponível para acesso e download gratuitamente através do endereço: <www.if.ufrgs.br/~fernanda>.

Ainda com foco na Física Moderna, Pinheiro et al. (2011, p. 2) exploraram o interferômetro virtual de Michelson (IVM). Segundo esses autores, o IVM foi “desenvolvido em Visualbasic com a máxima fidelidade aos equipamentos do experimento do interferômetro de Michelson encontrado comercialmente”. Segundo esses autores, o IVM reproduz o interferômetro da marca Phyne que eles dispõem no Laboratório Experimental de Física Moderna do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC). Esse experimento virtual, em relação aos que foram anteriormente explorados, chama atenção pela preocupação que seus desenvolvedores tiveram em considerar a possibilidade do “erro experimental”. Segundo Pinheiro et al. (2011, p. 4),

Um aspecto que consideramos muito importante é que o programa permite que cada estudante obtenha resultados distintos para os comprimentos de onda de cada um dos vários lasers, dentro do “erro experimental”, como em um experimento real. Esse fato torna esse “experimento” virtual bastante realista, cujos resultados obtidos podem ser comparados com aqueles que fizeram o experimento real em um laboratório. Nesse aspecto, a incerteza da medida estará na variação do ponto final na franja de interferência em relação ao ponto inicial, escolhido pelo estudante. Essa prática deve ser realizada seguindo um roteiro do tipo usado num experimento real que acompanha o programa (grifos dos autores).

Apesar dessa argumentação parecer contrariar a ideia do experimento virtual como um recurso limitado dentro do modelo matemático que o gera, a argumentação de Pinheiro et al. (2011) não foge a essa regra. O que há por trás do IVM é um jogo de regras

matemáticas e um conjunto de probabilidades de resultados que determinam o valor e consequentemente a imagem que será visualizada como resultado do efeito das relações entre as variáveis manipuladas.

O uso de applets no ensino de Física

Outro conceito explorado nos estudos que investigaram os usos e potencialidades dos experimentos virtuais para o ensino de Física, é o de applet. Segundo Lucero et al. (2014, p. 109), tratam-se de “programas que podem ser executados diretamente da página web na qual eles estão inseridos e são apresentados como simulações visuais com a possibilidade de interação pelo usuário”. Xavier et al. (2003, p. 464) complementam essa definição ao afirmarem que “um applet é um programa de computador feito em linguagem JAVA (Java-Sun) [...] e permite uma infinidade de aplicações, como a incorporação de elementos móveis em páginas web, sistemas de controle, entrada de dados, mecanismos interativos, etc”. Nesse sentido tratam-se de programas interativos, relativamente pequenos, configuráveis, que podem ser executados diretamente a partir da internet ou que podem ser facilmente recuperados de repositórios online.

Um exemplo de repositório de applets é o Java-Applets Zur Physic <<http://www.walter-fendt.de/ph14e/>>, que disponibiliza, em 30 idiomas, applets de Física. Os recursos disponibilizados nesse repositório podem ser executados diretamente da internet ou pode ser feito o download para o computador. Ele disponibiliza applets para aulas de Mecânica, Onda Sonoras e Oscilações, Eletrodinâmica, Ótica, Termodinâmica, Teoria da Relatividade, Física Atômica e Física Nuclear. Outros repositórios de applets estão listados no Quadro 3.

Quadro 3 – Repositórios de applets

- Molecular Expressions - Interactive Java Tutorials <<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/>>
- Online Physics Applets <<http://ngsir.netfirms.com/>>
- Computers Animations of Physical Processes <<http://physics-animations.com/Physics/English/index.htm>>
- Activ Online Physics <http://wps.aw.com/aw_young_physics_11/0,8076,898587-,00.html>
- Physiclips <<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/>>
- Physics Simulations <<http://www.myphysicslab.com/>>
- Open Source Physics <<http://www.opensourcephysics.org/search/categories.cfm?t=SimSearch>>
- Interactive Physics and Math with Java <http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/kisalev/>
- General Physics Java Applets <<http://www.surendranath.org/Apps.html>>
- Applets Java de Física <<http://www.walter-fendt.de/ph14br/>>

Fonte: Dados da pesquisa

Uma vez que tais recursos podem ser executados diretamente das páginas da internet, o professor pode acessá-los em qualquer lugar que dê suporte a essa conexão. As aplicações também podem ser executadas em dispositivos móveis como tablets e smartphones.

Aos professores que não dominam a linguagem de programação JAVA e que desejam criar seus próprios applets, atualmente existem programas gratuitos como o Easy Java Simulations <<http://fem.um.es/Ejs/>>, disponível em inglês e espanhol, que facilitam a criação desse tipo de conteúdo. Trata-se de um ambiente de simulação dinâmica e de acesso livre que, segundo Calvo et al. (2008, p. 13), “foi desenvolvido pelo professor F. Esquembre [da Universidade de Murcia] e, embora inicialmente orientado para o ensino de Física, foi estendido a outros campos do saber para que esses também pudessem construir laboratórios virtuais” Para Sánchez e Espinosa (2012, p. 97), esse software “foi projetado para ensinar a um público amplo como criar simulações científicas simples e rápidas em JAVA. Alunos, professores e pesquisadores com conhecimentos básicos de programação são o público-alvo do Easy Java Simulations”. Jiménez-Castillo et al. (2014, p. 97), complementam essa definição ao afirmarem que o Easy Java Simulations “é um software livre, projetado para o desenvolvimento de aplicativos de ensino e busca a aprendizagem colaborativa entre escolas”

Além disso, esse software “dispõe de facilidades para a solução numérica de equações diferenciais de primeira ordem, permitindo que se escreva as equações de forma direta” (FIGUEIRA, 2005, p. 614). Essa característica faz do EJS um poderoso software de criação de applets para o ensino de Física, em nível básico e em nível superior,

favorecendo assim, o desenvolvimento de variadas experiências formativas e investigativas. Nesse sentido, o EJS se volta para sujeitos que não tenham alto domínio de programação e dessa forma, pode ser utilizado por professores de Física que desejem desenvolver suas próprias simulações e criar seus laboratórios virtuais.

Jogos digitais como experimentos virtuais de Física

Além das simulações e dos applets, a revisão sistemática de literatura nos permitiu apontar o conceito de jogos digitais dentre aqueles que são explorados nos estudos com foco no uso e na investigação das potencialidades didáticas dos experimentos virtuais no ensino de Física.

Segundo Savi e Ulbricht (2008, p. 3), os jogos digitais são “como ambientes atraentes e interativos que oferecem ao jogador desafios que exigem níveis crescentes de destreza e habilidades”. Clark e Mayer (2008) apud Greis et al. (2011, p. 54, grifo nosso), apontam quatro elementos fundamentais no desenvolvimento desses jogos:

- **um desafio:** uma estrutura que não é nem demasiadamente simples nem demasiadamente difícil;
- **controle:** os jogadores devem sentir que podem afetar os resultados do jogo e que o jogo mantém um ótimo ritmo;
- **curiosidade:** possibilitar oportunidades exploratórias que levem a resultados imprevisíveis;
- **fantasia:** a percepção de participação em um ambiente.

Com o objetivo de explorar as potencialidades pedagógicas dos jogos digitais, Melo et al. (2013) desenvolveram o jogo Energydownnow, baseado na linguagem JAVA, que enfoca o controle de consumo elétrico no cotidiano de uma residência. Segundo esses autores,

o jogo oferecerá diversos cenários de interação, os quais podem ser vistos como níveis de dificuldades ofertados aos jogadores (e.g, fácil, médio e difícil). Cada cenário representa uma residência com um conjunto de aparelhos eletroeletrônicos, e uma meta de consumo a ser atingida. O andamento do jogo é baseado em turnos, sendo que cada turno representa o período de um mês. A cada turno o programa calcula o consumo energético do cenário (residência) e verifica se a meta foi atingida ou não. Para influenciar o consumo mensal, os jogadores poderão executar duas ações: alterar o tempo de funcionamento de um aparelho, ou realizar a sua troca. Para tornar o jogo mais interessante, indo além de uma calculadora de consumo elétrico, decidiu-se que cada cenário também possuirá um conjunto de personagens, cada qual com suas restrições de conforto (MELO et. al., 2013, p. 1059).

O desafio proposto pelo jogo é o de reduzir o consumo de energia elétrica na residência por meio da relação de controle entre o tempo de uso do aparelho eletroeletrônico, sua potência de funcionamento e a quantidade de equipamentos que a casa possui e utiliza. Foram considerados ainda, não só o perfil de cada eletroeletrônico utilizado, mas também o perfil de cada sujeito que reside na casa. No caso de o jogador avançar com respostas corretas será exibida a mensagem “Parabéns”. No caso de erro, será exibida uma mensagem antagônica e o sujeito será convidado a refazer os cálculos.

Outra experiência de desenvolvimento de jogos digitais para o ensino de Física é o projeto KS2 Bitesize. Tratam-se de experimentações virtuais no formato de jogos digitais, criados e produzidas pela British Broadcasting Corporation (BBC) e que estão disponíveis gratuitamente <http://www.bbc.co.uk/schools/ks2bitesize/science/physical_processes/>. Ao acessar a interface do KS2 Bitesize o sujeito poderá escolher um jogo para interagir. Como exemplo das características desses jogos contidos nessa interface, é possível apontar o desafio proposto pelo Earth, Sun and Moon que é o de colocar os objetos celestes (Sol, Terra e Lua) na posição correta segundo suas órbitas, de acordo com um referencial situado no espaço. O usuário deve clicar com o mouse em cima de um dos objetos e arrastá-lo até a posição correta. Se o objeto for colocado na posição errada, o jogo não permite seu encaixe e o sujeito só pode avançar quando tiver posto os objetos em suas posições corretas.

Numa outra perspectiva, Huerta e Portela (2015, p. 15-16) apresentaram uma proposta desenvolvida na Universidad de Cádiz, com o apoio do ambiente virtual de aprendizagem (AVA) Moodle, o que eles chamaram de “videojuegos sérios”:

Durante a visualização de um vídeo o aluno é um espectador simples, no videojuego, o aluno se sente protagonista, [...], já que ele tem que interagir, respondendo perguntas e conversando com o protagonista do videojuego, além disso, ele pode repetir o vídeo e praticar quantas vezes for necessário. As práticas laboratoriais em que esta experiência foi realizada consistem na medição de tensões, usando medidores de elementos estruturais submetidos a diferentes esforços (também utilizando elementos de diferentes materiais), para que o aluno possa comparar os resultados medidos experimentalmente com os resultados calculados de acordo com a teoria explicada em aula¹.

¹ Texto original: “durante la visualización de un vídeo el alumno es un simple espectador, en el videojuego, el alumno se siente protagonista, [...], ya que tiene que interactuar, respondiendo preguntas y hablando con el protagonista del video juego, además, puede repetir la práctica tantas veces como lo necesite. Las prácticas de laboratorio sobre las que se ha realizado esta experiencia consisten en la medición de tensiones, mediante galgas extensométricas, de elementos estructurales sometidos a diferentes esfuerzos (utilizando también elementos de diferentes materiales), para que el alumno pueda comparar los resultados

O experimento desafia os estudantes de engenharia, a partir da exploração da resistência dos materiais, especificamente na medição de tensões por meio de medidores estequiométricos de elementos estruturais submetidos a diferentes tensões.

Outro exemplo de recurso digital explorado como apoio à experimentação em Física é o CineFut. Trata-se de um jogo baseado em técnicas imersivas de realidade virtual, estruturado em fases. A primeira fase traz o experimento do “chute da bola” e enfoca seu alcance máximo; a segunda fase enfoca “a transposição de obstáculos”; a terceira fase enfoca “os ângulos complementares” e a quarta fase enfoca “o conceito de gravidade” permitindo que o chute da bola possa ser dado sob a ação de diferentes campos gravitacionais. Reis et al. (2014) afirmam que os sujeitos podem escolher as fases do jogo que desejam executar. É possível também alterar os parâmetros por meio das caixas de seleção e interagir uns com os outros a partir das caixas de diálogo. As variáveis envolvidas no modelo (velocidade e gravidade) podem ser alteradas pelo usuário. “Se isto não ocorrer elas serão iniciadas com valores máximos para a velocidade e o valor da aceleração da gravidade no planeta Terra” (idem, p. 500). Além disso, o sujeito pode escolher também o ângulo de lançamento da bola, a visualização do sistema de coordenadas vetoriais e o rastro da bola. Pelo fato desse jogo ter sido desenvolvido em realidade virtual com apoio do sensor de movimento Kinect R, em todas as fases do jogo aparece “uma caixa de mensagem com a descrição do desafio e do objetivo da fase a ser jogada. Para que esta caixa de mensagem seja retirada [...], o usuário faz um movimento com a mão direita” (idem, p. 600) (balançando da direita para esquerda). Além disso, em todas as fases do jogo, são exibidas as equações do Movimento Uniformemente Variável (MUV) e abaixo delas, uma breve descrição do objetivo da fase selecionada. As variáveis também podem ser selecionadas com os movimentos do braço. Por exemplo: “o braço direito estendido na horizontal com o ombro, e realizando o movimento de levantar a mão [seleciona] [...] o ângulo de lançamento da bola, que varia de 0 a 90°” (idem). Além desse, “o movimento do pé direito para a frente, simulando a execução de um chute, será interpretado como o início do lançamento da bola” (idem). Por fim, para selecionar a velocidade inicial da bola, deve-se movimentar “o pé direito para trás, e quanto maior for o afastamento deste pé em relação ao esquerdo maior será a velocidade inicial” (idem).

medidos experimentalmente con los resultados calculados según la teoría explicada en clase” (HUERTA; PORTELA, 2015, p. 15-16)

Nesse sentido, assim como as simulações e os applets, os jogos digitais permitem aos professores de Física a exploração de experimentos virtuais que podem contribuir para o desenvolvimento de significativos ganhos cognitivos.

Práticas de experimentação virtual em Física com o uso de softwares

Softwares podem ser compreendidos como um sistema lógico-digital que permite a comunicação entre o sujeito e o computador. Nesse sentido, partimos da ideia de que qualquer software, seja ele qual for, pode ser educativo/pedagógico dependendo do uso que se faz dele (JARDIM et. al., 2010). Tais recursos têm sido explorados nos estudos sobre as potencialidades didáticas e a exploração dos experimentos virtuais em aulas de Física e podem ser classificados de diferentes formas. Lucena et al. (2013, p. 29), os classificaram em três categorias:

softwares tutoriais: versões computadorizadas das conhecidas aulas tradicionais; **softwares de jogos educacionais:** atua como uma ferramenta desafiadora na motivação da construção do saber; **softwares de simulação:** permite uma interatividade e a possibilidade de simular situações experimentais e visualizar fenômenos de caráter microscópicos, muitas vezes impossíveis de compreender mesmo em uma aula prática experimental.

Assim, é possível estabelecer uma relação entre os softwares tutoriais e os experimentos demonstrativos; bem como entre os softwares de jogos educacionais e de simulação com os experimentos em que os alunos são protagonistas da ação. O quadro 4 lista alguns softwares que vêm sendo explorados na experimentação virtual em Física.

Quadro 4 – Softwares para suporte à experimentação em Física

<ul style="list-style-type: none">• Tabulae <http://tabulae.net>• Stellarium <http://www.stellarium.org/pt/>• Celestia <http://www.shatters.net/celestia/>• Geogebra <http://www.geogebra.org/cms/>• Audacity <http://audacityteam.org/>• Google Earth <https://earth.google.com/>
--

Fonte: Dados da pesquisa

Esses softwares permitem que os professores criem as representações virtuais dos experimentos de Física e demonstrem aos seus alunos ou que peça para eles criarem suas próprias representações. Várias experiências têm sido desenvolvidas nesse sentido. Além

dos softwares listados, que estão disponíveis para download, também é possível verificar experiências em que os pesquisadores desenvolvem softwares específicos para análises de situações experimentais em Física.

Como exemplo do uso desses softwares no ensino de Física, mencionamos a experiência de Santos et al. (2011) ao explorarem o fenômeno de refração negativa da luz, por meio de um programa de geometria dinâmica desenvolvido no Instituto de Matemática da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O software Tabulae <<http://tabulae.net>>, permite ao sujeito digitar os parâmetros de índice de refração e ângulo de incidência, para verificar o fenômeno da refração da luz a partir de imagens estáticas produzidas pelo próprio software. Uma vez que o modelo teórico prevê a refração negativa da luz, o software Tabulae, permite a visualização desse fenômeno que, apesar de já ter sido demonstrado experimentalmente sem a necessidade de metamateriais (JING-SONG; MU-FEI, 2010), sua visualização só pode ser verificada analiticamente e com o apoio de experimentos muito sofisticados. Nesse sentido, dificilmente experimentos de refração negativa da luz poderiam ser explorados no contexto da sala de aula fora do contexto dos experimentos virtuais. Segundo Santos et al. (2011, p. 4) por meio do software Tabulae, “com simples movimentos do mouse do computador (clicar, arrastar, etc.) é possível mudar dinamicamente aspectos como a posição do objeto, os índices de refração, a geometria da interface, e estudar o efeito que essas modificações têm na formação da imagem”. Ao variar os parâmetros, os sujeitos podem observar imagens do feixe de raios refratando ao passar de um meio para o outro, (quando esses meios têm índices de refração distintos). No caso de um dos meios ter um índice de refração negativo, o fenômeno da refração negativa da luz poderá ser observado.

Outro exemplo de software utilizado como experimento virtual em aulas de Física é descrito por Garagnani et al. (2011). Esses autores desenvolveram um software para a análise da frequência e verificação do fenômeno da ressonância quando se esfrega com o dedo úmido a borda de taças de cristal. Segundo eles,

Apesar de aparentar ser um fenômeno simples, este depende de inúmeros fatores e conceitos físicos relativamente complexos. Devido a diversas propriedades, as ondas sonoras produzidas pelas taças apresentam variações de frequência, timbre e intensidade, entre outras. Uma maneira excelente de avaliar essas características seria a possibilidade de visualizar a onda emitida pela taça e suas propriedades, pois isto permitiria aos professores e estudantes relacionar os elementos (GARAGNANI et al., 2011, p. 2).

Com base nessa argumentação, os autores optaram por utilizar variados formatos de taças de cristal, bem como utilizar essas taças com quantidades diferentes de líquidos e com líquidos diversos para observar múltiplos padrões de frequência no gráfico da ressonância. Segundo esses autores, o software capta “o som em um determinado intervalo de tempo, fornecido pelo usuário, de forma cíclica. A frequência predominante no som é exibida na janela do programa, juntamente com o gráfico da intensidade (relativa ao microfone) pelo tempo” (Idem). Uma vez que, nesse software, se utilizam modelos matemáticos pré-definidos para análise dos fenômenos captados a partir de experimentos convencionais, o sujeito pode definir o intervalo de tempo que gostaria de analisar, o modelo da taça e seu conteúdo.

Além desses, é possível citar, como recurso que tem apoiado a experimentação virtual em Física, o software Stellarium <<http://www.stellarium.org/pt/>>. A interface desse software pode ser acessada em 50 idiomas e é compatível com diversos sistemas operacionais, inclusive os mais utilizados (Windows, Mac OS e Linux). O Stellarium é um planetário virtual a partir do qual os sujeitos podem observar o céu diurno e noturno, ver os desenhos das 88 constelações, viajar até os corpos celestes (aglomerados estelares, planetas, estrelas, asteroides, supernovas, etc.), acelerar, parar ou voltar no tempo e perceber como o movimento desses objetos se altera a partir do referencial situado na superfície da Terra. Segundo Longhini e Menezes (2010, p. 435), o Stellarium “disponibiliza informações acerca dos corpos celestes e também possibilita a visualização do céu a partir de ambientes como Marte, Lua e Oceanos, ou de sua própria residência ou escola, dependendo da versão empregada”. O Stellarium permite aos sujeitos visualizarem os desenhos das constelações, acrescentar ou retirar a atmosfera terrestre, identificar os objetos celestes clicando em cima deles e perceber os padrões luminosos dos astros. Favorece aos sujeitos perceberem o movimento dos corpos celestes a partir de suas trajetórias elípticas, conforme preconiza a Primeira Lei de Kepler. É possível visualizar os extremos do sistema solar a exemplo do Cinturão de Kuiper e mesmo alguns objetos conhecidos que estão além do sistema solar tais como estrelas, galáxias, quasares, dentre outros. Isso é possível porque, segundo Longhini e Menezes (2010, p. 436), o Stellarium dispõe de um

banco de imagens com mais de 600.000 estrelas; ilustrações das constelações de onze diferentes culturas; imagens de nebulosas (catálogo Messier completo);

atmosfera, nascer e pôr-do-sol muito próximos ao real; planetas do sistema solar e seus satélites, eclipses solares e lunares, dentre outros. O programa oferece ferramentas para lidar com as imagens, tais como: estrelas cintilantes; estrelas cadentes; chuvas de meteoros; controle de tempo e zoom; interface em diversos idiomas; projeção olho-de-peixe para redomas de planetários; controle de telescópios, dentre outros. O programa permite que o usuário realize ajustes personalizados, de modo a inserir as coordenadas geográficas do local onde mora ou de onde deseja visualizar o céu. Também possibilita configurá-lo para qualquer data e horário, de modo que se pode adiantar ou voltar no tempo, revelando a configuração do céu de qualquer época.

Segundo Ourique et al. (2010, p. 4) “além de mostrar as 88 constelações reconhecidas pela União Astronômica Internacional, apresenta ainda as constelações de outras culturas, tais como as da China, Egito, Coréia, povo Navajo, povo Tupi-Guarani, entre outras”. Como exemplo da aplicação desse software em práticas experimentais de Física na Educação Básica é possível apontar a experiência de Silva (2009) que explorou o Stellarium em aulas de Física com turmas do 1º ano do Ensino Médio com a finalidade de dramatizar as observações de Thyco Brahe e explorar as três Leis de Kepler.

Outro software que tem sido utilizado na experimentação virtual é o Crocodile Physics <<http://crocodile-physics.software.informer.com/>> que permite a criação de simulações de circuitos eletrônicos em corrente contínua ou alternada. Rebello e Ramos (2009, p. 1) exploraram o Crocodile Physics para a montagem de circuitos de associação de resistores, “com associações de lâmpadas, interruptores e pilhas” junto com alunos do Ensino Médio de uma escola pública de Porto Alegre. Esse software permite montar variados circuitos em eletrônica analógica e digital. É possível verificar por meio de multímetros virtuais a tensão, a corrente, a resistência dentre outras variáveis físicas envolvidas no estudo do eletromagnetismo.

Numa perspectiva semelhante à do Crocodile Physics é possível citar a experiência de Santos e Ramos (2013) com a lousa digital na criação e apresentação de representações virtuais de experimentos de Física com foco no eletromagnetismo em turmas da disciplina “Práticas de Ensino” do curso de Física Licenciatura do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), Campus de Rio Claro. Segundo esses autores, o software Smart Notebook, disponível em alguns tipos de lousa digital, favorece “aplicativos dinâmicos (onde há ilustração do sentido da corrente elétrica em movimento) sobre circuito elétrico em série e em paralelo” (SANTOS; RAMOS, 2013, p. 7). O software Smart Notebook permite a construção de situações didáticas semelhantes às que podem ser construídas utilizando o software Crocodile Physics.

Além de softwares como o Tabulae, Stellarium, Crocodile Physics e Smart Notebook que, foram desenvolvidos especificamente para a exploração de conceitos Físicos, é possível explorar na experimentação virtual, softwares que não foram desenvolvidos para esse fim. Como exemplo desse tipo de aplicação, podemos citar a experiência de Santos e Souza (2012) que exploraram o software Geogebra para a análise do movimento do pêndulo simples. O Geogebra é um software desenvolvido em linguagem JAVA, código aberto, que está disponível em português para plataformas Windows, Linux e Mac OS e que pode ser utilizado em tablets ou computadores do tipo desktop ou portáteis. Seu download pode ser realizado gratuitamente a partir do endereço: <<http://www.geogebra.org/download>>. Santos e Souza (2012, p. 1) definem o Geogebra como “um software dinâmico de matemática, que reúne geometria, álgebra e cálculo. Permite construções com pontos, vetores, segmentos, sinhas e seções cônicas, e com funções que posteriormente podem ser modificadas de maneira dinâmica”.

Modelagem computacional como recurso de experimentação em Física

Por fim, apresentamos o conceito de modelagem computacional como um daqueles que são também explorados com vistas à experimentação virtual em Física. Assim, se por um lado, é possível perceber que a experimentação permite aos cientistas a determinação dos modelos matemáticos que melhor descrevem o fenômeno observado, por outro, a simulação computacional permite que tais modelos sejam utilizados para reproduzir graficamente o fenômeno físico. As simulações, os applets, os jogos digitais e os softwares reproduzem fenômenos físicos a partir de modelos matemáticos, reconhecidos e validados pela comunidade científica. Para Heidemann et al. (2012, p. 969), “a Física pode ser caracterizada como uma complexa rede de modelos interligados por um sistema de princípios teóricos”, dentre os quais é possível destacar o modelo matemático. Nesse sentido, a modelagem dos fenômenos naturais contribui para definir a Física enquanto Ciência.

Apesar de sua exploração ser tão antiga quanto as mais antigas Ciências Naturais, “o termo modelo foi introduzido na Matemática no último século” (MACÊDO et. al., 2012, p. 567). Desde então vários pesquisadores o tem explorado em suas investigações e têm apresentado suas definições para esse conceito. Para Gomes e Ferracioli (2006, p.

453), “modelar significa representar um objeto, sistema ou fenômeno, entre outras coisas, através de metáforas e analogias”. Verbeno et al. (2010, p. 3), consideram o modelo como “uma representação restrita de um pedaço da realidade a qual se tenha interesse em estudar”. Já Ferracioli et al. (2012, p. 683), entendem “como uma imitação simplificada de alguma coisa que acreditamos em poder nos auxiliar a melhor entendê-la”.

Na área de Física o exercício de dedução dos modelos matemáticos é um procedimento que tem sido explorado tanto no ensino, quanto na pesquisa. Segundo Macêdo et al. (2012), esse exercício tem sido entendido como modelagem ou modelização matemática. Para Duso (2012, p. 2), “a modelização retrata um processo de elaboração de modelos ou se refere à apropriação de modelos já elaborados e consensuados”. No contexto específico do ensino, as atividades de modelagem podem ser classificadas em: a) atividades de modelagem exploratórias e; b) atividades de modelagem expressivas.

Para Fehsenfeld e Ferracioli (2009, p. 2) nas atividades de modelagem exploratória “o estudante é levado a explorar modelos previamente construídos, de forma a analisar um problema de diferentes formas. Em atividades expressivas, o estudante constrói seus próprios modelos a partir de suas ideias sobre determinado tópico ou fenômeno”. Nesse sentido, é possível ao professor construir os modelos e demonstrar aos alunos, ou desafiarlos a construir seus próprios modelos.

Com o avanço das TDIC, foi possível desenvolver programas computacionais “que permitissem aos professores e alunos construir modelos do mundo ao seu redor através da interface gráfica e do mouse” (VERBENO et al., 2010, p. 3). Tais recursos são denominados Ambientes de Modelagem Computacional (AMC). Para Oliveira e Ferracioli (2011, p. 2) “tais ambientes consistem em uma ferramenta computacional onde os estudantes podem construir modelos a partir de suas próprias concepções sobre o fenômeno estudado ou explorar modelos já prontos”. A partir dessa definição é possível perceber que os AMC favorecem o desenvolvimento de atividades de modelagem exploratórias e expressivas.

Para a construção de diferentes tipos de modelos, podem ser utilizados diferentes tipos de AMC. Bliss (1994), apud Verbeno et al. (2010), os classificou de acordo com o tipo de raciocínio envolvido na construção do modelo em três categorias: a) quantitativos; b) semiquantitativos e; c) qualitativos. Uma descrição acerca de tais categorias pode ser visualizada a partir do quadro 5.

Quadro 5 – Classificação dos ambientes de modelagem computacional

AMC quantitativos	AMC semiquantitativos	AMC qualitativos
<p>A modelagem computacional quantitativa favorece a perspectiva de representar a realidade e de prever possíveis cenários futuros por meio de padrões matemáticos presentes na natureza. A partir de algoritmos matemáticos os sujeitos podem criar imagens computacionais dinâmicas que reproduzem fenômenos físicos na tela do computador. Como exemplo desse tipo de AMC, temos o software Modellus cujo download pode ser feito gratuitamente a partir do endereço: <http://modellus.co/index.php>.</p> <p>Segundo Ribeiro Junior et al. (2012, p. 3) “o software Modellus foi desenvolvido pelo professor Vitor D. Teodoro da [...] Universidade Nova de Lisboa em Portugal”. Esse software multiplataforma “possibilita a implementação computacional de modelos teóricos através da resolução numérica dos mais diversos tipos de equações” (HEIDEMANN et al, 2012, p. 985). No Modellus os sujeitos podem digitar as equações praticamente da mesma forma que digitam em suas calculadoras científicas. Como exemplo da aplicação do Modellus em aulas de Física, é possível citar a pesquisa de Maia e Fireman (2009) que exploraram o uso do Modellus para desenvolver práticas de experimentação virtual com alunos do Ensino Médio a partir da modelagem do fenômeno do quicar da bola.</p>	<p>Segundo Ferracioli et al. (2012, p. 690) os AMC semiquantitativos “envolvem a especificação de variáveis relevantes de um sistema, suas relações causais, mas analisa as tendências de variação dessas variáveis e não valores numéricos específicos, ou seja, não as quantifica”. Segundo Marin (2009) apud Verbeno (2013, p. 12), nesse tipo de modelagem, as “‘variáveis’ não são e usualmente não podem ser quantificadas, isto é, números e unidades não podem ser atribuídas a elas. Porém, elas podem possuir certa magnitude, tais como: pequeno ou grande, muito ou pouco entre outras. Como exemplo desse tipo de AMC é possível citar o Semiquantitative Reasoning Laboratory (SQRLab) <http://sqrlab.modelab.org> desenvolvido pelo Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Segundo Verbeno (2013, p. 14), o SQRLab “permite a construção de modelos baseados em variáveis do sistema em estudo e, através de saídas gráficas, proporciona uma visualização dinâmica do comportamento das equações horárias do modelo”. Como exemplo da aplicação desse software na modelagem de fenômenos naturais é possível citar o estudo de Verbeno et al. (2011) que trabalharam a modelagem do sistema massa-mola com professores em formação.</p>	<p>Segundo Ferracioli et al. (2012, p. 691), os “ambientes de modelagem computacional qualitativa permitem a construção de modelos sem o enfoque em variáveis, mas baseados em objetos e eventos que são gerados quando os objetos interagem entre si”. Segundo Gomes e Ferracioli (2005, p. 52), “nestes ambientes os modelos são criados sem a especificação de variáveis e quantidades, mas pela especificação dos seus constituintes básicos e das regras que determinam seus comportamentos”. Como exemplo de AMC qualitativo, é possível citar o software Modelling Laboratory 2D (Modelab2) <http://modelab2.modelab.org/>. Assim como o software SQRLab, o Modelab2 também foi desenvolvido pelo Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva da UFES. Como exemplo da aplicabilidade desse software, Santos Sobrinho e Borges (2010) exploraram o Modelab2 com duplas de alunos do ensino médio por meio de atividades de modelagem exploratória. Foi modelado o desenvolvimento de epidemias no território brasileiro em um provável surto de gripe.</p>

Fonte: dados da pesquisa

A partir dos AMC (quantitativos, semiquantitativos ou qualitativos) o processo e os produtos da modelagem computacional, podem favorecer a análise de sistemas físicos e consequentemente a experimentação a partir de representações virtuais.

Nesse sentido, verifica-se que os experimentos virtuais no ensino de Física têm sido discutidos na literatura a partir de diferentes conceitos tais como simulações, applets, jogos digitais, softwares e modelos computacionais. Esse é um campo do ensino de Física que tem apresentado significativos avanços do ponto de vista da produção do conhecimento e também da apresentação de sofisticadas práticas pedagógicas baseadas na experimentação virtual. No entanto, no Brasil, a superação do caráter esporádico das intervenções didáticas que se aproximam das práticas que foram descritas nesse trabalho, está para além dos esforços individuais dos professores (sejam eles da Educação Básica ou do Ensino Superior). Para isso é necessário que sejam garantidas aos profissionais da educação (não só aos professores) as condições objetivas necessárias para se exercer um trabalho pedagógico à altura da grandeza e das necessidades educacionais do povo brasileiro.

Considerações finais

Os resultados dessa revisão sistemática de literatura indicam que o desenvolvimento científico e tecnológico contemporâneo favorece aos professores explorarem uma ampla gama de recursos digitais que têm sido desenvolvidos, explorados e avaliados com vistas à experimentação virtual ou que podem a ela ser subvertidos. Tais recursos têm sido cognominados nas vozes dos professores e pesquisadores da área de ensino de Física como animações, simulações, applets, jogos digitais, softwares, modelos computacionais, dentre outros. No entanto, o elemento central para que esses recursos assumam a identidade de experimentos virtuais está no fato de que eles reproduzam graficamente um modelo matemático, aceito pela comunidade científica e que expliquem um fenômeno natural.

As atividades de modelagem de fenômenos permitem aos sujeitos serem introduzidos num processo de educação científica, mas é fundamental que não se perca de vista que esse é um exercício que não substitui a experimentação material. Os modelos matemáticos, sendo construções humanas desenvolvidas e utilizadas para explicar um determinado fenômeno natural a partir de condições ideais, condicionam a visualização do fenômeno às possibilidades ofertadas pelo próprio modelo. Assim, é preciso considerar que, embora seja um recurso didático poderoso, por sua própria natureza, essas construções

simplificam a realidade para tentar explicá-la e por isso os resultados visualizados, embora possam se aproximar em muito da realidade natural, não devem ser confundidos com ela.

Há de se considerar ainda que, no trabalho com experimentos virtuais, as habilidades experimentais a serem desenvolvidas são distintas das que são requeridas na experimentação material, mas nem por isso são menos importantes, produzem menos resultados ou dizem menos sobre a forma como a ciência é produzida e se desenvolve. Os experimentos virtuais permitem visualizar fenômenos e perceber comportamentos que por vezes não podem ser observados por meio de experimentos materiais.

Constata-se que os experimentos virtuais permitem a visualização de conceitos abstratos; a redução do tempo necessário para a preparação, coleta de dados e execução dos experimentos; possibilitam repetir o mesmo experimento várias vezes; ampliar o número de sujeitos que podem manipular o experimento; realizar experimentos que não podem ser executados em laboratórios convencionais; manipular parâmetros físicos; garantir um feedback imediato; abordar um número maior de fenômenos num intervalo de tempo menor; comumente são interativos, flexíveis, reutilizáveis e interoperáveis; não há restrições de acesso no que diz respeito ao tempo e nem lugar; permitem o desenvolvimento de novas competências; evitam que o aparato experimental seja danificado por mau uso; e favorecem a realização de trabalhos colaborativos a distância, que dificilmente seriam possíveis fora do cenário da experimentação virtual.

Por outro lado, os experimentos virtuais podem fazer com que os alunos, confundam os efeitos visualizados a partir do experimento virtual com o que acontece na realidade, ou que não consigam visualizar na realidade natural o fenômeno observado no experimento virtual. Além disso, a facilidade com que as variáveis podem ser manipuladas nos experimentos virtuais pode transparecer a falsa impressão de que, no mundo real, as variáveis são facilmente controláveis. Há de se destacar ainda que existe uma dificuldade em se encontrar diversidade nas simulações computacionais de qualidade, principalmente em língua portuguesa. É preciso ter cuidado na seleção desses recursos (como na seleção de qualquer outro) uma vez que podem conter erros conceituais e conduzir a uma concepção errônea do fenômeno. Por fim, os experimentos virtuais não conseguem simular os cheiros e não favorecem o desenvolvimento de habilidades laboratoriais tradicionais, como por exemplo o cuidado com normas de segurança necessárias para uma prática responsável em laboratórios de Ciências.

Por oportuno, uma última ponderação é imprescindível. Os experimentos virtuais, por si sós, não promovem a aprendizagem crítica do sujeito. A forma como tais recursos serão utilizados é que vai majorar os reais ganhos cognitivos dos aprendizes. Nesse sentido, o papel do professor como um arquiteto de percursos de aprendizagem, problematizador e dialógico é fundamental. Os cursos de formação de professores de Física precisam assumir o desafio da formação docente com vistas ao desenvolvimento de competências e habilidades para o trabalho pedagógico com experimentos virtuais. Do mesmo modo, para que as potencialidades desses recursos sejam exploradas ao máximo é igualmente fundamental que as condições objetivas necessárias sejam garantidas e dentre os aspectos mais urgentes destacam-se o da genuína valorização dos profissionais da educação e da garantia de boas condições infra estruturais nas escolas e universidades.

Como sugestão de trabalhos futuros, fica o convite aos professores e pesquisadores interessados nesse tema, para explorarem e investigarem os limites e as possibilidades do uso desses recursos em aulas de Física, na Educação Básica (das séries iniciais ao Ensino Médio) e no Ensino Superior, na educação presencial, semipresencial ou online.

Referências

ARISTIZÁBAL, D. *et al.* Uso de las NTIC para apoyar la enseñanza de la física básica para ingenieros: experiencia en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. In: ENCUESTRO INTERNACIONAL VIRTUAL EDUCA, 14., 2013, Medellín. **Anais...** Medellín, 2013.

BARROSO, Marta F.; BORGGO, Igor. Jornada no Sistema Solar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, art. 2502, 2010.

AGUIAR, Carlos E. Ótica e geometria dinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, art. 3302, 2009.

BEVILAQUA, D. V. *et al.* Elusões virtuais: sobre o uso de objetos de aprendizagem para a exploração de ilusões de ótica em um museu. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 12., 2010, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 2010.

CALVO, I. *et al.* Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas. **Ikastorratza e-Revista de didáctica**, n. 3, 2008.

CARDOSO, S. O.; DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito

fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2 (Especial), p. 891-934, out. 2012.

DANTAS, C. S. *et al.* Ensinar e aprender Física com apoio de recursos digitais: enfoque na aprendizagem significativa. **Informática na Educação: teoria & prática**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, jan/jun. 2014.

DUSO, L. O uso de modelos no ensino de Biologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICA DE ENSINO, 16., 2010, Campinas, **Anais...** Campinas: Unicamp, . p. 432-441, 2012.

FEHSENFELD, K. M.; FERRACIOLI, L. A definição de objetos e eventos na modelagem de fenômenos relacionados à cinética dos gases utilizando o ambiente de modelagem qualitativa modelab. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2013, Vitória. **Anais...** Vitória, 2009.

FERRACIOLI, L. *et al.* Ambientes de modelagem computacional no aprendizado exploratório de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2 (Especial), p. 679-707, out. 2012.

FERREIRA, J. C. A produção de vídeos no ensino de ciências: o professor-autor e as tecnologias digitais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DAS TIC NA EDUCAÇÃO, 3, 2014, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Instituto da Educação da Universidade de Lisboa, p. 742-747, 2014.

FERREIRA, J. C. **Ficção científica e ensino de ciências**: seus entremeios. Tese de Doutorado. Doutorado em Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal do Paraná. 2016.

FIGUEIRA, J. Easy java simulations: modelagem computacional para o ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino Física**, v. 27, n. 4, 2005.

GARAGNANI, P. V. *et al.* Investigando o som em taças de cristal: uma experiência interdisciplinar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19, 2011, Manaus. **Anais...** Manaus, 2011.

GIORDAN, M. **Computadores e linguagens nas aulas de ciência**: uma perspectiva sociocultural para compreender a construção de significados. Ijuí: Unijuí, 2008.

GOMES, T.; FERRACIOLI, L. A investigação da construção de modelos no estudo de um tópico de Física utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 453-461, 2006.

GOMES, T.; FERRACIOLI, L. A utilização da modelagem computacional qualitativa no estudo do sistema predador-presa. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 13, n. 3, p. 51-58, set./dez. 2005.

GONÇALVES, L. J. *et al.* Textos, animações e vídeos para o ensino-aprendizagem de Física térmica no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 1. n.1, p. 33-42, 2006.

GREIS, L. K. *et al.* Um simulador de fenômenos físicos para mundos virtuais. **RELATEC - Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa**, v. 10, n. 1, 2011.

HECKLER, V. *et al.* Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 267-273, 2007.

HEIDEMANN, L. A. *et al.* Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2 (Especial), p. 965-1007, out. 2012.

HOHENFELD, D. P. **A natureza quântica da luz nos laboratórios didáticos convencionais e computacionais no ensino médio**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. Universidade Federal da Bahia; Universidade Estadual de Feira de Santana. 2013

HUERTA, M.; PORTELA, J. M. Aplicación de los videojuegos serios con la metodología “flipped classroom” para las prácticas de laboratorio. **Revista Iberoamericana de Informática Educativa**, n. 21, p 13-23, 2015.

JARDIM, M. I. *et al.* Medições de atributos de ondas em uma cuba por meio de um software. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 12., 2010, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Física, 2010.

JIMÉNEZ-CASTILLO, G. *et al.* Desarrollo de un entorno personal de aprendizaje basado en un laboratorio remoto para el estudio de instrumentación electrónica. In. **TICAI 2013-2014**, Universidade do Vigo: IEEE, Espanha, p. 91-100, 2014.

JING-SONG, W.; MU-FEI, X. Negative refraction in ferromagnetic materials under external magnetic field: a theoretical analysis. **Chinese Physics B**, v. 19, n. 5, 2010.

LONGHINI, M. D.; MENEZES, L. D. Objeto virtual de aprendizagem no ensino de Astronomia: algumas situações problemas propostas a partir do software Stellarium. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3: p. 433-448, dez. 2010.

LUCENA, G. L. *et al.* Laboratório virtual como alternativa didática para auxiliar o ensino de química no ensino médio. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 21, n. 2, 2013.

LUCERO, I. *et al.* Las TIC en la formación inicial docente de un profesorado de Física. In.: SILVA, J.; SALINAS, J. **Innovando com TIC en la formación inicial docente: aspectos teóricos y casos concretos**. Santiago de Chile: Enlaces, 2014. p. 99-116.

MACÊDO, J.A. *et al.* Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1 (Especial), p. 562-613, set. 2012.

MAIA, L. da S.; FIREMAN, E. C. O problema do quicar da bola: um desafio de modelagem computacional para alunos de PIBIC-JR. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18, 2013, Vitória. **Anais...** Vitória, 2009.

MELO, A. P. *et al.* Energydownnow: aprendendo física através de um jogo para controle de consumo elétrico. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN: tecnologia e inovação no semiárido, 9., 2013, Natal. **Anais...** Natal, 2013.

MIRANDA, M. S. *et al.* Objetos de aprendizagem no ensino de Física: usando simulações do Phet. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19., 2011, Manaus. **Anais...** Manaus, 2011.

MONTEIRO, M. A. *et al.* Experimento controlado remotamente para o estudo da cinemática. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20., 2013, São Paulo. **Anais... São Paulo**, 2013.

NIEVES, F. T. Simulador computarizado para promover el aprendizaje significativo de las leyes que rigen el comportamiento de los gases ideales. In: ENCUENTRO INTERNACIONAL VIRTUAL EDUCA, 14., 2013, Medellín. **Anais...** Medellín, 2013.

OLIVEIRA, R. R.; FERRACIOLI, L. O estudo do movimento retilíneo de três móveis a partir de uma atividade de modelagem computacional exploratória: uma aplicação no ensino médio a partir de módulos educacionais. In: ENCONTRO NACIONAL E PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8., 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011.

OURIQUE, P. A. *et al.* Fotografando estrelas com uma câmera digital. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, 2010.

PEREIRA, A. P. *et al.* Uma proposta para ensinar os postulados da mecânica quântica no ensino médio com o auxílio de um interferômetro virtual de Mach-Zehnder: um exemplo sobre o estado de polarização do fóton. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19., 2011, Manaus. **Anais...** Manaus, 2011.

PEREIRA, J. G.; COSTA, R. P. A importância dos experimentos virtuais para o ensino de ciências. In: SEMANA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 4., 2011; JORNADA CIENTÍFICA, 4., 2011, Bambuí. **Anais...** Bambuí: IFMG - Campus Bambuí, 2011.

PINHEIRO, A. F.; *et al.* Software de simulação: um recurso facilitador no processo de ensino aprendizagem de química no ensino médio. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (EDUCERE), 12., 2015, Curitiba, **Anais...** Curitiba, p. 2042-2057, 2015

PINHEIRO, A. G. *et al.* Experimentando a Física Moderna no ambiente virtual: o interferômetro de Michelson. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19., 2011, Manaus. **Anais...** Manaus, 2011.

RAMOS, A.; *et al.* Revisão sistemática de literatura: contributo para a inovação na investigação em Ciências da Educação. **Revista Diálogo Educacional**, v. 14, n. 41, p. 17–36, 2014

REBELLO, A. P.; RAMOS, M. G. Estudo de circuitos elétricos básicos por meio de uma unidade de aprendizagem: percepções de alunos do ensino médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2009.

REIS, T. H. *et al.* Ensinando conceitos de Física com sensores de movimentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOGOS E ENTRETENIMENTOS DIGITAL (SBGames), 13., 2014, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2014.

RIBEIRO JUNIOR, L. A. *et al.* Simulação de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das dimensões históricas e empírica da ciência na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, 2012.

RODRÍGUEZ, L.M.; MAYARI, L. Diseño instruccional en simuladores de física. In.: SEMINARIO CONTENIDOS EDUCATIVOS DIGITALES Y COMUNIDADES DE APRENDIZAJE, 1., 2015, Ciudad de México. **Anais...** Ciudad de México, 2015.

SÁNCHEZ, J. L.; ESPINOSA, M. P. La enseñanza y el aprendizaje de la física y el trabajo colaborativo con el uso de las TIC. **RELATEC – Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa**, v. 11, n. 1, p. 95-107, 2012.

SANTOS SOBRINHO, M. M.; BORGES, A. T. Aprendizagem sobre epidemias com simulações computacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.3, n. 1, jan./abr. 2010.

SANTOS, R. C. M.; SOUZA, A. R. Ensino e aprendizagem do pêndulo na Graduação de Física: uma abordagem baseada em experimentos virtuais e na teoria dos estilos de aprendizagem. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE DOCÊNCIA UNIVERSITÁRIA, 7., 2012, **Anais...** Porto, Portugal. 2012.

SANTOS, R. C.; RAMOS, E. M. O ensino e aprendizagem do eletromagnetismo com a lousa digital interativa: novas possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais em sala de aula. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 20, 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2013.

SANTOS, W. S. *et al.* Refração negativa: um estudo com geometria dinâmica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19., 2011, Manaus. **Anais...** Manaus, 2011.

SAVI, R.; ULBRICHT, V. R. Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 6, n. 2, dez., 2008.

SIEVERS JUNIOR, F. *et al.* Simulação do ambiente WebLab – um laboratório de acesso remoto educacional através de redes de Petri coloridas. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 22., 2011, Aracaju. **Anais...** Aracaju, 2011.

SILVA, I. P. O computador como ferramenta interativa e os objetos virtuais de aprendizagem na disciplina de Física numa escola pública. In.: ANADÃO, B. P.; MERCADO, L. P.; MOURA, R. da S. **Educação à distância: perspectivas, possibilidades e resultados**. Maceió: Connead, 2009. p. 73-84.

SILVA, I. P.; MERCADO, L. P. Levantamento de dados acerca do tema “experimentação mediada por interfaces digitais” (2005 - 2015). **Paidéi@**, v. 10, p. 1-25, 2018.

SILVA, J. A. *et al.* Concepções e práticas de experimentação nos anos iniciais do ensino fundamental. **Linhas Críticas**, v. 18, n. 35, 2012.

SILVA, T. Um jeito de fazer hipermídia para o ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 864-890, 2012.

SIMÕES JUNIOR, F. *et al.* Física de plasma espacial utilizando simulação computacional de partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 2011.

SOUZA FILHO, G. F. **Simulações computacionais para o ensino de Física: uma discussão sobre produção e uso**. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Mestrado Profissional em Ensino de Física. 2010.

VERBENO, C. H. **A modelagem computacional no ensino de Física: um estudo exploratório sobre o oscilador harmônico simples**. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Física. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

VERBENO, C. H. *et al.* Investigação sobre integração de um módulo educacional sobre o sistema massa mola utilizando o ambiente de modelagem computacional SQRLab. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19., 2011, Manaus. **Anais...** Manaus, 2011.

VERBENO, C. H. *et al.* Módulo educacional sobre conceitos de energia no Sistema massa-mola utilizando o ambiente de modelagem computacional semiquantitativa SQRLab. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 12., 2010, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 2010.

XAVIER, B. *et al.* Applets en la enseñanza de la Física. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 21, n. 3, p. 463–472, 2003.