

O uso da realidade virtual para o ensino de física quântica

Use of virtual reality in learning of quantum physics

Gabriel Caixeta Silva, Pedro Moisés de Sousa

Curso de Sistemas de Informação – UNIPAM, Centro Universitário de Patos de Minas
Patos de Minas, Brasil

caixetasilva@hotmail.com, pedro@unipam.edu.br

Resumo—Este artigo, cujo tema é o uso da realidade virtual no auxílio do ensino-aprendizagem de Física Quântica, procurou demonstrar que o ensino-aprendizagem pode ser consolidado de forma divertida e ao mesmo tempo educativa através da realidade virtual, mais especificamente um *game* educacional. A plataforma de desenvolvimento foi o motor de *game* da Unity 3D. O ambiente buscou, de forma lúdica, trazer interatividade, envolvimento e clareza acerca dos conceitos físicos da área de física quântica.

Palavras-chave—*game*; ensino-aprendizagem; Física;

Abstract—This article, whose theme is the use of virtual reality in aid the teaching and learning of Quantum Physics sought to demonstrate that teaching and learning can be consolidated in a fun and educational at the same time through virtual reality, more specifically an educational game. The development platform was the game engine Unity 3D. The environment sought to bring interactivity, involvement and clarity in the area of physical concepts of quantum physics playful way.

Keywords—*game*; teaching-learning; physics;

I. INTRODUÇÃO

Com a evolução dos sistemas computadorizados e seu uso cada vez mais difundido nas residências como meio de lazer e nas empresas como ferramenta de trabalho, ela não pode ser deixada de lado quando o assunto é educação.

No meio educacional a tecnologia começou a romper barreiras com a introdução do ensino à distância através de transmissão pela internet de aulas ao vivo ou gravadas e uso de ferramentas como o *moodle* que gerencia o ambiente virtual de aprendizagem, possibilitando a interação entre alunos e professores e a disponibilização de material.

Mas apenas isso não é o suficiente para garantir o entendimento de matérias que os alunos julgam complexas. Matérias muito abstratas, como a Física são mais difíceis para o aluno assimilar, visto que, em aulas tradicionais, não há uma exemplificação prática daquilo que é ensinado. Tudo se baseia em teorias e cálculos, o que pode deixar o aluno desinteressado.

Segundo Carlos Fiolhais [3], o elevado número de reprovações em Física, nos vários níveis de ensino e em vários países, reflete bem as dificuldades que os alunos encontram na aprendizagem dessa ciência. Ele ainda ressalta em seu artigo que a capacidade de abstração dos estudantes, em especial os mais novos, é reduzida. Como consequência, muitos deles não conseguem apreender a ligação da Física com a vida real.

Dessa forma a utilização da realidade virtual como ferramenta de auxílio para a aprendizagem da matéria de Física pretende aumentar essa capacidade de abstração, permitindo ao estudante aprender e construir o elo que liga a Física ao mundo real.

Os jogos através do entretenimento atingem milhões de pessoas, sendo que, durante o jogo, as pessoas se mostram mais focadas e motivadas a superar os desafios. Os jogos, cuja finalidade é educacional, não só permitem criar um ambiente de realidade virtual, onde o aluno interage com o objeto de estudo, como também permitem que ele mesmo tire suas conclusões, aprenda com os erros encontrados e seja proativo nas tomadas de decisão.

Segundo Vygotsky citado por MORATORI [8], o lúdico influencia enormemente o desenvolvimento intelectual devido ao jogo estimular a curiosidade, a iniciativa, a autoconfiança, o pensamento e a concentração, além de gerar ainda uma sensação de prazer do que se está fazendo pela ação de jogar e pelo domínio da situação.

Dessa forma, o objetivo geral deste artigo volta-se para a explicitação dos elementos norteadores do desenvolvimento de um *game* educacional desenvolvido para complementar o processo de ensino-aprendizagem na disciplina de Física, focando na Física Quântica, mais especificamente nos tópicos sobre partículas elementares.

II. REALIDADE VIRTUAL

A realidade virtual é uma “interface avançada de usuário”, permitindo que o usuário através do computador em ambientes tridimensionais permite a interação, a visualização e a movimentação do usuário em tempo real [5]. O sentido da visão costuma ser o predominante nos sistemas de realidade

virtual, os outros sentidos audição e tato, por exemplo, também podem ser utilizados para enriquecer a experiência do usuário.

Segundo KIRNER [5], a interação do usuário é o principal aspecto dos ambientes da realidade virtual e ela está relacionada com a capacidade do computador reagir às ações do usuário. Essa interação do usuário com o ambiente virtual em tempo real permite que habilidades e conhecimentos intuitivos do usuário possam ser utilizados para a manipulação dos objetos no mundo virtual.

A realidade virtual pode ser dividida em duas categorias, a saber: realidade virtual imersiva e realidade virtual não-imersiva.

A primeira, para KIRNER [5], está disposta através da visão direta. Ela é ativada pela utilização de capacetes com óculos especiais que dá a sensação de que o usuário está dentro do mundo virtual ou de projeções nas paredes. Além dos capacetes, também é possível a utilização de luvas para dar uma maior sensação de realismo para o usuário, assim estimulando a sensação do tato.

A segunda realidade, ou seja, a realidade virtual não-imersiva, está associada a uma visão indireta em que a visualização de cenas virtuais e reais ficam conjugadas [5], baseando-se no uso de monitores. Nesse modo de realidade virtual estão presentes como dispositivos de interação do usuário com o ambiente virtual os seguintes elementos: teclado, mouse, joystick e microfone; bem como dispositivos de saída monitores, TV's, projetores, caixas de som, fone de ouvido.

Para o desenvolvimento da realidade virtual, a base principal é a computação gráfica. Que, para Gomes [4], consiste em transformar dados em imagens. A partir desse conceito, a computação gráfica vai se tornando mais complexa até o processamento de vetores de terceira dimensão com processamento de iluminação e textura. Isso permite a visualização da informação por diversos ângulos, como rotacionar a imagem e ter uma noção de diferentes pontos de vista.

III. REALIDADE VIRTUAL NA EDUCAÇÃO

A realidade virtual está sendo tema de muitos estudos para a área da educação. Um dos usos mais relevantes da realidade virtual na educação são os simuladores de voos utilizados para treinamento de pilotos comerciais e das forças aéreas.

Essa relevância está ressaltada nos pressupostos de PINHO [10], para quem a potencialidade *Realidade Virtual* está na exploração de alguns ambientes, objetos ou processos que são inatingíveis somente através de fotos, livros, filmes ou aulas, mas, sim, através da manipulação e do domínio sobre o alvo virtual de estudo. Ele ressaltava ainda que existem duas formas como o ser humano conhece o mundo.

A primeira dessas formas está relacionada às experiências da primeira pessoa, em que o indivíduo conhece o mundo devido sua interação com ele. E que este tipo de conhecimento é direto, subjetivo e inconsciente, ou seja, não temos noção de quando adquirimos.

A segunda forma está relacionada às experiências em terceira pessoa e ao conhecimento ser descrito por alguém, sendo um conhecimento objetivo, consciente e explícito, a pessoa sabe quando adquiriu o conhecimento.

A ideia da interatividade da realidade virtual é permitir que a interação da terceira pessoa passe a ser de primeira pessoa, visto que o usuário do ambiente virtual conseguirá interagir com o objeto de estudo e explorá-lo como se ele de fato existisse.

Segundo CAMELO [2], muitos estudos sobre realidade virtual estão sendo realizados como:

- Projeto Professor Virtual. Desenvolvido na Universidade Federal de São Carlos, cujo objetivo é transportar o professor virtualmente para uma sala remota, sendo capaz de receber informações dela e conseguir interagir com os alunos como se estivesse presente.
- Projeto REVIR. Também desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos, visa desenvolver ferramentas e programas computacionais para as séries iniciais do primeiro grau.

IV. TRABALHOS RELACIONADOS

Trabalho similar ao objetivo deste artigo é o jogo 'Spracegame' que foi criado pelo Centro Regional de Análise de São Paulo (Sprace, na sigla em inglês), um dos grupos de cientistas brasileiros responsáveis por interpretar os dados gerados pelo acelerador gigante de partículas LHC, na Europa, conforme Figura 1.

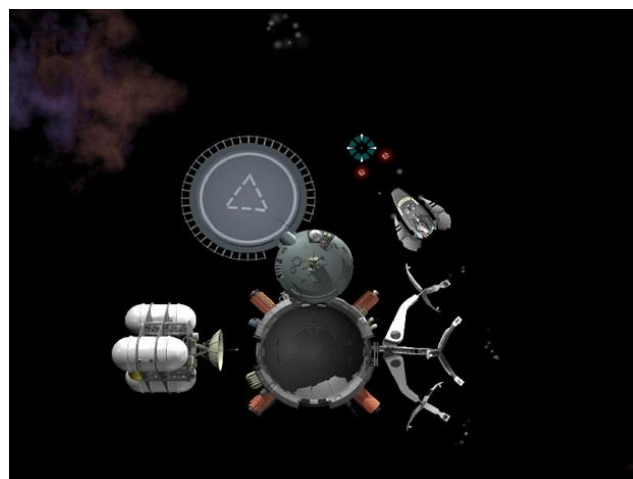


Fig. 1. Spracegame. Fonte: o jogo.

Usando uma nave espacial microscópica, o jogador recebe uma missão relacionada a partículas elementares. Na primeira fase, por exemplo, a nave deve capturar e identificar múons e quarks para identificação. O jogo, batizado de 'Spracegame', é grátis, baseado na linguagem Java em um ambiente 2D, ele pode rodar em computadores com Windows, Linux ou Mac.

Outro jogo que aborda a Física de Quântica é o “qCraft” desenvolvido pelo Laboratório de Inteligência Artificial Quântica do Google, roda em várias plataformas e é grátis. No jogo são utilizados blocos com propriedades quânticas para construir qualquer estrutura que se possa imaginar desde uma simples casa até uma nave espacial. Alguns blocos podem ter múltiplas propriedades possíveis, mudando de aparência quando são observados, lembrando o conceito quântico de superposição e o colapso das funções de onda quando as partículas sofrem uma medição.

V. METODOLOGIA

A metodologia do desenvolvimento desse *game* baseou-se no processo ágil de desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual [7]. Esse processo de desenvolvimento é composto por cinco etapas que são trabalhadas iterativamente: análise de requisitos, projeto, implementação, avaliação e implantação.

Na etapa da análise de requisitos, obteve-se a definição do usuário, tarefas e interações destes. Foi realizada a definição dos requisitos básicos do ambiente virtual e funcionamento da aplicação. Nessa etapa de projeto, foram realizadas as definições das tecnologias de entrada e de saída, bem como os dispositivos de *hardware* e *softwares* que serão utilizados pelos usuários para interagirem com o ambiente de realidade virtual. Nesse estágio também foi definido o projeto de objetos, de comportamentos e de interações entre eles.

Na etapa de implementação foi realizada a obtenção e a preparação das imagens, a construção de cenas, objetos e avatares e foi realizada a composição do ambiente virtual construído. Durante a etapa de avaliação foi verificada a usabilidade do sistema e de seu desempenho e também verificada a eficácia do sistema, em outras palavras, se ele consegue atender as demandas do projeto a fim de identificar e de reduzir os riscos de problemas de interação entre os usuários com o sistema de realidade virtual.

Por último a etapa de Implantação em que foi realizada a calibração dos equipamentos e dos dispositivos adotados na fase de projeto considerando os aspectos construtivos do ambiente desenvolvido e feita a análise psicológica do uso do sistema.

A Figura 2 mostra as principais atividades do ciclo de vida do desenvolvimento ágil de um sistema de realidade virtual e algumas delas são descritas abaixo.

O Spike de arquitetura realiza uma análise de viabilidade de implementação de novos requisitos a partir de histórias de usuário e *storyboards*, para reduzir os riscos presentes na área de desenvolvimento sobre o domínio, a tecnologia e o próprio sistema. Dele resulta a definição da metáfora que será utilizada pela equipe de desenvolvimento para representar o sistema.

Os requisitos de interatividade constitui o elemento central de diversos sistemas de realidade virtual [7]. A partir desses requisitos é possível definir a usabilidade do sistema. Pode-se também aplicar testes da forma de interação desejada para definir a viabilidade e a validação das formas de interação propostas no projeto.

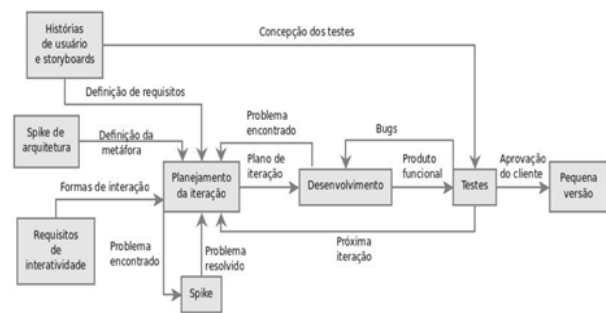


Fig. 2. Desenvolvimento ágil de sistema de realidade virtual: cliço de vida. Fonte: (MATTIOLI et al, 2009)

A atividade de planejamento da interação permite, no início de cada iteração, escolher quais histórias de usuário e dos *storyboards* serão implementados. Sempre que é encontrado algum problema nessa atividade é realizado um Spike para levantar as possíveis soluções. Dentro do Spike, podem ser realizadas implementações de teste para verificar as soluções encontradas.

Essa etapa deve ser bem flexível para aceitar possíveis mudanças de requisitos relativas à iteração atual e solucionar problemas encontrados durante o processo de desenvolvimento. A atividade de desenvolvimento inicia-se após a definição da atividade de planejamento da interação. Essa atividade possui quatro características onde as duas primeiras são a análise e o projeto que são responsáveis de identificar o modo mais simples de implementar os requisitos propostos no plano de interação.

A terceira e quarta características são a codificação e testes, que são a implementação da interatividade dos objetos e a execução dos testes para a iteração proposta. À medida que o sistema evolui os objetos virtuais passam a ter características mais próximas dos objetos reais.

Na atividade de testes, são feitos testes do desenvolvedor e teste do cliente. Em tal estágio, são feitos testes exaustivos de interação, buscando a eficiência e a usabilidade dos sistemas de realidade virtual. Caso seja encontrada alguma anomalia ou *bug* este volta para a fase de desenvolvimento.

VI. ARQUITETURA DO SISTEMA

A construção do jogo tem como objetivo central a criação de um ambiente virtual em três dimensões, onde, através da interatividade, o jogador manipula uma personagem, o qual percorre um percurso coletando informações e que contém obstáculos como portas, guardas, câmeras, sensores a *laser*. Para se atravessar alguns destes, é preciso responder perguntas de física quântica, a partir das quais, ao responder corretamente, é desativada alguma câmera, porta ou sensor. Na medida em que o jogador vai avançando no jogo, o nível de dificuldade varia.

Para entender melhor a arquitetura utilizada, segue abaixo, detalhadamente, a estrutura utilizada da Figura 3:

- **Usuário:** Ator responsável por manipular a personagem durante o percurso do jogo e responder às perguntas presentes nos obstáculos;
- **Interface Gráfica do Usuário:** Responsável por permitir a interação entre o usuário e o *software*;
- **Ambiente Virtual do Aplicativo:** Permite a visualização dos objetos virtuais em cena que podem sofrer qualquer alteração provida do usuário;
- **Menu:** Menu principal executado ao iniciar o aplicativo, contendo a opção de entrada para o jogo, verificar opções de interação e de saída do mesmo;
- **Personagem:** Objeto em 3D representando um Homem, que vai ser controlado pelo usuário durante o jogo;
- **Percurso:** Percurso feito em 3D, constituído de outras personagens controladas pelo computador, pelas portas, pelas câmeras e pelos sensores laser;
- **Coleta:** São objetos encontrados no decorrer do percurso como perguntas, dicas e a partícula, como dicas contendo informações sobre a partícula, essas informações são a base para responder às perguntas para desativar algum obstáculo;
- **Verificação:** Verifica que tipo de objeto o usuário coletou, se foi uma informação, se foi uma pergunta ele verifica ainda se o usuário respondeu corretamente ou se coletou uma partícula;
- **Inventário:** guarda as partículas encontradas pelo usuário bem como as informações coletadas durante a fase. O jogo termina quando o usuário preenche todo o inventário das partículas elementares.

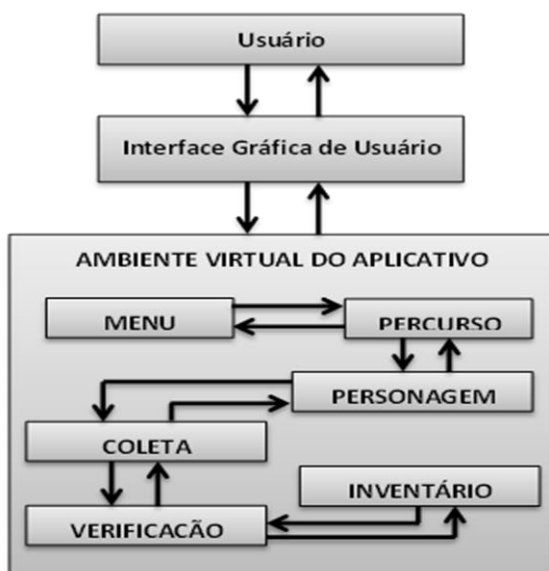


Fig. 3. Arquitetura do Sistema. Fonte: dados do trabalho.

VII. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O *game* se inicia com um menu principal onde há o item ‘Iniciar’ que dá acesso ao jogo. O item ‘Opções’, por sua vez, mostra as informações dos controles do jogo e a opção ‘Sair’ para encerrar o *game*, Figura 4.

Quando o usuário inicia o jogo ele é direcionado para a primeira fase. o jogador é representado por um homem e seu objetivo principal é encontrar partículas elementares para preencher o inventário de partículas, também conhecido com modelo padrão, conforme Figura 5.



Fig. 4. Menu principal do game. Fonte: dados do trabalho.

O modelo Padrão é constituído por três grupos de partículas elementares, os *quarks* e os *léptons* que possuem seis partículas cada um, e as mediadoras que possuem quatro partículas. O jogador, durante o jogo, vai encontrar essas partículas de acordo com a ordem cronológica em que elas foram descobertas, começando pelo elétron e terminando no *Bóson de Higgs*.

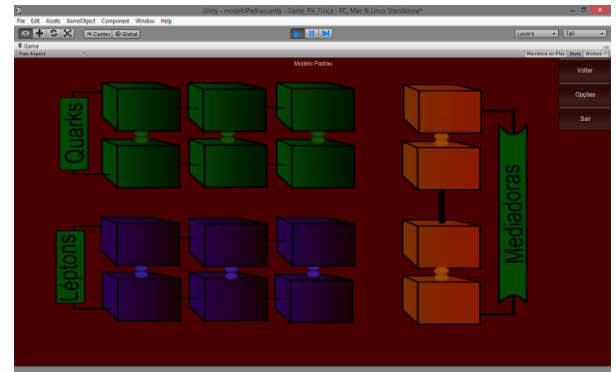


Fig. 5. Inventário do jogo. Fonte: dados do trabalho.

O jogo possui como principal característica o uso da capacidade de furtividade. Nele o jogador deve evitar ser percebido enquanto coleta informações, responde às questões para encontrar as partículas, e anda pelo percurso do cenário. O *storyboard* da primeira fase, Figura 6, mostra nas linhas continuas o caminho que o jogador normalmente deve fazer sem ser percebido.

Os círculos pontilhados mostram os pontos das câmeras, os quadrados pontilhados o caminho onde os três guardas patrulham e as linhas pontilhadas os lasers detectores de presença. Ao iniciar a fase o jogador inicia o jogo na posição

‘início’ e deve atingir a posição ‘fim’ quando encontrar a partícula.

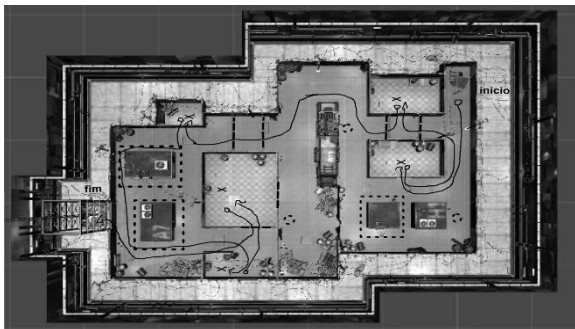


Fig. 6. Storyboard da primeira fase. Fonte: dados do trabalho.

Ao percorrer o cenário o jogador deve tomar o cuidado com os obstáculos, Figura 7, visto que ele pode ser percebido de diversas formas como mostra a listagem:

- Passar por um laser;
- Ser detectado por uma câmera de vigilância;
- Entrar no campo de visão do guarda e ser visto por ele;
- O guarda pode ouvir os passos do jogador quando este se move perto.

Qualquer uma dessas formas de percepção da ação do usuário irá desencadear a perseguição dos guardas sobre o jogador e ativará o sistema de alarme, sendo que se isso ocorrer o jogador precisa despistá-los e se esconder até que a sirene de alerta seja desligada, para que ele prossiga em sua missão.



Fig. 7. Obstáculos do jogo: guarda, camera e lasers. Fonte: dados do trabalho.

O *storyboard* da primeira fase, Figura 6, mostra os pontos marcados com o X onde há informações para se coletar ou questões para serem respondidas, conforme a Figura 8. A coleta de informações e a questão dentro de uma fase são baseadas em uma partícula. É importante ressaltar a fim de que ele consiga encontrar a partícula é essencial que o jogador vá a todos os pontos.

Quando o jogador consegue encontrar uma partícula, essa é inserida no inventário, e a porta que permite sair da fase e iniciar a próxima é desbloqueada. Assim o jogador deve procurar a porta para iniciar a próxima fase, que, no caso é um elevador. Quando o usuário se aproxima da porta de saída sem ter encontrado a partícula, há a emissão de um sinal sonoro para mostrar que ela está bloqueada.

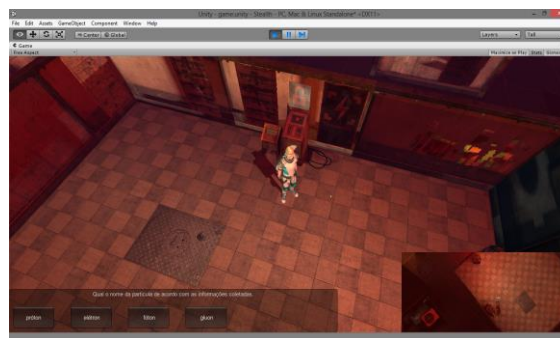


Fig. 8. Questão encontrada em uma área do cenário. Fonte: dados do trabalho.

As outras fases seguem a mesma característica do jogo que é o modo furtivo, mas com nível de dificuldade diferentes e ambientes diferentes para proporcionar uma melhor relação com a teoria da matéria de física com ludicidade do jogo trazendo elemento do mundo real para dentro dele.

A primeira fase trata do o elétron, a partícula que deve ser encontrada. Para esse fim é necessário coletar quatro informações e responder a uma pergunta, sendo que para concluí-la ele deve chegar ao elevador que está do outro lado da fase. A segunda fase trata do fóton e, para concluí-la, é necessário coletar três informações e responder a uma pergunta, sempre pelo modo furtivo. As outras fases abordam as outras partículas com variação no número de informações a serem coletadas, número de obstáculos e perguntas.

A figura 9 mostra o cenário da fase sobre o *Bóson de Higgs*. Nesta fase é necessário encontrar cinco informações e responder a duas questões e encontrar a partícula. Para isso ele não pode ser percebido por três guardas e duas câmeras de vigilância. Esse cenário está na última fase do *game* e fecha a parte sobre as partículas elementares, proposto pelo modelo padrão.



Fig. 9. Representação lúdica do colisor de partícula LHC. Fonte: dados do trabalho.

VIII. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a realização da avaliação e os testes da aplicação do jogo, foram selecionados alunos de duas turmas do terceiro ano do Ensino Médio e um professor, para os quais os conceitos da

Física abordados neste artigo são aplicados. Ao professor, foram aplicados os conteúdos com a utilização do *game*, sendo que, logo após o decorrer deste período foi aplicado um questionário para que os usuários pudessem avaliar a funcionalidade da aplicação e as relações com o que foi aprendido em sala de aula, conforme é mostrado na Figura 10.

De acordo com o professor a utilização do método foi extremamente satisfatória. O mesmo destacou a importância da tecnologia aliada ao processo de ensino-aprendizagem, e observou que a ferramenta é uma maneira simples e de baixo custo para melhorar a qualidade da aplicação dos conteúdos.

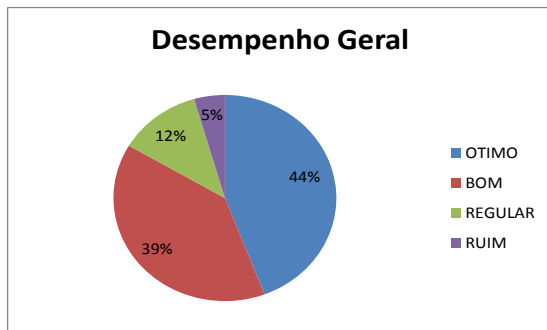


Fig. 10. Gráfico de desempenho dos alunos em relação ao game. Fonte: dados do trabalho.

O professor avaliou o jogo como sendo um ótimo instrumento de ensino e que proporciona estímulo ao aluno. Além disso, o professor entende que o mesmo auxilia o processo de ensino de Física de maneira interativa e divertida, como os próprios alunos anseiam, ou, em outros termos, estar de frente ao computador e jogar, ao mesmo tempo em que estão se divertindo, estão aprendendo.

IX. TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuro pretende-se transportar o jogo para a plataformas móveis como Android e iOS para que possa ser jogado em celulares, *smartphones* e *tablets*, tornando possível uma melhor mobilidade para o jogador e, até mesmo, constituir-se uma estratégia diferenciada para o professor trabalhar com os alunos, pois tal tecnologia está sendo muito utilizada e difundida no mundo.

Com a evolução dos novos dispositivos móveis, pretende-se também incrementar detalhes no jogo, tais como: aumentar as fases juntamente com as coletas de informações, questões e formação de novas partículas com a combinação das partículas elementares; colocar mais interatividade, inserindo objetos em movimento, objetos para o jogador interagir, seleção de dificuldade através do menu principal e, se possível, a geração de gráficos do desempenho do jogador. A Física é uma área muito ampla que proporciona muitas possibilidades em jogos educacionais.

X. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos comprovam que alunos possuem dificuldade em matérias abstratas como a Física. Certamente, a falta de interatividade nas escolas contribua para que isso ocorra; sendo assim, a inclusão de jogos educacionais no meio educacional possa melhorar e estimular a aprendizagem por parte dos alunos. Conclui-se, diante do exposto, que o uso da realidade virtual na educação advindas de jogos, pode auxiliar satisfatoriamente o processo de ensino-aprendizagem, pois a atual geração está amplamente envolvida no mundo virtual. Assim, unindo o jogo a uma matéria específica como a Física, por exemplo, pode-se criar um ambiente virtual propício para a aprendizagem de alunos independente da série.

REFERÊNCIAS

- [1] CALDEIRA, Almir. A Física Quântica: o que é, e para que serve. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/fisica/fisica02.htm>>. Acesso em: 08 fev. 2013.
- [2] CAMELO, Marcelo A.. Ambiente em Realidade Virtual para Usuários de Educação a Distância: Estudo da Viabilidade Técnica Mestrando:. 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001..
- [3] FIOLEHAIS, Carlos ; TRINDADE, Jorge. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. Rev. Bras. Ensino Fís. [online]. 2003, vol.25, n.3, pp. 259-272. ISSN 1806-1117.
- [4] GOMES, Jonas; VELHO, Luiz. Fundamentos da Computação Gráfica. Rio de Janeiro: Impa, 2008. 603 p. (Série de Computação e Matemática).
- [5] KIRNER, C.; PINHO, M.S. (1997) - Introdução à Realidade Virtual. Livro do Mini-curso, 1º Workshop de Realidade Virtual. São Carlos, SP, 9-12 de Novembro de 1997. Disponível em: <<http://www.ckirner.com/download/tutoriais/rv-wrv97.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2013.
- [6] KIRNER, C.; SANTIN, R. Interaction, Collaboration and Authoring in Augmented Reality Environments. Proceedings of XI Symposium on Virtual and Augmented Reality. Porto Alegre : SBC, 2009. v. 11. p. 210-220. Disponível em: <<http://www.ckirner.com/download/artigos/Interaction-SVR2009.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2013.
- [7] MATTIOLI, F. E. R. ; LAMOUNIER JÚNIOR, E. A. ; CARDOSO, A. ; ALVES, Nélio Muniz Mendes . Uma Proposta para o Desenvolvimento Ágil de Ambientes Virtuais. In: Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2009, Santos. 6o Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - Anais do evento, 2009. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/bdbcomp/servlet/Trabalho?id=12379>> Acesso em: 07 fev. 2013.
- [8] MORATORI, Patrick Barbosa. Por que utilizar jogos educativos no processo de ensino aprendizagem? 2003. 28 f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- [9] PINHO, M.S.; KIRNER, C. (1997) - Uma Introdução à Realidade Virtual. Mini-curso, X Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens. 14 a 17 de outubro de 1997, Campos do Jordão, SP. Disponível em: <<http://www.ckirner.com/download/tutoriais/rv-sibgrapi97/tutrv.htm>> Acesso em: 19 jan. 2013.
- [10] PINHO, Márcio Sarroglia. Realidade Virtual como Ferramenta de Informática na Educação. Disponível em: <http://grv.inf.pucrs.br/tutoriais/rv_educa/index.htm#_Toc423520327>. Acesso em: 07 fev. 2013.