

SIMULAÇÃO, GAMES E GAMIFICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA (Simulations, Games and Gamification in Physics Teaching)

Nelson Studart

Universidade Federal do ABC e Universidade Federal de São Carlos,
n.studart@ufabc.edu.br / studart@df.ufscar.br

Resumo

Este artigo explora o uso de objetos educacionais digitais (OED) no ensino de Física. O objetivo é apresentar e discutir, de forma abreviada, alguns mecanismos e práticas atuais sobre o tema. Após uma introdução sobre o uso das Tecnologias de Comunicação e Informação (TIC) no ensino e seu papel no currículo escolar e na formação de professores, considerações são feitas sobre o uso de animações, vídeos, simulações e games (jogos digitais) no ensino. Em especial, chamo atenção para os games e simulações que têm despertado enorme interesse porque criam ambientes imersivos e interativos que facilitam a aprendizagem, propiciando aos usuários o desenvolvimento de habilidades e construção do conhecimento, assim como promovendo a socialização. A questão essencial é a implementação dos OED na sala de aula. Relatos de experiências de trabalhos desenvolvidos por meu grupo são feitos. Ao final, o conceito emergente de gamificação que usa elementos do game e o game thinking para desenvolver processos inovadores para aprendizagem é introduzido.

Palavras-chave: TIC; animações, audiovisuais; simulações; games; ensino de Física, gamificação.

Introdução

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) tornaram-se parte integrante da vida cotidiana para muitas pessoas e espera-se que sua importância na sociedade continue crescendo de modo que o domínio da cultura digital se torne um requisito funcional indispensável para as vidas profissional, social e pessoal dos indivíduos. Por TIC, entenda-se “tecnologias e instrumentos usados para compartilhar, distribuir e reunir informação, bem como para comunicar-se umas com as outras, individualmente ou em grupo, mediante o uso de computadores e redes de computadores interconectados” (FUNDAÇÃO TELEFÔNICA; ESCOLA DO FUTURO (USP), 2012). O uso dessas tecnologias digitais em educação deve contribuir para tornar o aprendiz mais motivado, engajado e colaborativo e, por conseguinte, aumentar a efetividade do processo de ensino e aprendizagem. Ressalte-se que as tecnologias digitais já fazem parte do cotidiano de jovens que cresceram inseridos nessa cultura, os *nativos digitais*, assim nomeados por Marc Prensky (ver www.marcprensky.com) enquanto que as pessoas de gerações anteriores embora não tenham vivido esse contexto, estejam sendo obrigadas a interagir com essas tecnologias, e daí a designação de *imigrantes digitais* (PRENSKY, 2001). São tempos de transição que exigem uma formação inicial e continuada adequada dos que lidam com a educação. Os avanços nas tecnologias digitais abriram ainda a possibilidade de um ensino interativo centrado no aluno por meio de novas metodologias que usam intensivamente objetos educacionais digitais (OED) como vídeos, animações, simulações, laboratórios virtuais e games, entre outros.

Enfatizo que o uso de TIC não fará sentido se os métodos tradicionais e enfadonhos de ensino continuarem a ser empregados. Seria persistir no mesmo com nova roupagem. O ensino com TIC deve contemplar novas metodologias baseadas no ensino interativo e na aprendizagem ativa (WIEMAN, 2014) com tecnologias focadas no aluno e estratégias inovadoras como o modelo pedagógico da Sala Invertida (VALENTE, 2014) e os métodos de ensino *Peer Instruction* (Instrução pelos Colegas) (MAZUR, 2015) e uma combinação desse com o *Just-in-Time Teaching* (Ensino sob Medida) (NOVAK, 1999; ARAUJO; MAZUR, 2014).

Neste artigo discuto alguns aspectos dos OED, no caso, animações, vídeos, simulações e games, na perspectiva de uso na sala de aula da Física. Enfatizo que este uso pressupõe a adoção de metodologias inovadoras focadas no aluno. Ao final, uma breve apresentação da ideia de gamificação.

TIC na Escola e na Formação de Professores

De início, uma questão relevante seria refletir em como as tecnologias digitais podem ser inseridas na escola atual. Um modelo de ensino-aprendizagem com TIC proposto por Fernando A. Costa e apresentado esquematicamente na Figura 1, consiste na tríade Aluno, Currículo e Tecnologia. (COSTA, 2007)

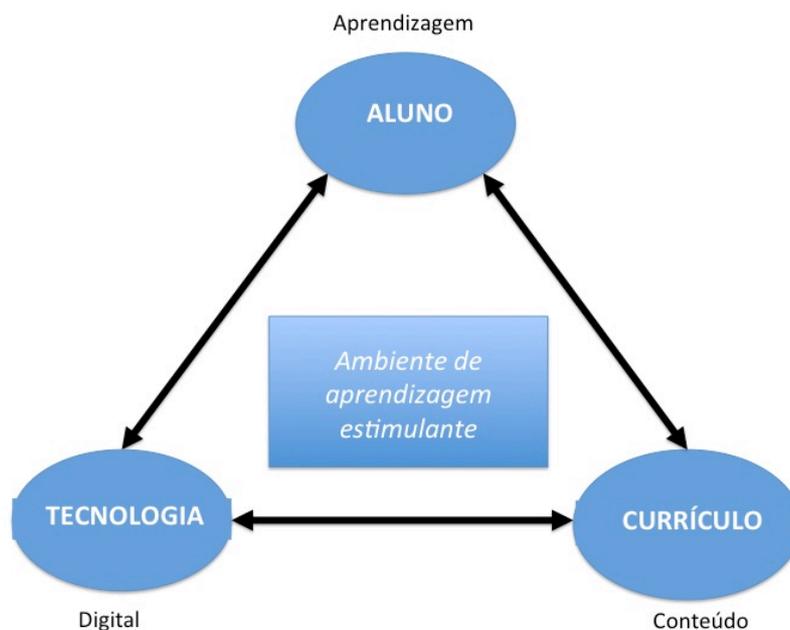


Figura 1. Modelo de ensino-aprendizagem com TIC. (COSTA, 2007).

No vértice do Aluno, espera-se encontrar um aluno investigador, produtor de conhecimento, que trabalhe de modo colaborativo, que aprenda com a tecnologia, e que o resultado seja uma aprendizagem relevante e plena de significados. Para esse aluno, a tecnologia já é algo usual, parte do seu cotidiano, mas que agora pode ser usada com uma “língua para exprimir ideias poderosas” (COSTA 2007). Esse autor levanta uma questão pertinente qual seja a razão por que a escola resiste à pressão natural dos jovens em usar tecnologias que dominam bem e usam em atividades que lhe interessam, não diretamente relacionadas ao trabalho escolar, e que implicam, sem dúvida, no desenvolvimento de competências metacognitivas.

No vértice da Tecnologia sugerem-se tecnologias que não sejam usadas na escola para fazer as mesmas coisas de forma mais atraente, mas sim coisas novas, diferentes, que tirem proveito do poder efetivo dessas tecnologias. É nesse contexto

que venho insistindo em estratégias inovadoras no ensino e aprendizagem por meio do emprego de OED.

No vértice do Currículo, é de se esperar conteúdos flexíveis de forma a atender a diferentes características (interesses, estilos de aprendizagem) dos alunos e estruturados de forma a explorar melhor o potencial pedagógico das tecnologias atuais e explorar “a interatividade, de forma a conseguir elevados níveis de envolvimento cognitivo dos utilizadores, permitindo-lhes, sobretudo, compreender os conceitos tratados, refletindo sobre eles e integrando-os de forma consistente no que já sabem” (COSTA, 2007).

Ao professor cabe um papel decisivo na articulação dos três elementos adequando os conteúdos, a metodologia e os recursos tecnológicos disponíveis propiciando um ambiente estimulante de aprendizagem que motive o aluno e ofereça condições ao aluno para o desenvolvimento da capacidade de pensar de modo crítico e lógico. Além das competências básicas do professor, entre as quais destaque, no caso do ensino de Física, o domínio de conteúdos além dos encontrados nos livros didáticos, que se espera já estejam sendo desenvolvidas pelo professor, é necessário o desenvolvimento de outras competências. O Quadro 1 resume algumas das competências relevantes e necessárias aos professores para os que pretendem trabalhar com TIC na educação (COSTA, 2012). Além das competências relacionadas com a informação e comunicação, devem ser acrescentadas a competência de produção e a competência relacionada com o conhecimento das tecnologias digitais.

QUADRO 1: Competências em TIC. Fonte: COSTA (2012).

INFORMAÇÃO: Capacidade de buscar e tratar da informação de acordo com objetivos concretos: investigação, seleção, análise e síntese dos dados.	COMUNICAÇÃO: Capacidade de comunicar, interagir e colaborar usando ferramentas e ambientes de comunicação em rede como estratégia de aprendizagem individual e como contribuição para a aprendizagem dos outros.
PRODUÇÃO: Capacidade de sistematizar conhecimento com base em processos de trabalho com recurso aos meios digitais disponíveis e de desenvolver produtos e práticas inovadoras.	CONHECIMENTO TÉCNICO-INSTRUMENTAL DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS: Capacidade de operar com as tecnologias digitais, demonstrando compreensão dos conceitos envolvidos e de suas potencialidades para a aprendizagem.

Acerca dos conhecimentos do professor, Shulman (1986) introduziu um novo tipo de conhecimento que denominou de Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (CPC) resultante da articulação entre o conhecimento científico específico dos conteúdos curriculares (CC) e o Conhecimento Pedagógico (CP). Segundo Shulman, CPC é a “capacidade de um professor para transformar o conhecimento do conteúdo que ele possui em formas pedagogicamente poderosas e adaptadas às variações dos estudantes levando em consideração as experiências e bagagens dos mesmos” (SHULMAN, 1987, *apud* FERNANDEZ, 2011). Em síntese, significa a capacidade do professor de transformar o conteúdo científico de forma a torná-lo inteligível para o aluno. Com o advento das tecnologias digitais, esse construto foi estendido por Koehler e Mishra (2006) para incluir um novo tipo de conhecimento, o

Conhecimento Tecnológico (CT), de modo que o CT deva ser incorporado aos domínios do saber docente. Como mostra a Figura 2, a interseção dos diferentes domínios resulta no Conhecimento Tecnológico do Conteúdo (CTC) e no Conhecimento Tecnológico Pedagógico (CTP) e finalmente a interseção de todos leva ao Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo (CTPC, mais conhecido na sigla em inglês, TPACK) que seria, nos dias atuais, parafraseando Shulman (1987) “aquele amálgama especial de conteúdo, [tecnologia] e pedagogia que é exclusivamente de competência de professores, a sua própria forma especial de compreensão profissional”.

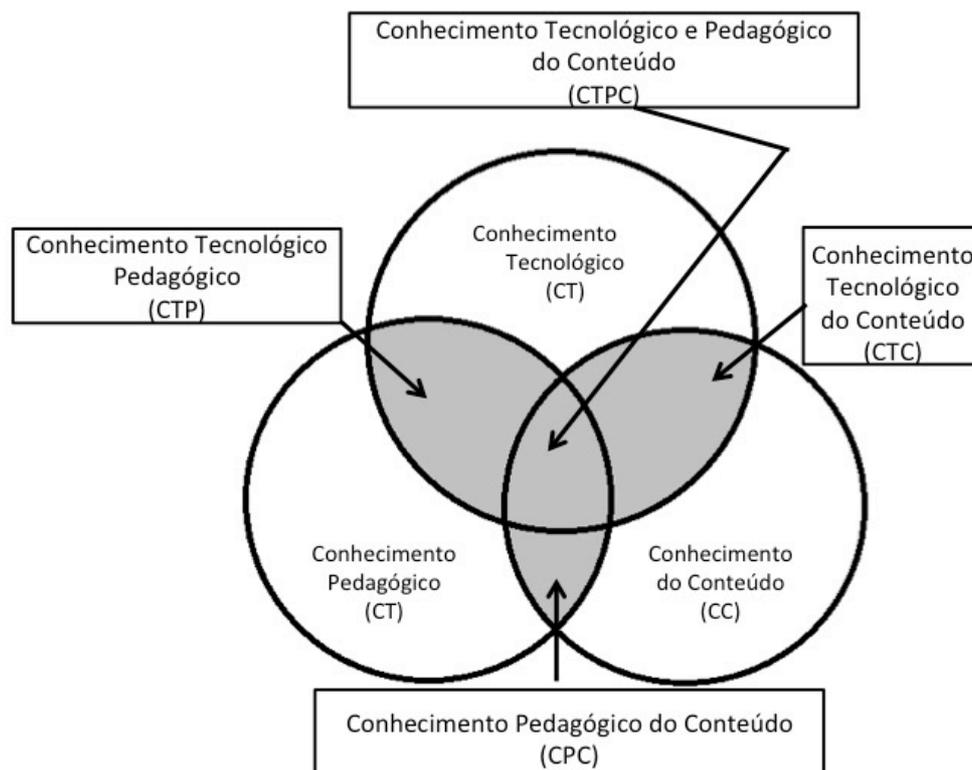


Figura 2. Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo (COSTA, 2012).

No contexto de formação de professores, Souza, Arantes e Studart (2012) observaram no espaço de uma disciplina do Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Exatas (PPGECE/UFSCar), a evolução da proposta inicial de planos de ensino, elaborados a partir de suas próprias concepções e práticas de ensino dos alunos-professores - sem nenhum uso de recursos digitais - que redundou com o amadurecimento metodológico, em planos de ensino reelaborados com o uso desses recursos e implementados considerando o aluno como o sujeito mais ativo no processo.

Objetos Educacionais Digitais

Os OED constituem uma classe especial dos chamados objetos de aprendizagem (*learning objects*) que despertaram grande interesse nas últimas décadas para uso tanto no ensino a distancia como no presencial. Não há uma definição consensual sobre estes objetos que foram caracterizados em termos amplos como “qualquer entidade, digital ou não digital, que pode ser utilizado para a aprendizagem, educação ou treinamento” (STUDART, 2011). Os OED são, portanto, objetos de aprendizagem desenvolvidos e utilizados em meio digital.

Nesse trabalho abordo os seguintes OED: animações, audiovisuais, simulações e games. Embora simulações possam ser incluídas na categoria de games (muitos pesquisadores consideram a simulação, um tipo de game sem o “estado de vitória” do jogador), acho conveniente discuti-las aqui em seções separadas. Os OED, como outros recursos instrucionais estão disponibilizados em repositórios. Na área de Física, destaco o ComPADRE (www.compadre.org), uma biblioteca digital formada por uma rede de acervos, como o *Open Source Physics*, mantido pela Associação Americana de Professores de Física (AAPT na sigla em inglês).

Um estudo exploratório feito por Alessandra Arantes sobre o uso de computador em sala de aula por professores de Física no Ensino Médio apontou que os professores, embora não tenham dificuldades com o uso de computadores, não os utilizavam em sala de aula, exceto como apoio às aulas expositivas. Após apresentados aos OED, foram capazes de desenvolver sequências didáticas e situações de aprendizagem com o uso de OED, em particular, simulações (Studart, 2011).

Animações

As animações, ou infográficos animados, constituem um recurso digital que usa elementos visuais, como gráficos, ilustrações e fotos, com componentes em movimento, para explicar determinado assunto. Possuem pouca, ou nenhuma, interatividade. Em minha opinião, a grande maioria não apresenta efetividade no ensino, mas podem ser usados para ilustrar algum fenômeno. Algumas animações que abordam conceitos mais complexos e que, portanto, exigem maior atenção do aluno para sua compreensão, podem levar a bons resultados. Exemplos são os conceitos de simultaneidade, dilatação temporal e contração do comprimento na Relatividade Restrita. Uma animação bastante difundida, o Relógio de Luz, trata de forma inteligível efeitos cinemáticos do tempo e espaço. (RIBOLDI, 2015).

Audiovisuais

Os audiovisuais constituem uma importante ferramenta no processo de ensino e aprendizagem e talvez sejam os OED mais utilizados em sala de aula. O *Youtube* disponibiliza uma quantidade enorme de vídeos educativos em todas as áreas da Física e em todos os formatos: vídeo-aulas, vídeos demonstrativos, históricos, curiosos, divertidos, sonolentos, entre outros. Para todos os gostos e necessidades. Isso exige do professor uma busca intensa e criteriosa na internet. Devem ser curtos e atraentes.

Uma das estratégias do modelo da sala de aula invertida consiste em o professor produzir vídeo em que expõe o assunto a ser abordado para que os alunos possam assisti-lo previamente, evitando a exposição tradicional em sala de aula. Este mecanismo é interessante porque muitos dos professores ainda preferem a narrativa.

Apesar dos vídeos per si não apresentarem interatividade, a análise de situações em vídeo pode ser feita usando o *Tracker*¹ como em inúmeros projetos desenvolvidos (BEZERRA et al., 2012; JESUS, 2014). O *Tracker* é uma poderosa

¹ O *Tracker* é um software aberto de análise de imagem e vídeo. O software original está disponível em <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>. A versão em português e maiores detalhes sobre seu uso podem ser encontrados em <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/lenz/tracker>.

ferramenta de análise de vídeo e modelagem que permite criar modelos dinâmicos sobre fenômenos do mundo real que são tirados diretamente de vídeos. No portal ComPADRE encontram-se muitos exemplos de uso dessa ferramenta.

Antes do aparecimento do *Tracker*, Aguiar e Rubini (2004) usaram o vídeo do jogo Brasil x Tchecoslováquia na Copa do Mundo de 1970 no México para analisar o famoso chute de Pelé do meio do campo e como um fenômeno curioso, a crise do arrasto, influenciou negativamente o movimento da bola e impediu o gol.

Devido à facilidade atual com câmeras digitais e smartphones, tanto por parte do professor quanto do aluno, esses podem produzir seus próprios vídeos. Pereira (2012) usou vídeos como forma dos alunos apresentarem seus relatórios de experiências, mostrando várias vantagens em relação ao relatório escrito. Em seu trabalho de mestrado, usando o conceito glauberiano “Uma ideia na cabeça, uma câmara da mão”, Marinovic (2012) sugeriu a seus alunos de Física do Ensino Médio que produzissem vídeos acerca de temas trabalhados em sala de aula, usando técnicas simples de filmagem e edição. Os resultados foram muito positivos, pois a produção de vídeos se revelou motivadora e estimulou a pesquisa além da simples consulta a um livro ou internet, proporcionando uma alternativa alvissareira aos trabalhos escritos.

Simulações

Uma boa definição de simulações digitais são “modelos computacionais de situações ou fenômenos hipotéticos ou reais que permitem ao usuário explorar as implicações de manipular ou modificar os parâmetros do modelo (CLARK et al., 2009). Rutten *et al.* (2012) descrevem algumas das vantagens, dadas por vários autores, do uso das simulações para gerar aprendizagem de grande significado na sala de aula. Entre elas, a possibilidade do aluno “explorar sistematicamente situações hipotéticas, interagir com uma versão simplificada de um processo ou sistema, mudar a escala temporal de eventos, realizar tarefas e resolver problemas em um ambiente realístico sem estresse”. Ressaltam que as predições dos alunos confirmadas na sequência da simulação levam à melhor compreensão conceitual de um fenômeno. Ao professor, o uso do computador permite economizar tempo dispendido com montagem do experimento e familiaridade com o equipamento. A fácil manipulação das variáveis experimentais permite formular e testar hipóteses em pouco tempo. Os autores realizaram uma pesquisa abrangente sobre os efeitos de aprendizagem de simulações computacionais no ensino de ciências na última década. Concluíram que os trabalhos fornecem “evidências robustas de que simulações computacionais podem melhorar o ensino tradicional, especialmente em referência a atividades de laboratório”. Um relatório mais conservador do norte-americano *National Research Council* organizado por Hones e Hilton (2011) aponta “evidência moderada que simulações motivam o interesse dos alunos em ciência”. (MATHEWS, 2012).

Estudo recente, entre outros, mostrou que os alunos que realizam experimentos de Física com simulações de computador adquirem compreensão conceitual tão bem ou melhor do que seus colegas que usaram equipamento físico. (FINKELSTEIN et al. 2005). Esse resultado de pesquisa é auspicioso para o ensino de Física no Brasil, haja vista a precariedade dos laboratórios das nossas escolas. No entanto, resultados mais recentes sugerem que essa comparação é influenciada tanto em relação aos conceitos estudados quanto ao tempo decorrido para realização do pós-teste (CHINNI et al. 2012). O ideal é que ambas as atividades

manipulativas no laboratório virtual e real sejam implementadas e, melhor, ainda integradas (DORNELES; ARAUJO; VEIT, 2012).

Os *applets* são uma categoria especial de simulações que visam uma atividade específica. Esses mini-aplicativos têm sido usados para simular situações de aprendizagens. Os *applets* mais populares no ensino de Física são os de Walter Fendt (<http://www.walter-fendt.de/ph14pt/>) e os *Physlets*², que são *applets* em Java pequenos e flexíveis, que podem ser usados em uma gama extensa de simulações de fenômenos físicos e que podem ser incluídos em aplicações na web (BELLONI; CHRISTIAN; COX, 2006). Boas sugestões de uso podem ser encontradas em Carvalho, Christian e Belloni (2013).

Simulações interativas mais sofisticadas são desenvolvidas pelo PhET – *Interactive Science Simulations* – SIM. O idealizador do projeto, Carl Wieman, Prêmio Nobel de Física de 2001, assim expressou seu entusiasmo com o uso de simulações para explicar sua pesquisa em Física básica e que o levou ao projeto no ensino de Física: “era particularmente extraordinário [o fato de] que minhas audiências achavam as simulações atraentes e motivadoras do ponto de vista educacional, independentemente se a palestra era dada em um colóquio de um Departamento de Física ou numa sala de aula do Ensino Médio. Eu jamais vira um instrumento educacional capaz de atingir efetivamente níveis de formação tão diferenciados” (WIEMAN, 2008).

As SIM do PhET possuem acesso fácil e livre, são multilíngues e o site oferece sugestões para produção de aulas e proposição de atividades. (ARANTES; MIRANDA; STUDART, 2010; PERKINS et al., 2006, WIEMAN et al., 2010). As SIM são desenvolvidas e avaliadas por especialistas e por estudantes. Atualmente incluem outras áreas científicas - química, biologia, geociências e matemática.

É importante enfatizar que os benefícios do uso de simulações no processo de ensino-aprendizagem dependem de forma incisiva de um ensino interativo com foco no aluno. O uso das simulações como demonstrações em aulas expositivas diminui a expectativa com relação à aprendizagem.³ Neste sentido, Miranda (2013) desenvolveu uma sequência de ensino e aprendizagem para ensinar Ondulatória empregando seis SIM do PhET. Ele observou melhor desempenho dos alunos da turma onde foi aplicada a sequência em comparação com o desempenho daqueles de outra turma que seguiram a aula tradicional. Uma de suas conclusões: “O resultado mais importante desse trabalho é, enfim, a mudança nas atitudes, tanto de professor, quanto de alunos, em relação ao comportamento em sala de aula. Depois dessa prática, o professor passou a planejar mais cuidadosamente a aula, tornando o processo autoral e os alunos experimentaram uma posição mais ativa e protagonista no processo de construção do conhecimento”.

Games

Kopfler et al. (2009) fornecem uma boa definição para games: “Os jogos digitais caracterizam-se por regras; metas e objetivos; resultados e feedback; conflito/competição/desafio/oposição; interação; representação ou enredo (PRENKSY, 2001), ou mais simplesmente, uma atividade significativa, baseada em regras, orientada para objetivos que os jogadores percebem como diversão. São

² Existe uma versão em português (CARVALHO et al., 2014).

³ Na maioria das oficinas que ministrei quando solicitados para mostrar como usar as simulações em sala de aula, os professores, em sua grande maioria, as incluíam em seus powerpoints.

distintos [dos demais] por dois elementos principais: (1) um ambiente de jogo interativo virtual, e (2) a luta do jogador contra algum tipo de oposição.”

Marc Prensky, talvez seja o maior entusiasta e divulgador dos jogos digitais como instrumento de aprendizagem. Afirma que qualquer que seja o tipo de game, os jogadores perseguem objetivos complexos, desafios e/ou *quests* em vários níveis. Para alcançar os objetivos, habilidades múltiplas devem ser aprendidas pelo jogador e às vezes equipes devem ser formadas para que o sucesso seja garantido. Ele tem uma visão exageradamente positiva dos efeitos dos games na aprendizagem. Chega a afirmar que a “jogabilidade é tão benéfica quanto a leitura para o desenvolvimento das crianças” e que “as crianças aprendem coisas mais úteis e positivas para o futuro delas a partir dos seus games do que aprendem na escola. (PRENSKY, 2010, *apud* ULICSAK, 2010). Ele desenvolveu o conceito de aprendizagem baseada em games no seu livro seminal. (PRENSKI, 2012).

No entanto, foi o linguista James Paul Gee que exerceu a maior influência na comunidade acadêmica de modo a assegurar a credibilidade dos games como instrumento de aprendizagem. Em (GEE, 2007) o autor enfatiza que os “bons games incorporam fortes princípios de aprendizagem, isto é, incorporam métodos de aprendizagem ricos, na sua própria concepção” e exigem dos jogadores o domínio de novas práticas de letramento que estão mais relacionadas com práticas sociais do que individuais (GEE, 2010). Ele defende que os games são efetivos porque a aprendizagem ocorre num contexto significativo. Gee jogou inúmeros games e chegou a determinar 36 princípios de aprendizagem (Gee, 2007) contidos nos games. Os mais relevantes estão descritos em Gee (2009). Uma breve análise das contribuições de Gee à aprendizagem baseada em games foi feita por Bonfoco e Azevedo (2012).

As contribuições de outros importantes teóricos e desenvolvedores de games da aprendizagem baseada em games e do uso de games em educação são encontradas em Farber (2015) e nos trabalhos de João Mattar (2009, 2011).

Os games comerciais projetados para o entretenimento tornaram-se extremamente populares e hoje as pessoas podem acessar e jogar games em plataformas variadas, incluindo consoles de vídeo, PC e dispositivos móveis. Embora esses games comerciais dominem o mundo do games, estão emergindo os games sérios projetados com fins exclusivamente educacionais em apoio ao processo de ensino e aprendizagem.

Ulicsak (2010) considera três gerações de games educacionais em relação as teorias de aprendizagem: “a primeira foi baseada fortemente no comportamentalismo. A aprendizagem ocorre por meio do condicionamento em que o elemento do game é tipicamente uma recompensa para a resposta correta ao estímulo....seguiram-se os jogos digitais baseados no cognitivismo. O aprendiz torna-se o centro das atenções e adquire conhecimento por meio de uma variedade de diferentes modalidades (i.e. textos, pinturas, sons). Isso capacita o jogador a identificar e analisar problemas e aplicar o conhecimento adquirido....Também na segunda geração estão os games baseados no construtivismo, isto é, aprender fazendo. O jogador imerge num mundo que lhe permite incluir sentimentos e emoções no social, o jogador pode interagir com colegas participantes no ambiente virtual, bem como adquirir e utilizar conhecimentos. Na terceira geração existem vários modelos para o aprendizado. Construtivismo se tornou construcionismo, em que o aprendizado é reforçado por ter que torná-lo compreensível [realização de

uma ação concreta]. Outros usaram a teoria da aprendizagem experiencial, em que se aprende fazendo (assim como ver e ouvir)...A aprendizagem situada foi incorporada, ou seja, informações são utilizadas no contexto por meio da criação de um ambiente próximo da realidade que podem ser facilmente transferidas para o mundo real...A teoria sociocultural descreve como os games podem ser usados como ferramentas para mediar a aprendizagem por meio da discussão, reflexão e análise com a aprendizagem facilitada pela cultura e identidade do aluno”.

Uma ampla gama de especialistas reconhece a importância, como elemento sociocultural significativo dos games nos dias atuais, e que os games são mais atraentes, motivadores, desafiadores e engajadores do que a maioria das outras coisas que as escolas promovem. Uclisak e Williamson (2010) revisam os principais argumentos dos educadores em prol do uso dos games como um meio para a aprendizagem nas escolas assim como os contra-argumentos. Muitos outros estudiosos vieram se juntar a Prensky e Gee em apoio a suas convicções. Por exemplo, Steve Johnson enfatiza o poder cultural dos games: “...Jogos forçam você a decidir, escolher, priorizar. Todos os benefícios intelectuais do jogo derivam desta virtude fundamental, porque aprender a pensar é, em última análise, aprender a tomar as decisões certas: avaliar as evidências, analisar situações, consultar seus objetivos de longo prazo, e, em seguida, decidir. Nenhuma outra forma cultural envolve diretamente instrumentos de tomada de decisão do cérebro como esse”. (JOHNSON, 2005). Os contra-argumentos ao ato de jogar games são aqueles difundidos na mídia de que eles contribuem para um comportamento antissocial, estimulam a agressividade, são viciantes, levam à vida sedentária, e que os jogadores resistem aos valores e expectativas da escola, ao cumprimento de horários estabelecidos, e à autoridade dos pais e professores.⁴ Em estudo de 2006, Standford e Madill, concluem: “Em nossas observações de jogar videogame, acreditamos que a velocidade de tomar decisão e de agir mitiga qualquer elemento de reflexão para além de como ganhar o jogo. Durante o jogo muitas vezes existe pouca oportunidade de considerar questões e decisões alternativas e mais complexas”. (STANDFORD; MADILL *apud* UCLISAK; WILLIAMSON, 2010).

Implementando o uso de games

Passo agora a abordar a implementação dos games no ensino de Física. Uma das maneiras de usar os games para fins educacionais é, de início, identificar aqueles disponíveis no mercado que satisfazem aos objetivos de ensino e aprendizagem. Em seguida, extrair o conteúdo científico do game que deve ser explorado pelo aprendiz na sala de aula ou fora dela. Em Física, encontram-se alguns poucos exemplos: conceitos de conservação de energia potencial e cinética no *Roller-Coaster Tycoon 3*; em *Return of the Incredible Machine Contraptions*, o aluno pode desenvolver a habilidade de resolver problemas de Física; os games *Portal 1* e *2* oferecem muito conteúdo de Física (<http://www.teachwithportals.com>). Resultados de pesquisa indicam que o game *Surge* pode ajudar os alunos a aprender conceitos de cinemática e leis de Newton (ver <http://www.slideserve.com/jasmine-buckner/surge>). Eck (2006) discute aspectos interessantes sobre a implementação dos games comerciais.

⁴ Meu filho William, 20 anos, jogador desde os 6, não apresenta nenhuma dessas características atribuídas pela mídia ao jogador de games.

A série *Angry Birds* ilustra vários princípios físicos e é bastante popular entre os jovens. O potencial desse game para o seu uso em uma aula vem do fato de que os personagens (pássaros e porcos) se movimentam obedecendo às leis físicas. Franck Noschese (2011), professor do Ensino Médio, usou esse game para trabalhar as leis de Newton. Ele sugeriu uma série de questões que os alunos deveriam responder enquanto jogavam. Christian et al. (2012) usaram o *Tracker* para analisar o movimento de projéteis no *Angry Birds*.⁵

Aguiar (2013) implementou a versão *Angry Birds Space*, desenvolvido pela Rovio *Entertainment* em parceria com a Nasa (2012), numa sala de aula de Física no curso pré-vestibular da UFSCar. O conteúdo trabalhado foi a Gravitação Universal.



Figura 3. Esquerda: Tela de abertura do game. Direita: Imagem de tela com representação da velocidade.

Após questões problematizadoras no início da aula, os alunos se familiarizaram com o game (a maioria já o conhecia!) e, enquanto jogavam, respondiam a um questionário cuja função foi ajudá-los a descobrir conceitos físicos relevantes envolvidos na dinâmica do game. As questões propostas focaram no tipo de interação entre o planeta e o pássaro lançado; relação entre o tamanho do planeta e o movimento executado pelo pássaro; queda dos pássaros em direção ao centro do planeta; diagrama de forças envolvidas na primeira fase do game e representações do vetor velocidade. As atividades desenvolvidas em duas aulas foram motivadoras e engajadoras com a participação ativa dos alunos por meio de discussões entre si e com o professor durante e após o jogo. A avaliação foi feita de modo contínuo em sala e por meio da elaboração de diagramas conceituais e na resposta a um questionário final. Os resultados foram bastante positivos evidenciando a compreensão dos conceitos envolvidos na Gravitação Universal.

Outra maneira é usar os games sérios produzidos com finalidade estritamente educacional (ULICSAK, 2010). Atualmente têm sido desenvolvidos por pesquisadores espalhados em alguns centros como o *Entertainment Technology Center* da *Carnegie-Mellon*, *Wisconsin-Madison*, *Harvard Graduate School of Education* e o *Massachusetts Institute of Technology* via o programa *Education Arcade*.

O game *A slower speed of light* foi produzido pelo MIT Game Lab.⁶ O game

⁵ Conheça uma proposta de uso desse game em <http://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=11562>.

⁶ Pode ser baixado em <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light>.

remete ao experimento de pensamento de Einstein, formulado aos 16 anos, sobre o que aconteceria se um objeto atingisse a velocidade da luz. A motivação para o game veio das aventuras de Mr. *Tompkins* narradas por George Gamow (1980). Numa delas, Mr. *Tompkins* sonha estar numa cidade em que a velocidade da luz é menor do que c . O texto contém erros quanto à aparência visual dos objetos no regime relativístico discutido por vários autores (NUSSENZWEIG, 2014). Efeitos cinemáticos da contração do comprimento e dilatação temporal podem ser percebidos pelo jogador, assim como o efeito Doppler responsável pelo deslocamento para o vermelho (*red shift*) e o efeito Holofote (*searchlight*) devido ao fato de um observador em movimento numa dada direção recebe mais fótons vindo de frente do que de trás.



Figura 4. Imagem de tela do *Slower than c*.

O objetivo do game consiste no jogador avançar coletando *orbs* (pequenas esferas) ao longo do percurso. À medida que são coletadas, a velocidade da luz, mostrada em um indicador, apresenta valores cada vez menores e começam a aparecer mudanças no espectro da luz visível. Após a coleta de dezenas de *orbs* o jogador começa a perceber os efeitos Doppler e Holofote. Ao final da coleta de todas as *orbs* o jogador se defronta com aspectos visuais de um objeto movendo-se com a velocidade próxima à da luz. (KORTEMAYER et al. 2013).

Riboldi (2015) em seu projeto de mestrado do MNPEF usou o game como organizador prévio, dentro da perspectiva da teoria da aprendizagem significativa, na construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa – UEPS – (MOREIRA, 2011) para ensinar relatividade no Ensino Médio. Resultados preliminares são encorajadores.

Outra proposta de uso dos games na escola consiste na produção de games pelos estudantes, o que exige o domínio de uma linguagem de computação. Prensky (2008) acredita que a criação de minigames é uma possibilidade concreta, mas descarta a produção por estudantes de games mais complexos. Há experiências no Ensino Fundamental de crianças produzindo seus próprios games usando o *Scratch* (SOBREIRA; TAKINAMI; SANTOS, 2013).

O *Scratch* é uma linguagem de programação visual, desenvolvida pelo MIT, que permite a criação de animações, games e simulações de forma mais simples do que outras linguagens. Os projetos desenvolvidos estão disponíveis no próprio site (<https://scratch.mit.edu>). A produção atual em Física é incipiente, limitada a animações e simulações muito simples. Minha esperança é que o atual esforço para

que as crianças aprendam a programar nos primeiros anos de escolarização resulte no domínio de linguagens de computação por jovens no Ensino Médio.

Gamificação

Ao final, umas poucas palavras sobre gamificação. É uma ideia que tem sido aplicada com sucesso no marketing, na web, e no treinamento de profissionais do mundo corporativo (ZICHERMANN; CUNNINGHAM, 2011; ZICKERMANN; LINDER, 2013; ALVES, 2014). Uma definição sucinta é dada por Marczewski (2013): “A aplicação das metáforas do game em contextos de não-game para influenciar comportamento, aumentar a motivação e aumentar o engajamento”. Karl Kapp (2012) recolheu definições de alguns autores para emitir a sua: “Gamificação é usar a mecânica baseada em jogo, a estética e o *game thinking*⁷ para envolver pessoas, motivar a ação, promover a aprendizagem e resolver problemas. Mais recentemente o conceito tem sido discutido no contexto educacional (FARDO, 2013).

A gamificação diverge dos games de entretenimento porque não contempla a jogabilidade (*game play*) e a diversão. Embora elementos de games, que possuem um caráter comportamental, como pontos, prêmios, medalhas, bônus, tabelas de classificação, entre outros, estejam presentes como motivação extrínseca, o *game thinking* se apoia essencialmente na motivação intrínseca. As pessoas não jogam games para ganhar pontos, mas jogam para atingir a proficiência, vencer desafios e buscar a socialização. Uma gamificação efetiva aplicada ao ensino e aprendizagem inclui mais do que recompensas porque devem conter elementos de narrativa, desafio, feedback contínuo e muita interatividade (KAPP; BLAIR; MESCH, 2014).

O referencial teórico da gamificação é a teoria da autodeterminação (ver <http://www.selfdeterminationtheory.org>). Segundo essa teoria da psicologia as pessoas buscam se engajar em atividades que propiciam três necessidades motivacionais: autonomia, competência e pertencimento (*relatedness*). Essas necessidades são atendidas no *game design* dos bons games e, portanto, devem ser incorporadas no processo de gamificação.

Segundo Kapp, Blair e Mesh (2014) existem dois tipos de gamificação: *Gamificação estrutural* que usa elementos de game sem mudar o conteúdo, visando motivar os aprendizes a seguir o conteúdo e os engajar no processo de aprendizagem através de recompensas; e a *Gamificação de conteúdo* que aplica elementos de game e *game thinking* para alterar o conteúdo e torná-lo mais do tipo game. Os autores trazem instruções de como projetar e desenvolver a aprendizagem por meio dos dois tipos de gamificação.

Um exemplo de gamificação em um ambiente de aprendizagem foi apresentado por Lee Sheldon (2012). Sua proposta, bem sucedida em vários cursos ministrados, consiste em transformar a sala de aula em um ambiente de game multijogador. O tempo de aula é dividido entre várias atividades: lutar contra monstros (*fighting monsters*) corresponde à realização de testes, exames, etc.; cumprir missões (*completing quests*) significa resolver problemas, realizar pesquisas, fazer experiências, etc.; e elaborar textos (*crafting*).

A experiência foi descrita por Fardo (2013) e não será aqui discutida. Em minha opinião, trata-se de uma metodologia inovadora e que pode ser usada na gamificação, por exemplo, de uma sequência de ensino e aprendizagem para se

⁷ A tradução literal “pensamento de jogo” não é significativa do conceito.

ensinar um determinado assunto, mantendo a estrutura curricular vigente em nossas escolas.⁸

Conclusões

Resultados de pesquisa apontam que os OED contribuem para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem. Meu trabalho com OED junto a professores de Física em oficinas e supervisão de trabalhos me leva a concluir que são relevantes para a aprendizagem. Com seu uso, a sala de aula torna-se atraente e os alunos mais motivados para aprender. Mas é preciso deixar claro que os OED não são uma panaceia para os males da prática docente e que sem metodologias inovadoras, os OED perdem muito de sua efetividade. Estudos têm mostrado que o uso de simulações, em especial, e games constitui boa estratégia para a aprendizagem. Tenho observado que simulações são atualmente usadas em muitas turmas de Física do Ensino Médio. Mas a implementação de games ainda é um enorme desafio. A infraestrutura da maioria das escolas públicas é precária com equipamentos, ainda que novos, em quantidade reduzida e que não possuem os requisitos exigidos para rodar os games (capacidade de memória e capacidade de memória gráfica insuficientes, por exemplo). Os games comerciais que exploram conteúdos de Física são poucos e a produção de games sérios, ainda incipiente, é feita essencialmente em instituições universitárias com versões beta. No entanto, o que me anima é que o progresso tecnológico na área é extremamente rápido e a geração atual que lida com desenvoltura com as TIC deverá exigir uma escola mais próxima de si.

Uma discussão mais aprofundada da gamificação está fora do escopo desse artigo. O leitor interessado deve mergulhar nas obras listadas nas Referências. Contudo, ressalto que o fenômeno da gamificação é uma alternativa promissora por conter elementos de game (narrativa, competição, compartilhamento) e, mais importante, incorporar o *game thinking*, isto é, experiências e sensações que os games proporcionam: engajamento, feedback imediato, sentimento de realização e de vencer desafios, entre outros.

Referências

AGUIAR, Shelton. **Os games como instrumento de ensino e aprendizagem na Física**. Trabalho de Conclusão do Curso. UFSCar, 2013, 31 p.

AGUIAR, C.E.; RUBINI, G. A aerodinâmica da bola de futebol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 4, p. 297-306, 2004.

ALVES, Flora. **Gamification. Um guia completo: do conceito à prática**. DVS Editora, 2104.

ARANTES, Alessandra Riposati; MIRANDA, Marcio; STUDART, Nelson. Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PhET. **A Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27, 2010.

ARAUJO, Ives Solano; MAZUR, Eric. *Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2: p. 362-384, 2013.

⁸ Trabalho nessa direção está sendo desenvolvido no projeto de mestrado de Thiago Máximo no polo do MNPEF-UFABC.

BELLONI, M.; CHRISTIAN, W.; COX, A.J. **Physlet® Quantum Physics**, Prentice Hall's Series in Educational Innovation. (2006).

BEZERRA JR. et al. *Videoanálise com o software livre Tracker no laboratório didático de Física: movimento parabólico e segunda lei de Newton*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 1 - setembro de 2012.

BONFOCO, Marco Antônio; AZEVEDO, Victor de Abreu (2012). Os jogos eletrônicos e suas contribuições para a aprendizagem na visão de J. P. Gee. **Renote – Novas Tecnologias**, v. 10, no. 3, 2012.

CARVALHO, Paulo Simeão; CHRISTIAN, Wolfgang; BELLONI, Mario. **Physlets e Open Source Physics para professores e estudantes portugueses**. Revista Lusófona de Educação, 25, 59-72 (2013).

CARVALHO et al. (2014). **Física em Physlets: Ilustrações, Explorações e Problemas para um Ensino Interativo em Física Introdutória** [Ebook Kindle], 2014.

CHINI, Jacquelyn et al. Exploration of factors that affect the comparative effectiveness of physical and virtual manipulatives in an undergraduate laboratory **Physical Review Special Topic: Physics Education Research**, vol. 8, artigo 010113, 2012.

CHRISTIAN, Wolfgang; ESQUEMBRE; COX, Anne. Motivating computational physics education using rockets, angrybirds and colliding galaxies. **Proceedings of the World Conference in Physics Education 2012**, 1337-1344. Istanbul, Turkey, 2012.

CLARK, Douglas et al. Rethinking Science Learning Through Digital Games and Simulations: Genres, Examples, and Evidence. (2009). Apresentado no **Workshop on Gaming and Simulations, National Research Council**, October 6-7, Washington, DC, 2009. Disponível em <https://www.academia.edu/493598/>

COSTA, F. A. O Currículo e o Digital. Onde está o elo mais fraco? [Edição em CD-Rom]. **Actas da V Conferência Internacional de Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação, Challenges 2007**. Braga: Centro de Competência da Universidade do Minho. 274-284. (2007)

COSTA, Fernando A. (org.). **Repensar as TIC na educação**. Santillana. (2012). E-book disponível gratuitamente em <https://lerebooks.wordpress.com/2014/04/03/ebook-gratuito-repensar-as-tic-na-educacao/>.

DORNELES, P. F. T. ; ARAUJO, I. S. ; VEIT, E. A. . Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral. **Ciência e Educação**. v. 18, p. 99-122, 2012.

ECK, Richard Van. Digital Game-Based Learning: It's Not Just the Digital Natives Who Are Restless, **Educause Review**, vol. 41, no. 2 16–30, 2006.

FARBER, M. **Gamify your classroom: A field guide to game-based learning**. Peter Lang Publ (2015).

FARDO, Marcelo Luis. (2013) A gamificação aplicada em ambientes de aprendizagem. **Renote - Novas Tecnologias em Educação**, v. 11, no. 1. 2013.

FERNANDEZ, C. (2011) PCK - Conhecimento Pedagógico do Conteúdo: perspectivas e possibilidades para a formação de professores. **Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. UFRJ. v. 1. p. 1-12, 2011.

FINKELSTEIN, W. K. et al. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical Review Special Topic: Physics Education Research**, vol. 1, no. do artigo 010103, 2005.

FUNDAÇÃO TELEFÔNICA; ESCOLA do FUTURO (USP). **Gerações Interativas Brasil: Crianças e adolescentes diante das telas**, 2012. Disponível em <http://www.fundacaotelefonica.org.br>.

GAMOW, George. **O Incrível Mundo da Física Moderna** 2ª Ed. Ibrasa, 1980.

GEE, James Paul. **What video games have to teach us about learning and literacy**. Palgrave Macmillan. 2a. edição, 2007.

_____. **Bons videogames + Boa aprendizagem: Coletânea de ensaios sobre videogames, a aprendizagem e a literacia**, Edições Pedagogo. Lisboa, 2010.

_____. Bons videogames e boa aprendizagem. **Revista Perspectiva**, v. 27, n. 1 p. 167-178, 2009.

HONEY Margaret A.; HILTON, Margaret (orgs). **Learning Science Through Computer Games and Simulations**. Committee on Science Learning: Computer Games, Simulations, and Education; National Research Council. (2011). Disponível em <http://www.nap.edu/catalog/13078/learning-science-through-computer-games-and-simulations>.

JESUS, Vitor L.B. de. **Experimentos e Videoanálise – Dinâmica**. LF Editorial, 2014.

JOHNSON, S. **Everything Bad is Good for You: How today's popular culture is actually making us smarter**. Riverhead Book, 2005.

KAPP, Karl M. **The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education**, Wiley, 2012.

_____. Gamification: Separating fact from fiction. **Chief Learning Officer**, Vol. 13, no. 3 p. 45. Trade Publication, 2014.

KAPP, Karl M.; BLAIR, Lucas; MESCH Rich. (2014). **The Gamification of Learning and Instruction – Fieldbook: Ideas into Practice**, Wiley, 2014.

KLOPFER, E. et al. **Using the Technology of Today in the Classroom Today**. The Education Arcade. MIT. Disponível em <http://www.educationarcade.org/> (2009).

KORTEMAYER et al. Seeing and Experiencing Relativity – A New Tool for Teaching?. **The Physics Teacher**, Vol. 51, p. 460, 2013.

MARCZEWSKI, Andrzej. **Gamification: A simple introduction and a bit more**. 2nd. Kindle Edition, 2013.

MARINOVIC, Jorge A. (2012). **Produção de vídeos caseiros pelos próprios alunos como estratégia para melhorar a aprendizagem dos conceitos abordados nas aulas regulares de Física no Ensino Médio e com ênfase no registro das atividades propostas**. Dissertação de mestrado. PPGECE-UFSCar. Disponível em <http://www.ppgece.ufscar.br/index.php/ppgece/dissertacoes-e-teses>.

- MATTAR, João (2009). **Games em educação: como os nativos digitais aprendem**. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2009.
- _____. (2011). *História, Teorias e Cases sobre o Uso de Games em Educação*. **Revista Tecnologia Educacional**, 192, jan-mar, pp. 45-57, 2011.
- MATTHEWS, Jermy. Computer games take their place in the science classroom. **Physics Today** 65(4), 27-28, 2012.
- MAZUR, Eric. **Peer Instruction**, Artmed, 2015.
- MIRANDA, Marcio dos Santos. **Objetos virtuais de aprendizagem aplicados ao ensino de física – uma sequência didática desenvolvida e implementada nos conteúdos programáticos de física ondulatória, em turmas regulares do nível médio de escolarização que utilizam um sistema apostilado** Dissertação de Mestrado. PPGECE-UFSCar, 2013. Disponível em <http://www.ppgece.ufscar.br/index.php/ppgece/dissertacoes-e-teses>.
- MISHRA, P.; KOEHLER, M. J.. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, 108 (6), 1017-1054, 2006.
- MOREIRA, M. A.. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v.1, n.2, p. 43-63, 2011.
- NASA. **Rovio, Gamers Create Angry Birds Space**, 2012. Disponível em <http://sservi.nasa.gov/articles/nasa-and-rovio-gamers-create-angry-birds-space/>.
- NOSCHESSE, F.. **Angry Birds in the physics classroom**. Disponível em <http://fnoschese.wordpress.com/2011/06/16/angry-birds-in-the-physics-classroom/>, 2011.
- NOVAK, G.N et al. **Just-in-Time Teaching: Blending active Learning and Web Technology**, Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- NUSSENZVEIG Moyses. **Curso de Física Básica**. v. 3. Ótica, Relatividade, Física Quântica. Edgar Blucher, 2014.
- PEREIRA, Marcus Vinicius et al. Audiovisual physics reports: students' video production as a strategy for the didactic laboratory. **Physics Education**, 47(1) 44-51. 2012.
- PERKINS et al. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. **The Physics Teacher**, 44, January, 18-23. 2006
- PRENSKY, M.C. Digital Natives, Digital Immigrants, **On the Horizon**, Vol. 9 No. 5, 2001.
- _____. Students as designers and creators of educational computer games: Who else? **British Journal of Educational Technology**, Vol. 39, (6) 1004–1019, 2008.
- _____. **Não me Atrapalhe, Mãe - Eu estou aprendendo!**, Phorte Editora, 2010.
- _____. **Aprendizagem baseada em jogos digitais**. Senac, 2012.
- RIBOLDI, B. M. **A construção de uma UEPS para ensinar relatividade utilizando animações e o game a slower speed of light**. Dissertação de mestrado. MNPEF-UFSCar.

RUTTEN, Nico; van JOOLINGE, Wouter R.; der VEEN, Jan T..The learning effects of computer simulations in science education. **Computers & Education** vol. 58, 136-153, 2012.

SHULMAN, L. S.. *Those who understand: Knowledge growth in teaching*. **Educational Researcher**, Vol. 15, No. 2., pp. 4-14, 1986.

_____. Knowledge and teaching: foundations of a new reform. **Harvard Educational Review**, v. 57, n. 1, p. 1-22, 1987.

SOBREIRA, Elaine Silva Rocha, TAKINAMI, Olga Kikue, SANTOS, Verônica Gomes. Programando, Criando e Inovando com o Scratch: em busca da formação do cidadão do século XXI. **Anais II Jornada de Atualização em Informática na Educação (JAIE 2013)**, 127-152, 2013. Disponível em <http://www.br-ie.org/pub/index.php/pie/article/view/2592/2248>.

SOUZA, Carolina R.; ARANTES; Alessandra R., STUDART, Nelson. (2012). O amadurecimento metodológico e o uso das TICs: um estudo de caso com professores de Física. **Atas do II Congresso Internacional TIC e Educação. TicEduca (2012)** pp. 1900-1907, 2012. Disponível em <http://ticeduca.ie.ul.pt/atas/atas.html>.

STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de física: um recurso pedagógico moderno para professores e alunos. In: Amaral da Fontoura, Marco Silva. (org.). E-book 1, in **Práticas Pedagógicas, Linguagem e Mídias: ANPED Sudeste 2011**. 1ed., p. 144-162, 2011.

ULICSAK, Mary. **Games in Education: Serious Games**. FutureLab. Disponível em www.futurelab.org.uk, 2010.

ULICSAK, Mary; WILLIAMSON Ben. **Computer games and learning, A FutureLab handbook**, 2010. Disponível em www.futurelab.org.uk.

VALENTE, J. A. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala invertida. **Educar em Revista**, Curitiba, Edição Especial n. 4/2014,. Editora UFPR p. 79-97, 2014.

WIEMAN, C. E.; PERKINS, K. K.; ADAMS, W. K.. *Oersted Medal Lecture 2007: Interactive simulations for teaching physics: What works, what doesn't, and why*. **American Journal of Physics**. Vol. 76, n. 4-5, 393-399, 2008.

WIEMAN et al. Teaching Physics using PhET simulations. **The Physics Teacher**, vol. 48, April, 2010.

WIEMAN, C. Large-scale comparison of science teaching methods sends clear message. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA** 111, 8319-8320, 2014.

ZICHERMANN, Gabe; CUNNINGHAM, Christopher. **Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps**. O'Reilly, 2011.

ZICHERMANN, Gabe; LINDER, Joselin. **The Gamification Revolution: How leaders leverage game mechanics to crush the competition**. McGraw-Hill Books, 2013.