



## Das experiências imaginadas às experiências simuladas: o papel dos jogos sérios na aprendizagem de Física conceptual

### From the imagined to simulated experiences: the role of serious games in learning conceptual Physics

**Jorge Fonseca e Trindade**

Instituto Politécnico da Guarda  
Centro de Física da Universidade de Coimbra  
jtrindade.ipg@gmail.com

**Teresa Fonseca**

Instituto Politécnico da Guarda  
Grupo de Pesquisa Movimento Humano, Univ. Lleida, Lleida, Espanha  
tfonseca.ipg@gmail.com

**Lara Trindade**

Departamento de Informática da Universidade de Coimbra  
lara.micaela.trindade@gmail.com

#### Resumo

Utilizou-se o jogo sério “Portal 2” para o estudo de conceitos de mecânica clássica de Física, com alunos de engenharia do primeiro ano do ensino superior, com insucesso escolar recorrente. A amostra do estudo foi composta por dezasseis alunos, igualmente repartidos pelos grupos experimental e de controlo. O estudo decorreu durante seis semanas, com uma duração total de vinte e duas horas. Comparativamente ao grupo de controlo, verificou-se que os alunos que jogaram o “Portal 2” aprenderam melhor os conceitos de Física, indiciando que os jogos sérios podem facilitar a aprendizagem qualitativa de conceitos de Física.

**Palavras-chave:** Imagética mental; Simulações; Jogos sérios; Ensino/aprendizagem; Física

#### Abstract

We used the serious game “Portal 2” for the study of classical mechanics of Physics concepts, with engineering students from the first year of higher education, with recurrent school failure. The study sample consisted of sixteen students, equally distributed among the experimental and control groups. The study lasted for six weeks, with a total duration of twenty-two hours. Compared to the control group, it was verified that the students who played “Portal 2” learned better the concepts of Physics, indicating that serious games can facilitate the qualitative learning of concepts of Physics.

**Keywords:** Mental imagery; Simulations; Serious games; Teaching/learning; Physics



## Resumen

Utilizamos el juego serio "Portal 2" para el estudio de la mecánica clásica de los conceptos de la Física, con estudiantes de ingeniería del primer año de educación superior, con fracaso escolar recurrente. La muestra del estudio consistió en dieciséis estudiantes, distribuidos equitativamente entre los grupos experimentales y de control. El estudio duró seis semanas, con una duración total de veintidós horas. En comparación con el grupo de control, se verificó que los estudiantes que jugaron "Portal 2" aprendieron mejor los conceptos de Física, lo que indica que los juegos serios pueden facilitar el aprendizaje cualitativo de los conceptos de Física.

**Palabras clave:** Imágenes mentales; Simulaciones; Juegos serios; Enseñanza/aprendizaje; Física

## Introdução

Os jogos são de grande relevância para o homem, integrando-se em várias fases da sua vida educacional, social e até mesmo como preparação para eventos reais. Por exemplo, na antiguidade há registros do seu uso como meio de preparação para as batalhas, como é o caso de "Chaturanga", na Índia, "Xiangqi", na China, "Shogi", no Japão e "Laturculin", utilizado como jogo de estratégia militar durante o império romano. No final do século XIX, "Kriegsspiel" foi o primeiro jogo de simulação militar utilizado pelos exércitos prussiano e alemão.

A educação é um domínio permeável à utilização de jogos, dada a enorme apetência por pedagogias lúdicas e motivacionais, sustentadas por teorias pedagógicas emergentes na primeira metade do século XX. Com o surgimento e democratização dos computadores pessoais nas últimas duas décadas do século XX houve uma proliferação de produtos digitais com fins pedagógicos marcadamente lúdicos, nomeadamente jogos educativos e, mais recentemente, uma vasta oferta de jogos sérios com potencialidades educacionais. O crescimento do mercado de videojogos, em geral e dos jogos sérios na educação, em particular, deveu-se ao desenvolvimento tecnológico de computadores pessoais portáteis e dispositivos móveis e ao desenvolvimento de software com motores de física, conferindo uma dinâmica e realismo muito semelhantes a autênticas simulações computacionais de Física.

A utilização de jogos sérios no ensino (com características de simulação) ganha, assim, um novo estatuto, particularmente no ensino e aprendizagem de ciências exatas, como a Física, escopo deste artigo. Desde o início do século XX, a Física moderna evoluiu para um quadro crescente de abstração (por exemplo, teoria da relatividade e mecânica quântica), exigindo mesmo dos cientistas o recurso a imagens mentais para "simular" experiências de Física impossíveis de realizar ou simular computacionalmente (por exemplo, a experiência de difração de eletrões). Contudo, embora a pesquisa no campo da utilização de jogos sérios no ensino indique tratar-se de um meio pedagógico vantajoso para ser usado com alunos com maiores dificuldades (Adams et al., 2008; Bjælde et al., 2014), subsistem dúvidas a serem resolvidas sobre a sua real eficácia. Assim, o objetivo deste trabalho é contribuir para o estudo



da utilização de jogos sérios na educação, em especial para o ensino e aprendizagem de conceitos da Física clássica, utilizando o jogo "Portal 2".

## Contextualização teórica

### Da imagética mental às simulações computacionais

A imagética mental (ou visualização mental) contribuiu significativamente para o desenvolvimento do conhecimento científico, em particular para muitas das teorias da Física atual (Miller, 2000). Apesar da importância crucial da experimentação na evolução da ciência, foi através de imagens mentais que alguns cientistas revelaram a sua genialidade, usando a mente como um "laboratório" e concebendo "experiências imaginadas", o que contribuiu significativamente para desbravar novos caminhos na ciência e na compreensão do universo. Foram o caso de Galileu e Einstein, mestres neste processo que, por meio de "experiências imaginadas", abstraíram-se de situações reais, indo além das percepções transmitidas pelos sentidos. A revolução científica no século XVII, com Galileu (que destronou a teoria aristotélica) e a revolução no início do século XX, com Einstein (que destronou a teoria newtoniana) usa este novo processo de interrogar a natureza para encontrar as leis que governam os fenómenos. São outros exemplos:

- Michael Faraday, em 1831, visualizou as linhas de força em torno de cargas e polos magnéticos.
- August Kekulé, em 1861, visualizou a estrutura cíclica do benzeno durante o sono.
- Nikola Tesla, em 1896, foi capaz de visualizar mentalmente os dispositivos mais sofisticados antes mesmo de concebê-los.
- James Maxwell, em 1899, imaginou um demónio capaz de observar cada molécula numa caixa fechada, para explicar a possibilidade de violar a segunda lei da termodinâmica ao nível microscópico.
- Richard Feynman, em 1963, descreveu uma experiência mental para ilustrar como os elétrons se podem comportar como ondas ou partículas.
- George Gamow, em 1965, descreveu viagens imaginárias através de moléculas de gelo, água líquida e álcool.

Foi em 1897 que Ernst Mach (físico austríaco) usou pela primeira vez a expressão *gedankenexperiment* ("experiência imaginada" ou "experiência mental") para denotar uma conduta imaginária de investigação científica, análoga aos procedimentos tradicionais, que deveriam ser utilizados pelos estudantes para realizar uma experiência de laboratório. Com o desenvolvimento de teorias da Física cada vez mais abstratas (como a teoria da relatividade e da mecânica quântica), "experiências imaginárias" têm despertado grande interesse no crescente número de estudos e publicações, mostrando que o processo de "experimentar



em pensamento" ainda é de relevância significativa e constitui uma importante estratégia no ensino e no desenvolvimento científico (Georgiou, 2005), uma vez que a aprendizagem perceptual (aprendizagem por exposição repetida a um estímulo) também pode ocorrer por meio de imagens mentais, ou seja, na ausência de estimulação física (EPFL, 2009).

Atualmente, na pesquisa científica e na educação, o uso de imagens mentais continua a ser um recurso inestimável, seja como um primeiro passo para abordar um problema ou como um meio único. Em ambos os casos, a experiência de laboratório é substituída por uma "experiência mental", e as conclusões são tiradas por julgamentos sobre o que aconteceria se o caso particular da situação descrita nalgum cenário imaginário fosse realmente alcançado. Do ponto de vista do desenvolvimento científico, o recurso ao "laboratório" da mente envolve manipulações mentais impossíveis de serem conduzidas por processos empíricos ou por limitações tecnológicas atuais. Do ponto de vista educacional, muitas situações de ensino e aprendizagem em sala de aula são idênticas às "experiências imaginadas", referindo-se a situações particulares de situações reais.

O estudo e a utilização da imagética mental (ou visualização mental), de forma consistente e alargada, ganhou notoriedade com o treino desportivo de alto desempenho e a génese da Psicologia do Desporto, para o qual muito contribuíram os trabalhos realizados pelas equipas desportivas da Europa oriental na década de 1960, durante as Olimpíadas de Melbourne, tendo sido, posteriormente, adotada pelo resto da Europa (Kremer, Scully, 1994). No início dos anos de 1970, as equipas da Alemanha Oriental e da Rússia já usavam regularmente a imagética mental para melhorar o desempenho atlético e nos Jogos da XXI Olimpíada, em 1976, em Montreal, a equipe olímpica da União Soviética, que nunca tinha visto os locais dos estádios de Montreal, recebeu fotografias dos vários palcos de atuação para que pudesse visualizar-se em atuação sem se deixar perturbar pelo ambiente envolvente (Vealey, Walter, 1993). Atualmente, a imagética mental é uma técnica imprescindível da Psicologia do Desporto (Fonseca, 2008), pelos benefícios demonstrados na motivação, na atenção, na redução da ansiedade e na melhoria da autoconfiança dos atletas, como o comprovam Serena Williams (jogadora profissional de ténis), Tom Brady (jogador profissional de futebol americano) e Kobe Bryant (jogador profissional de basquetebol), exemplos de atletas de elite de sucesso que utilizaram regularmente a imagética mental para atingir níveis elevados de desempenho desportivo. Jack Nicklaus, ex-jogador de golfe profissional norte-americano, enfatizou a importância da imagética mental ao referir que 50% do sucesso de uma boa tacada devia-se ao seu treino mental sobre como deveria realizar a jogada (Nicklaus, 1974).

As imagens mentais são, assim, uma espécie de simulação na qual os processos mentais, que "executam" a simulação, emulam aqueles que realmente operam no cenário simulado. Como um construto psicológico, a simulação mental disponibiliza conhecimento (Fisher, 2006) e opera por analogia sequencial (isto é, os passos da simulação imitam os passos correspondentes da situação representada). Este tipo de simulação na mente é referido por Moulton e Kosslyn (2009) como emulação, idêntica à imagética mental e, embora todas as emulações mentais possam não envolver imagens mentais, todas as imagens mentais são emulação mental. Somente com emulações, seria de esperar uma sobreposição tão forte entre os correlatos neurais das



imagens mentais (que imitam a percepção) e a simulação, bem como a sobreposição entre simulação e percepção (Wheeler et al., 2000).

Desta forma, as imagens mentais podem ter uma relevância epifenomenal na simulação, assim como a visualização num monitor de computador da trajetória de um projétil desempenha um papel funcional na simulação subjacente. Como todas as simulações mentais fornecem conhecimento sobre eventos específicos, elas fazem previsões específicas. Assim, do ponto de vista da função computacional, imagens mentais e simulação mental são muito semelhantes. Na verdade, o fato de os termos “simulação” e “imaginação” poderem ser usados de forma intercambiável revela a sua similaridade funcional (Moulton, Kosslyn, 2009).

## **Jogos sérios: substitutos da imagética mental?**

A utilização do computador pessoal como auxiliar pedagógico remonta à década de 1980, marcada pelo advento e democratização do computador pessoal (Time, 1983). No meio académico ganhou consolidação uma nova área de pesquisa sobre a utilização de computadores no ensino da Física, reclamando por reformas educacionais mais lúdicas e interativas, que enfatizassem a compreensão qualitativa dos princípios científicos (Papert, 1980; Bork, 1981), aludindo-se à utilização de jogos digitais no ensino e aprendizagem (McCloskey, 1983; McDermott, 1984). Contudo, apesar da enorme apetência pela imagem e demanda por metodologias mais interativas, motivacionais, criativas e lúdicas, o progresso do uso de computadores no ensino foi lento e frustrante.

Hoje, o cenário é diferente. Cada vez mais são imprescindíveis metáforas visuais para expressar conceitos abstratos, dinâmicos e não lineares, e são utilizadas técnicas de computação gráfica e visualização para superar a complexidade e os limites da palavra escrita. A visualização de conceitos abstratos por computador não apenas modifica a maneira como vemos os fenómenos, mas também como pensamos sobre eles, reestruturando o problema em análise e transferindo mais trabalho para os sistemas perceptivos, libertando o cérebro para níveis mais altos de análise e síntese, melhorando a capacidade de raciocínio. Como ferramenta, os computadores de alta velocidade revolucionaram a representação e manipulação de informações, ajudando a ciência moderna a superar a experiência sensorial e tornaram-se nos novos instrumentos para ampliar os nossos sentidos. As simulações computacionais e outras representações simbólicas proporcionam um ambiente para a aprendizagem, transformando abstrações, como as leis da Física, em experiências concretas, tangíveis e motivacionais e metamorfoseando “experiências imaginadas” em experiências simuladas (DiSessa, 1987).

Particularmente na educação, atualmente espera-se que a utilização de ambientes de simulação incorporados em jogos proporcione melhor motivação para a aprendizagem, ao preparar os alunos para a resolução de problemas com base em simulação de problemas reais. Esta convergência entre diversão e aprendizagem é realçada por Hideo Kojima, um notável designer japonês de videojogos, ao referir que “os jogos não devem ser apenas divertidos. Eles devem ensinar ou despertar interesse em outras coisas” (Everwise, 2015). A pesquisa sobre jogos no ensino começa na década de 1980 com os trabalhos de Malone (1981), com particular interesse



na investigação sobre a eficácia dos jogos no processo de aprendizagem (Brody, 1993; Squire, 2003; Virvou et al., 2005; Bourgonjon et al., 2010).

Uma característica fundamental da utilização dos jogos sérios, que lhes confere interesse educacional, é o caráter da simulação, que aumenta muito o seu potencial pedagógico. Borys e Laskowski (2013) mostraram que a utilização de gráficos realistas num jogo são benéficos para o seu valor educacional e o realismo em jogos educativos tem uma influência positiva na transferência de conhecimento, desde que haja espaço para a imaginação. Os jogos mais sérios usam modelos teóricos de Física nos seus algoritmos, conhecidos como "game engine", que permitem obter resultados muito próximos de simulações computacionais autênticas. São exemplos de "game engine" que usam equações de Física para modelar a dinâmica de jogo: "Unreal Engine", "Unity", "Game Maker Studio", "Cryengine", "Urho 3D", e "Bullet". Este último foi o mecanismo de jogo usado pela NASA para simulações robóticas (Bullet, 2014). Ao explorar estas capacidades gráficas e de simulação, o "role-playing game" (RPG) é um tipo de jogo que envolve muitos dos exemplos de jogos usados nas escolas (Ulicsak, 2010), como o "Portal 2" usado no nosso estudo. Os cenários de dramatização podem ser estruturados para transmitir conhecimento declarativo, bem como processual e estratégico e fornecer a reflexão sobre a ação necessária para uma aprendizagem efetiva e é considerada a plataforma ideal para a aprendizagem baseada em jogos. Para fins pedagógicos, Linser (2008) sugere que um RPG está mais próximo de uma simulação do que de um jogo, e argumenta que com a aquisição de conhecimento do mundo real e a compreensão e habilidades adquiridas pelo jogador, uma dramatização é projetada como uma tentativa de simular processos, problemas e condições existentes no mundo real e pode incluir todo o aliciamento, imersão e motivação inerentes ao ambiente de jogos de computador. Fortugno e Zimmerman (2005) relatam que é o ambiente de ensino em que o jogo é utilizado, o cenário criado em torno do jogo, que estimula a aprendizagem a ocorrer, sugerindo que é o uso de jogos dentro de um ambiente de ensino que facilita a aprendizagem e não apenas o fato de jogar o jogo.

## Jogos para o ensino de Física

Se os jogos sérios usam mecanismos de jogos que lhe dão um sólido comportamento de simulação, o mais natural é considerar seu uso no contexto do ensino e aprendizagem de Física. Devido à sua natureza (por vezes) abstrata, muitos professores de Física advogam, em primeira instância, a aprendizagem de uma Física conceitual ou qualitativa (a noção de que a Física é melhor ensinada não por deduções matemáticas, mas através de experiências, demonstrações e visualizações), que ajudam os alunos a entender os fenômenos físicos conceitualmente. Esta perspetiva sustenta que uma compreensão profunda e fundamental da Física fornece uma base sólida para a aprendizagem subsequente da ciência. Como envolver os alunos mais jovens no pensamento abstrato da Física é um desafio e as simulações por computador fornecem uma maneira atrativa de envolver os alunos no estudo de fenômenos físicos abstratos e complexos. As tecnologias digitais podem imergir o aluno em mundos que não apenas representam fenômenos científicos, mas também se comportam de acordo com as leis da Física (Trindade, Fiolhais, Almeida, 2002). Ao representar a simulação por meio de convenções de jogos digitais, aumenta-se o envolvimento dos alunos à medida que se envolvem



na jogabilidade crítica e recursiva, geram hipóteses sobre o sistema de jogo, desenvolvem planos e estratégias, observam os seus resultados e ajustam as suas hipóteses sobre o sistema de jogo. Ao representar conteúdos científicos complexos através de representações tangíveis e experientes mediadas não-textualmente, os mundos simulados também podem envolver alunos relutantes no estudo da ciência.

Em geral, a revisão da literatura sobre jogos no ensino revela uma prevalência pelo seu uso para o ensino de ciências, em geral e de Física, em particular (Ketelhut et al, 2006, Bourgonjon et al, 2010, Stege et al., 2011). No caso da Física, Godzaridus (2004) observou que apresentar lições de Física aos alunos através de jogos os ajuda a perceber que a Física não é uma disciplina meramente teórica, que só pode ser estudada em laboratórios bem equipados. Foster, Koehler e Mishra (2006) realizaram um estudo com base no jogo "Physicus", desenvolvido pelos autores, que procura ensinar aos alunos conceitos relacionados com eletricidade, magnetismo, luz e cor, incorporando essas ideias num cenário do tipo "salvar o mundo". Segundo Joshi (2014), os jogos mais tradicionais podem ser usados como ferramentas de baixo custo, mas eficazes para o ensino de Física, em particular para o ensino de conceitos sobre inércia, dinâmica e colisões. Num estudo semelhante, Karakaş e Büyükdin (2016) referem inegáveis vantagens na aprendizagem dos alunos ao analisarem o ensino de conceitos sobre momento angular, equilíbrio e força, em que os alunos eram instruídos a projetar vários tipos de brinquedos. Também Lieberoth et al. (2014) adotaram conceitos de Física como as leis de Newton, momento angular e equilíbrio e concluíram que a utilização de jogos teve um efeito positivo no sucesso dos alunos nas aulas de Física. Finalmente, Pedersen et al. (2016) desenvolveram o "DiffGame", um jogo que promove uma compreensão intuitiva do conceito de diferenciação essencial para trabalhar com os fundamentos matemáticos usados para descrever a evolução de sistemas físicos. O estudo foi realizado com alunos do primeiro ano do ensino superior, sem conhecimentos prévios sobre o assunto, com resultados concludentes sobre a eficácia do jogo no ensino/aprendizagem.

## O "Portal 2"

O jogo utilizado no estudo, "Portal 2" - Versão Educacional, é do tipo RPG e foi desenvolvido pela Valve Corporation, para as plataformas Windows, Mac OS, Xbox 360 e PlayStation 3 (Valve, s.d.). Utiliza um motor de física ("Source") que confere ao jogo um realismo ao nível dos melhores jogos lúdicos, criando uma mecânica ultrarrealista aos vários desafios e dando uma ampla aplicabilidade ao jogo como um autêntico simulador de laboratório. Este motor de física trabalha as leis da Física como pano de fundo, servindo como uma espécie de matriz subjacente que governa as propriedades dos objetos e as suas interações dentro do ambiente de jogo. Embora o "Source" não difira significativamente de outros motores de física, a Valve Corporation acrescentou recursos que o tornaram adequado para uso em contexto de ensino e aprendizagem. É o caso do "Puzzle Maker", um poderoso editor gráfico do tipo sandbox, que permite aos alunos transformar as suas perspetivas em ambientes de jogos personalizados, modelados por conteúdos pedagógicos, obtendo uma compreensão conceitual através da manipulação de variáveis como velocidade, fricção, elasticidade, peso, etc. Os alunos podem moldar um ambiente com as especificações necessárias, compartilhá-lo,



analisá-lo e aprender com uma liberdade e flexibilidade ímpar. Para os alunos de Física, usar o "Puzzle Maker" é o equivalente à utilização de lápis e papel para os alunos de idiomas. O "Portal 2" utiliza uma mecânica de jogo muito simples, a arma do portal, com a qual é possível deslocar-se para diferentes níveis de jogo, correspondentes a diferentes desafios em que os alunos devem realizar as simulações propostas, apresentadas sob a forma de desafios e quebra-cabeças, para os quais devem delinear estratégias baseadas nas leis da Física, sem as quais será impossível resolver os desafios. Toda a envolvência de aprendizagem é realizada em modo de jogo, num ambiente gráfico tridimensional com realismo dinâmico inigualável, dando aos alunos a capacidade de construir e analisar situações modeladas pelas leis reais da Física.

Um grupo de investigadores da Universidade Estadual da Flórida conduziu um pequeno estudo (Shute, Ventura e Ke, 2015) cujos resultados sugerem que o "Portal 2" é melhor que o "Lumosity" (um programa explicitamente projetado para melhorar as habilidades cognitivas) na aprimoração das habilidades cognitivas. Embora se trate de um estudo com uma amostra pequena (77 voluntários) sugerem que este resultado possa motivar outros estudos em contexto pedagógico para aferir a sua potencialidade no ensino e aprendizagem. Contrariamente aos jogos com propósito declaradamente educativo, em que há uma representação explícita dos conteúdos curriculares a serem aprendidos, nos jogos sérios, como é o caso do "Portal 2", essa representação está implícita na mecânica do jogo. Assim, do ponto de vista pedagógico, importa perceber a sua utilidade como instrumento pedagógico, o que nos motivou a investigar a efetividade do jogo sério "Portal 2" na compreensão concetual de conceitos de Física em relação ao método tradicional de ensino/aprendizagem.

A possibilidade de partilha de planos de aulas para utilização com o "Portal 2" (maioritariamente de Física e Matemática) permite a criação de um repositório de conteúdos de livre acesso e uma colaboração entre pares, fazendo deste jogo um instrumento lúdico com fins pedagógicos.

## Metodologia

Segundo Adams et al. (2008) e Bjælde et al. (2014) os alunos com maiores dificuldades na aprendizagem frequentemente revelam maior apetência para aprender com jogos, revelando melhor concentração quando envolvidos em dinâmicas de aprendizagem desafiantes e motivadores como acontece nos jogos (Virvou, Katsionis, Manos, 2005). Neste quadro, a amostra deste estudo foi composta por um total de dezasseis alunos (catorze mulheres e oito homens), que estudavam Física no primeiro ano do ensino superior. Destes alunos, 90% foram identificados como alunos com grandes lacunas em conceitos basilares de Física e de Matemática e com um longo historial de absentismo e/ou abstinência às aulas, como resultado do seu histórico pouco científico refletido pelos poucos resultados obtidos no ensino secundário e pelo insucesso recorrente na disciplina de Física do primeiro ano do ensino superior. Os alunos concordaram em participar do estudo e foram aleatoriamente designados para os grupos experimentais e de controlo (oito em cada grupo experimental e de controlo). Dos participantes, doze tinham experiência em jogos de vídeo e oito já tinham jogado jogos educativos. A idade média dos alunos era de vinte anos e, em média, jogavam jogos de vídeo cerca de quatro horas por



semana. O grupo experimental tinha uma média de 20,4 horas por semana de utilização do computador e o grupo de controlo tinha uma média de utilização de 19,8 horas por semana.

Tanto os grupos experimental como o de controlo receberam os mesmos conteúdos de Física relacionados com a determinação do valor da aceleração da gravidade, a cinemática do movimento de graves, as leis de Newton, a conservação da energia mecânica, colisões e forças entre corpos, momento de força e conservação do momento angular. Em qualquer dos casos pretendia-se uma abordagem qualitativa destes conceitos, que evidenciasse a relação de dependência e de causa efeito entre as grandezas em estudo.

O estudo ocorreu durante seis semanas, entre março e abril, durante o horário previsto de funcionamento das aulas, que era de duas aulas por semana, com duração de duas horas para cada aula. No total, o estudo durou vinte e duas horas, das quais dezasseis foram dedicadas à parte experimental. Os alunos pertenciam à mesma turma e tinham o mesmo professor.

O procedimento foi realizado de acordo com as seguintes fases e ordem:

- Fase de preparação: duração de quatro horas
- Os autores apresentaram aos alunos o objetivo do estudo, deram uma descrição geral do desenvolvimento de todo o trabalho e obtiveram o seu consentimento para o estudo.
- Os alunos realizaram um breve questionário referente os seus conhecimentos genéricos sobre utilização de computadores, jogos de vídeo e jogos educativos e também realizaram uma avaliação com base no questionário modificado sobre motivação intrínseca (Intrinsic Motivation Inventory - IMI) (McAuley, Duncan, Tammen, 1987) para avaliar as suas atitudes, motivações e crenças sobre jogos e Física. Foi, ainda, realizado um pré-teste sobre conceitos básicos de Física, constituído por vinte questões, criado pelos autores do projeto e revisto por dois outros professores de Física para assegurar que as questões eram apropriadas e não eram confusas. Este teste foi concebido para garantir uma consistência interna de 0,75 ( $\alpha$  de Cronbach), o que está dentro de uma faixa aceitável.
- A constituição dos grupos experimental e de controlo foi decidida aleatoriamente. Antes da fase experimental, o grupo que utilizou o "Portal 2" foi treinado por cerca de noventa minutos para garantir que todos os alunos do grupo experimental estavam no mesmo estágio de utilização.
- Fase experimental: duração dezasseis horas
- O procedimento experimental foi realizado numa sala reservada para o efeito. Cada aluno dispunha de uma mesa com um computador e o jogo instalado. Durante o estudo, a sala de aula foi dividida em duas partes, com os dois grupos e o mesmo professor.
- Foi utilizada o método de pesquisa orientada, tendo os autores fornecido o roteiro com as questões exploratórias e os materiais e os alunos eram responsáveis pela delimitação das estratégias de resolução, interpretação e explicação dos dados resultantes. Os alunos



de ambos os grupos receberam instruções escritas, estruturadas de forma semelhante, mas direcionadas especificamente para o jogo (grupo experimental) ou metodologia tradicional de ensino (grupo de controlo). Esta metodologia consiste em métodos de consulta guiada, exposições interativas, experiências e demonstrações. Ambos os grupos começaram a trabalhar depois de receber as instruções e foram autorizados a colaborar uns com os outros em cada um dos grupos em que foram inseridos.

- Durante o estudo, foi entrevistado um subconjunto de estudantes de cada grupo, escolhido aleatoriamente. A entrevista foi projetada especificamente para obter uma melhor compreensão do desempenho dos alunos durante esta fase.
- Fase final: duração duas horas
- Os alunos foram solicitados a realizar um pós-teste idêntico ao realizado antes da fase experimental, sobre conceitos de Física, com o intuito de perceber quais os alunos que foram capazes de responder a perguntas sobre Física de maneira mais eficaz e obter uma comparação dos efeitos motivacionais de ambas as metodologias de ensino/aprendizagem.
- No estudo foi realizada uma abordagem metodológica mista. O principal método de análise foi de natureza quantitativa, com algumas análises qualitativas para ajudar a interpretar os resultados quantitativos. Desta forma pretendeu-se obter uma visão holística do processo de ensino/aprendizagem e identificar padrões a fim de perceber sobre como os alunos aprendem, processam e entendem os conceitos. Os dados qualitativos foram codificados para fornecer uma análise mais interpretativa e dar sentido aos dados quantitativos e resultaram de notas registadas no decurso do trabalho e de observações e comentários dos alunos.

## Resultados e discussão

Os resultados foram obtidos através dos vários instrumentos referidos no ponto anterior, empregues em várias fases e que se sintetiza:

- Um questionário para avaliar a experiência anterior dos alunos com tecnologias de informação e comunicação e jogos de vídeo;
- Uma avaliação prévia e outra final, sobre conceitos de Física, constituídas por vinte itens de múltipla escolha e resposta curta;
- Uma avaliação prévia e outra final referente à motivação intrínseca para avaliar a motivação, atitude, interesse, tensão e competência dos alunos sobre jogos, Física e Física num ambiente de jogo. Algumas questões foram adicionadas ao questionário final, que não puderam ser incorporadas no questionário inicial, por se referirem sobre a experiência de jogo. Por tal motivo, o questionário inicial tinha dezoito questões, enquanto o final tinha dez questões.



Para avaliar as diferenças entre os dois grupos, em relação à intervenção, foi utilizado o t-test para amostras independentes. Os resultados obtidos referentes à compreensão dos conceitos de Física estão indicados na Tabela 1.

**Tabela 1: avaliação de desempenho para ambos os grupos**

	<i>Pre-teste</i>	<i>Post-teste</i>	<i>Dif (Post-Pre)</i>
<i>Experimental</i>	10.57	16.60	6.03
<i>Control</i>	9.98	10.01	0.03

Conforme medido pela diferença (post-pre) entre as avaliações inicial (pre-teste) e final (post-teste), no grupo experimental houve um ganho de seis questões na avaliação de vinte questões, refletindo um ganho estatisticamente significativo para o grupo experimental ( $t = 3,8$ ,  $p < 0,05$ ). O valor de Cohen,  $d = 2,01$ , indica tratar-se de um resultado com alto significado estatístico. Contrariamente, no grupo de controlo não houve praticamente diferença nenhuma nas avaliações sobre os conceitos de Física realizadas no início e no final do estudo. Estes resultados deixam perceber que a aprendizagem dos alunos no grupo experimental foi influenciada pela sua interação com o ambiente de jogo do "Portal 2", o que está em conformidade com a reação, comentários e observações registadas na fase experimental.

Em relação ao questionário sobre a motivação intrínseca, obteve-se resultados estatisticamente significativos nas dimensões referentes à motivação e atitude e interesse (apenas são referidas as diferenças encontradas entre as fases inicial e final). Na dimensão motivação, apenas os itens relacionados com a experiência de jogo obtiveram diferenças estatisticamente significativas ( $t = 4,95$ ,  $p < 0,0001$ ), mostrando que os alunos acharam o "Portal 2" um meio motivador para aprender Física. O valor de Cohen,  $d = 2,18$ , indica tratar-se de um resultado com elevado sentido prático. Na dimensão referente à atitude e interesse, verificou-se diferenças estatisticamente significativas em vários itens relacionados com as experiências dos alunos. No grupo experimental, os estudantes apreciaram significativamente a sua experiência e interessaram-se mais por usar jogos ( $t = 1,99$ ,  $p < 0,05$ , Cohen  $d = 2,45$ ), mais interessados em Física ( $t = 10,33$ ,  $p < 0,0001$ , Cohen  $d = 1,99$ ) e ficaram mais interessados em aprender Física num ambiente de jogo ( $t = 4,92$ ,  $p < 0,0001$ , Cohen  $d = 2,03$ ).

Estes resultados devem ser interpretados com uma reflexão cuidada, considerando os desafios que uma estratégia pedagógica suportada por jogos sérios levanta ao processo educativo. Se, por um lado, não é possível compreender a natureza e o funcionamento da instituição escolar fora do horizonte englobante das grandes coordenadas culturais, por outro lado tem sido posto em causa o papel das TIC no desenvolvimento das capacidades cognitivas dos alunos, denunciando lacunas importantes, no método e nos instrumentos propostos, sobretudo a sua sobreposição aos princípios tradicionais de aprendizagem, nos quais o professor era considerado como uma figura principal e um mediador fundamental na construção das estruturas de aprendizagem dos alunos. Naturalmente que as TIC, em si mesmas, não são educativas, nem melhoram o ensino, dependendo do modo como são utilizadas. Por isso,



deve enfatizar-se o papel ativo de quem aprende e de quem ensina, em particular a ação do professor, que não pode afastar-se daquilo que é essencial, isto é, da pessoa do aluno, para aspetos mais técnicos. Assim, é desejável que a utilização das TIC no processo de ensino e aprendizagem, enquanto suporte de conhecimentos e de comunicação, seja feita de forma advertida e prudente, ponderando não só as suas potencialidades mas também os desvantagens que pode advir da sua utilização.

## Conclusões

O ensino, em geral, precisa de estar em sintonia e acompanhar o ritmo da evolução tecnológica e da sociedade. A indústria de jogos é a que mais cresce, incorporando simulações computacionais que até há pouco tempo só eram possíveis em laboratórios científicos. Como tal, os jogos sérios têm mostrado potencialidades como ferramentas pedagógicas e conquistado valências académicas. Do ponto de vista da aprendizagem conceitual, não há diferença entre uma simulação computacional e um jogo sério, mas não existe evidência empírica de que os alunos que utilizem jogos sérios como meio de aprendizagem alcancem melhores resultados a longo prazo, nem é certo se é o jogo ou o meta-jogo em torno do plano de aula, que motiva o aluno a envolver-se mais no processo de aprendizagem. Por outro lado, é também necessário compreender se a escola está preparada para esta abordagem, como os diversos atores respondem a este desafio e quais implicações que isso acarreta.

O estudo realizado com o “Portal 2” pretendeu dar um contributo para este assunto. Comparativamente aos alunos que realizaram a sua aprendizagem segundo uma metodologia tradicional, os alunos que usaram o “Portal 2” não apenas aprenderam os conceitos, como foram motivados a fazê-lo com o jogo porque, conforme mencionaram, eles viam como os conceitos de Física poderiam ser usados num contexto prático. No entanto, é duvidoso que os alunos tenham compreendido os modelos teóricos. O “Portal 2” permite uma compreensão de fatos em situações contextuais reais, mas não está claro se isso permite que os alunos entendam o discurso científico, ou seja, os modelos teóricos subjacentes. Apesar do bom desempenho do grupo experimental, a maioria dos alunos revelava problemas em cálculos matemáticos, incluindo o uso de fórmulas relacionadas aos conceitos em estudo. Além da aprendizagem qualitativa dos conceitos abordados no jogo, os alunos do grupo experimental também mostraram claros sinais de reflexão sobre a aprendizagem durante o jogo, o que indica que os alunos estavam focados nas atividades e a sua motivação era intrínseca. No entanto, uma maior motivação para aprender Física com um jogo não significa necessariamente que os alunos aprendem Física. Os alunos do grupo experimental não estavam mais motivados do que os do grupo de controlo para aprender Física, apenas estavam mais motivados a aprender Física com um jogo do que o grupo de controlo. Tal fato pode ter implicações para a aprendizagem de Física com jogos, como o “Portal 2”, que possui qualidades intrínsecas de aprimoramento motivacional e pode ajudar os alunos a construir experiências relevantes para a compreensão conceitual.

Naturalmente que estas conclusões e os resultados obtidos estão circunscritos às limitações do estudo, que se devem sublinhar:



- A amostra do estudo foi muito pequena e os resultados obtidos não podem ser extrapolados para populações maiores.
- A amostra foi propositalmente escolhida para abarcar alunos com insucesso escolar recorrente em Física. Não é possível generalizar as conclusões do estudo para outro tipo de população.
- O estudo foi realizado num curto intervalo de tempo e não se sabe se os resultados poderiam ser outros se o jogo fosse usado continuamente ou pelo menos regularmente.
- Apenas foram estudados alguns conceitos de Física e, portanto, as conclusões não podem ser generalizadas para todo o domínio da aprendizagem da Física.
- Os testes de avaliação de conhecimentos de Física tinha um número relativamente pequeno de perguntas. Embora a consistência interna entre os itens do teste fosse aceitável, não era completamente confiável. Além disso, na avaliação final do grupo experimental, as pontuações ainda eram muito baixas, embora apresentassem uma melhoria.
- A avaliação de conhecimentos foi realizada imediatamente após a intervenção e não foi possível avaliar os efeitos a médio e / ou longo prazo.
- Pela delimitação temporal do estudo foi utilizada apenas uma parte do jogo e, portanto, não é possível afirmar que todo o "Portal 2" é efetivo na aprendizagem conceptual de Física.

Estas limitações serão consideradas em estudos futuros. Apesar das limitações, o estudo oferece informações a serem consideradas para uma melhor compreensão da importância dos jogos no ensino e aprendizagem de conceitos de Física.

Finalmente, uma observação sobre a nossa percepção da reação dos alunos ao estudo realizado. Tínhamos alguma preocupação de que o grupo experimental considerasse que o "Portal 2" não fosse uma metodologia séria de aprendizagem por se tratar de uma rutura do método tradicional de aprendizagem e interferir na forma como os alunos percebem a experiência de aprendizagem. Consequentemente, isso poderia resultar numa desconexão dos alunos do objetivo final, que era aprender conceitos de Física através do jogo. No entanto, percebemos que a fase inicial de treino e adaptação foi crucial para superar essas limitações e preparar os alunos para as tarefas que vieram a ser realizadas.

## Referências

- Adams, W., Reid, S., LeMaster, R., McKagan, S., Perkins, K., Dubson, M., Wieman, C. (2008). A study of educational simulations. Part I - Engagement and learning. *Journal of Interactive Learning Research*, 19, 397.
- Bjælde, O., Pedersen, M., Sherson, J. (2014). Gamification of Quantum Mechanics Teaching. *World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, 218-222.



- Bork, A. (1981). *Learning with Computers* (Digital Press: Massachusetts).
- Borys, M., Laskowski, M. (2013). Implementing game elements into didactic process: a case study. *Proceedings of Active Citizenship by Knowledge Management & Innovation*. 19-21 June 2013. Zadar, Croatia. pp. 819-824.
- Bourgonjon, J., Valcke, M., Soetaert, R., Schellens, T. (2010). Students' perceptions about the use of video games in the classroom. *Computers & Education*, 54, 1145-1156.
- Brody, H. (1993). Video games that teach? *Technology Review*, November/December 1993, 51-57
- Bullet Physics Library (2014). Real-Time Physics Simulations. Bullet used in NASA Tensegrity Robotics Toolkit, book Multithreading for Visual Effects. Available at: <http://bulletphysics.org/wordpress/?p=413>. Accessed 23 August 2018
- Disessa, A. (1987). The third revolution in computers and education. *Journal of Research In Science Teaching*, 4, 343-349.
- EPFL - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (2009). Learning by imagining: how mental imagery training aids perceptual learning. *ScienceDaily*, Accessed 4 December 2009.
- Everwise (2015). The Perks of Playing Games at Work. Available at: <https://www.geteverwise.com/company-culture/the-perks-of-playing-games-at-work/>. Accessed 23 August 2018
- Fisher, J. (2006). Does simulation theory really involve simulation? *Philos. Psychol.* 19, 417-432.
- Fonseca, T. (2008). *Visualização Mental, Concentração e Desempenho Desportivo*. Uni. Porto: Ph.D thesis. Available at: <http://www.fade.up.pt/cifi2d/files/teresa-fonseca.pdf>. Accessed 5 August 2018.
- Fortugno, N., Zimmerman, E. (2005). Learning to Play to Learn – Lessons in Educational Game Design. Available at: [http://www.gamasutra.com/features/20050405/zimmerman\\_01.shtml](http://www.gamasutra.com/features/20050405/zimmerman_01.shtml). Accessed 2 June 2009.
- Foster, A., Koehler, M., Mishra, P. (2006). Game-based learning of physics content: the effectiveness of a physics game for learning basic physics concepts. 2119-2125.
- Georgiou, A. (2005). *Thought Experiments in Physics Problem-Solving: On Intuition and Imagistic Simulation*. Thesis presented for the degree of Master of Philosophy in Education, University of Cambridge.
- Godzaridis, C. (2004). Physical education and games, and concepts of Physics: An interdisciplinary approach. *Science Education international*, 15 (2), 161-166.
- Joshi, S. (2014). Physics of Gulli-Danda. *Physics Education*, 30(1), 36-48.
- Karakaş, D., Büyükcaydın, B. (2016). Physics toys used for efficient learning in physics. *International Conference New Perspectives in Science Education*.
- Ketelhut, D., Dede, C., Clarke, J., Nelson, B. (2006). A multi-user virtual environment for building higher order inquiry skills in science. Paper presented at the 2006 AERA Annual Meeting, San Francisco, CA. Available at <http://muve.gse.harvard.edu/rivercityproject/documents/rivercitysympinq1.pdf>. Accessed 28 November 2017.
- Kremer, J., Scully, D. (1994). *Psychology in Sport*. London, Taylor & Francis.
- Lieberoth, A., Pedersen, M., Marin, A., Planke, T., Sherson, J. (2014) Getting Humans to Do Quantum Optimization - User Acquisition, Engagement and Early Results from the Citizen



- Cyberscience project Quantum Moves. *Human Computation*, 1, 221.
- Linser, R. (2008). The Magic Circle – Game Design Principles and Online RolePlay Simulations. *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and telecommunications 2008* Vienna, Austria, 2008, pp. 5290–5297.
- Malone, T. (1981). Toward a theory of intrinsically motivating instruction. *Cognitive Science*, 5(4), 333-369.
- McAuley, E., Duncan, T., Tammen, V. (1987). Psychometric properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a competitive sport setting: A confirmatory factor analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60, 48-58.
- McCloskey, M. (1983). Intuitive Physics. *Scientific American*, 249, 114-117.
- McDermott, L. (1984). Research on conceptual understanding in Mechanics. *Physics Today*, 37, 24-31.
- Miller, A. (2000). *Insights of Genius: Imagery and Creativity. Science and Art*, MIT Press: New York.
- Moulton, S., Kosslyn, S. (2009). Imagining predictions: mental imagery as mental emulation. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2009) 364, 1273–1280.
- Nicklaus, J. (1974). *Golf my way*. New York, Simon & Schuster.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms - Children, Computers, and Powerful Ideas* (Basic Books: New York).
- Pedersen, M., Svenningsen, A., Dohn, N., Lieberoth, A., Sherson, J. (2016). DiffGame: Game-based mathematics learning for physics. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 228, 316-322.
- Shute, V., Ventura, M., Ke, F. (2015). The power of play: The effects of Portal 2 and Lumosity on cognitive and noncognitive skills. *Computers & Education*, 80, 58–67.
- Squire, K. (2003). Video games in education. *International Journal of Intelligent Simulations and Gaming*, 2(1), 49–62.
- Stege, L., Van Lankveld, G., Spronck, P. (2011) Teaching electrical engineering with a serious game, *Serious Games - Theory, Technology & Practice: Proceedings of the GameDays 2011* (Josef Wiemeyer & Stefan Göbel, eds.). TU Darmstadt, Darmstadt, DE, 29-39.
- Time, (1983). *The Computer, Machine of the Year*. January. Available at: <http://content.time.com/time/covers/0,16641,19830103,00.html>. Accessed at 4 July 2017.
- Trindade, J., Fiolhais, C., Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33 (4).
- Ulicsak, M. (2010). Games in education: serious games. Available at: <https://www.nfer.ac.uk/publications/FUTL60/FUTL60.pdf>. Accessed 6 May 2017
- Valve Corporation, (s.d.). [www.valvesoftware.com/games/portal2.html](http://www.valvesoftware.com/games/portal2.html). Accessed 11 February 2018.
- Vealey, R., Walter, S. (1993). Imagery training for performance enhancement and personal development. In Williams JM (ed.) *Applied sport psychology, personal growth to peak performance*. Mountain View, Mayfield.
- Virvou, M., Katsionis, G., Manos, K. (2005). Combining software games with education: evaluation of its educational effectiveness. *Educational Technology & Society*, 8(2), 54-65.
- Wheeler, M., Petersen, S., Buckner, R. (2000). Memory's echo: vivid remembering reactivates sensory specific cortex. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 97, 11 125–11 129