



SERIOUS GAME PARA TREINAMENTO DE PUNÇÃO LOMBAR UTILIZANDO REALIDADE VIRTUAL

José Antonio Serra Carneiro*^{1,2}, Pedro Daibert¹, Ezequiel Marques de Oliveira¹,
Victor Carvalho Victorino¹, Luis Ricardo dos Reis Caldeira¹, Edgard Afonso Lamounier Júnior²,
Adriano Oliveira Andrade², Luciene Chagas de Oliveira¹ e Selma Terezinha Milagre²

¹UNIUBE – Universidade de Uberaba

²UFU – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - O objetivo dessa pesquisa é desenvolver uma ferramenta de *serious games* em ambiente de Realidade Virtual (RV) para aprendizagem e treinamento da Punção Lombar (PL), procedimento médico neurocirúrgico, destinada a estudantes de medicina e médicos residentes. O *serious game* de PL oferece os benefícios resultantes da utilização da Realidade Virtual (RV) em ferramentas destinadas a simulação para treinamento da área da saúde propiciando um aprendizado controlado e seguro.

Palavras-Chave – punção lombar; treinamento médico; jogos sérios; realidade virtual.

SERIOUS GAME FOR LUMBAR PUNCTURE TRAINING USING VIRTUAL REALITY

Abstract - The objective of this research is to develop a tool in the format of *serious games* in a Virtual Reality (VR) environment for learning and training in lumbar puncture (LP), a neurosurgical medical procedure, aimed at medical students and medical residents. The *serious game* of LP offers the benefits resulting from the use of virtual reality in simulation tools for training in the health area, providing controlled and safe learning.

Keywords - lumbar puncture; medical training; *serious games*; virtual reality.

I. INTRODUÇÃO

Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) podem ser aplicadas no processamento de informações para diversos tipos de aplicações. As pesquisas em RV e a RA estudam formas de transformar dados abstratos em imagens reais ou mentalmente visíveis, de forma a facilitar a sua compreensão e/ou ajudar na descoberta de novas informações contidas nestes dados.

*joseantoniocarneiro@ufu.br

A RV refere-se a uma interface que simula um ambiente real e permite aos participantes interagir com o mesmo, capacitando as pessoas visualizar e manipular representações extremamente complexas geradas por um computador. Graças a tecnologia da RV, a Medicina avança cada vez mais no tratamento de pacientes, além disso, ela pode ser muito útil para a educação, simulações e treinamentos [1].

Na visão de Machado *et al.* [2], jogos computacionais não relacionadas ao entretenimento (*Serious Games*), em especial aqueles baseados em ferramentas de Realidade Virtual (RV), tem sido utilizados em diversas áreas da atividade humana e suas aplicações se estendem a múltiplos campos da exploração científica, em especial na área da saúde, constituindo ferramentas imersivas e/ou interativas úteis à investigação e ao tratamento de patologias.

Para fins de treinamento, os *serious games* são aplicados para simular situações críticas que envolvam algum tipo de risco, tomada de decisões ou, ainda, para desenvolver habilidades específicas [2]. Para fins de ensino-aprendizagem, podem-se simular situações em que o uso de um conhecimento seja necessário para a evolução no jogo. Em alguns casos, ensino e treinamento podem ser combinados para simular situações em que se aprende algo para utilizar na própria simulação, instantes depois. Desta forma, pode-se dividir a finalidade destes jogos, quando voltados ao ensino-aprendizagem, em três categorias: conscientização, construção de conhecimentos e treinamento [3].

A punção lombar (PL) [4] é um procedimento médico invasivo, realizado com uma agulha específica, para acessar o líquido cefalorraquidiano (LCR) contido na cisterna lombar, através dos espaços intervertebrais. Essa cisterna está localizada no interior da estrutura anatômica denominada canal vertebral e se estende, no indivíduo adulto, da vértebra lombar L2/L3 a vértebra lombar L5. A punção é realizada preferencialmente através do espaço intervertebral localizado entre as vértebras L3, L4 e L5. Constitui procedimento com certa complexidade técnica, cuja realização exige conhecimentos anatômicos e habilidade manual precisos, tendo em vista possibilidades de complicações, destinando-se a coleta de LCR para análise,

aplicação de medicamentos, contrastes, avaliação da permeabilidade do canal vertebral e da pressão do LCR.

Nesse contexto, o objetivo desse artigo é apresentar uma aplicação do ambiente de RV no desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de punção lombar, destinado a estudantes de medicina e médicos residentes.

II. REALIDADE VIRTUAL

O termo Realidade Virtual é bastante abrangente. Acadêmicos, desenvolvedores de *software* e pesquisadores tendem a defini-lo com base em suas próprias experiências, gerando diversas definições na literatura [5]. Entretanto, para qualquer definição há que se levar em conta os seguintes elementos: geração a partir de um sistema computacional (*Hardware e Software*), interação em tempo real (*performance*) e utilização de dispositivos/ambientes especiais (interfaces). As variações nestes três componentes é que determinam o grau de imersão ou interação do usuário. Como afirma Bishop [6], um sistema de Realidade Virtual demanda pesquisa e insumos referentes a percepção sensorial, *hardware*, *software*, interface com o usuário, fatores humanos e aplicações

A título de ilustração, apresentamos a definição de Realidade Virtual proposta por Jacobson [7], Krueger [8] e Burdea [9], na qual Realidade Virtual é uma técnica avançada de interface que permite ao usuário realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multissensoriais. Para Cardoso e Lamounier [10], a Realidade Virtual é uma técnica computacional capaz de oferecer ao usuário um ambiente artificial no qual ele pode interagir, modificar e navegar de forma intuitiva e natural. Mais recentemente, Kirner [11] postulou que Realidade Virtual e Realidade Aumentada representam técnicas de interface computacional que têm em perspectiva o espaço tridimensional, no qual o usuário interage multidimensionalmente através dos sentidos, principalmente visão, audição, tato e onde outras tecnologias, eventualmente disponíveis, possibilitam percepção olfativa e gustativa.

Os benefícios da utilização de Realidade Virtual e Aumentada para aplicações nos diversos campos do conhecimento científico são inquestionáveis. Cardoso, Lamounier e Lima [12] enumeraram dez desses benefícios à área de engenharia, mas extensíveis a outras áreas do conhecimento: 1) o caráter motivacional da experiência em primeira pessoa; 2) o maior potencial de apresentar características e processos em comparação com outros meios multimídia; 3) a possibilidade de observar objetos em diversos níveis de magnitude; 4) possibilita a realização de experimentos virtuais, com fins educativos ou não; 5) permite refazer experimentos de forma atemporal; 6) a necessidade de interação torna o usuário um elemento ativo no processo; 7) estimula a criatividade em relação o experimento, potencializando o resultado final; 8) oferece isonomia de comunicação às diferentes áreas da engenharia; 9) ensina habilidades computacionais e de domínio de periféricos; 10) torna seguro o ambiente de treinamento, em relação a potenciais acidentes no ambiente de treinamento real.

Para Rodrigues e Porto [13] a Realidade Virtual possui três aspectos fundamentais: imersão, interação e envolvimento. A imersão diz respeito a possibilidade de proporcionar ao usuário a percepção de estar incluído no ambiente/espaço virtual e isolado do ambiente externo, não como mero observador, mas possibilitando exploração e manipulação natural do ambiente virtual.

A interação implica na capacidade computacional (*Hardware + Software*) em detectar e responder em tempo real às ações que o usuário exerce sobre o ambiente virtual e parece ter relação direta com o grau de satisfação do usuário [13].

O envolvimento, por sua vez, é diretamente proporcional ao grau de estimulação para motivação/adesão a determinada atividade e inversamente proporcional às limitações físicas e cognitivas do usuário, podendo ser ativo ou interativo (participar de um jogo, participar de uma cirurgia virtual) e passivo ou não interativo (ler um livro ou assistir filme) [13].

III. SERIOUS GAMES (JOGOS SÉRIOS)

Jogos computacionais não relacionadas ao entretenimento (*Serious Games*), em especial aqueles baseados em ferramentas de Realidade Virtual (RV), tem sido utilizados em diversas áreas da atividade humana e suas aplicações se estendem a múltiplos campos da exploração científica, em especial na área da saúde, constituindo ferramentas imersivas e/ou interativas úteis à investigação e ao tratamento de patologias como Autismo, Acidentes Vasculares Cerebrais e quadros Demenciais [2].

A maioria dos autores atribui o surgimento do termo *Serious Games* (SG) a Clark C. Abt através da publicação de um livro com o mesmo nome em 1970, ou mesmo à Ben Sawyer (cofundador da Digitalmill, pioneiro em grandes iniciativas no campo de jogos sérios). Entretanto, recuando ainda mais na linha do tempo, encontramos os chamados “jogos não digitais de propósito”, cujo conceito remonta à obra de Platão. Alguns desses jogos já serviam a um propósito “sério”, como por exemplo, Mancala (um jogo projetado por volta de 1400 ac) que foi usado como uma ferramenta de contabilidade para o comércio de animais e alimentos [14]. Portanto, pode-se dizer que *Serious Games* é uma manifestação contemporânea de teorias e práticas seculares [15].

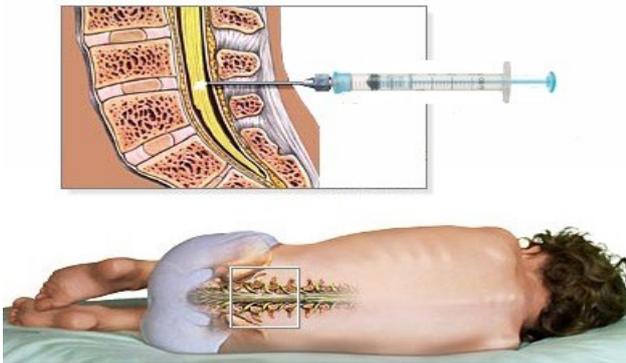
Bedwell [16] postulou nove características para os *serious games*: 1) uma linguagem de ação (um jogo oferece algum método de comunicação entre o jogador e o jogo); 2) avaliação (rastrea o número de respostas); 3) promover conflito ou desafio; 4) possibilitar controle, ou a capacidade dos jogadores de alterar o jogo; 5) meio ambiente adequado a finalidade do jogo; 6) Possuir uma base ficcional (missão ou estória); 7) permitir interação humana entre jogadores; 8) propiciar imersão no jogo; 9) as regras e objetivos do jogo são fornecidos de forma clara ao jogador.

IV. PUNÇÃO LOMBAR

A punção lombar (PL)[4] é um procedimento médico invasivo complexo que deve ser executado com máxima precisão. A intenção da punção é acessar a estrutura anatômica denominada cisterna lombar, localizada no

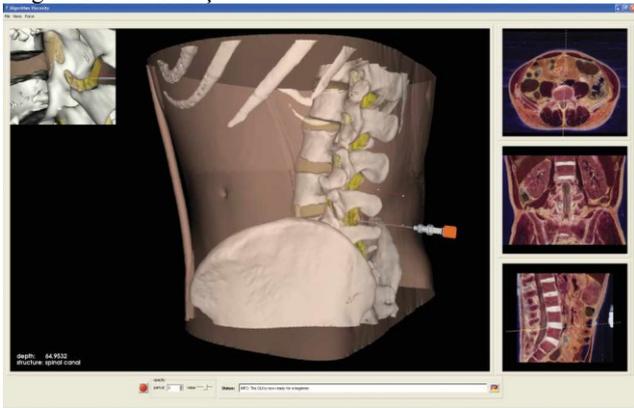
interior do canal vertebral homônimo, com os seguintes objetivos: extrair LCR para análise, aplicação de medicamentos, aplicação de contrastes, avaliação da permeabilidade do canal vertebral e da pressão do LCR. Durante a intervenção uma agulha específica é inserida, geralmente entre as apófises espinhosas das vértebras lombares L3-L4 ou L4-L5, e progredida até que ocorra um *feedback* tátil indicativo de que a agulha atingiu o espaço subaracnoideo do canal vertebral lombar ou cisterna lombar, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Punção da cisterna lombar, nível L4-L5



A extensão da cisterna lombar, que está localizada no interior da estrutura anatômica denominada canal vertebral, varia de acordo com a idade do paciente. Nos Recém-nascidos (RN), quando a medula espinhal ocupa praticamente todo o canal medular, ela é diminuta e cresce na medida em que o desenvolvimento estaturoponderal ocorre. Portanto, a PL no RN e em crianças requer conhecer essas nuances. No adulto, se estende da vértebra lombar L2/L3 a vértebra lombar L5 e a punção é realizada preferencialmente através do espaço intervertebral localizado entre as vértebras L3, L4 e L5, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Reconstrução tridimensional de uma PL em adulto



A execução incorreta do procedimento, não raramente resultado de treinamento inapropriado, pode levar a desfechos inadequados e gerar desconforto, até mesmo dor e, ainda, na necessidade de reiniciar a intervenção. Afora a questão da qualificação técnica do profissional executante, o insucesso na realização de uma PL pode se originar em outros fatores, como o posicionamento incorreto do paciente, anomalias ou deformidades nas estruturas ósteo-articulares

da região lombar e a falta de colaboração do paciente durante a execução do procedimento.

Entre as possíveis complicações relacionadas com a execução PL, mesmo que executadas tecnicamente de forma correta, encontramos: 1. Cefaleia pós-punção; 2. Infecções; 3. Sangramento; 4. Herniação cerebral; 5. Dor lombar, dor radicular e parestesias; 6. Tumores epidermóides. Portanto, afora o treinamento correto à execução o procedimento propriamente dito, o médico deve possuir o conhecimento necessário para indicar ou não a realização do mesmo. Em outras palavras, há de se conhecer sobejamente as possíveis implicações, indicações e contraindicações à realização da PL.

Existem soluções em ambiente de Realidade Virtual para treinamento do procedimento de PL disponíveis no mercado, como a oferecida pela empresa francesa InSimo [17], proprietária do aplicativo “*Sim&Care, lumbar puncture simulator*”, apresentado na Figura 3, e que tem se mostrado pouco acessível sob o ponto de vista financeiro tendo em vista que o aplicativo é fornecido a partir de uma assinatura anual e demanda recursos tecnológicos específicos dispendiosos para sua instalação e funcionamento, como o *Microsoft HoloLens*, *Phantom Haptic Interface*, hardware dedicado e não possui versão em português.

Figura 3: Sim&Care, lumbar puncture simulator [16]



Tendo em vista o exposto no parágrafo anterior, o projeto também tem como objetivo desenvolver SG de PL em ambiente de realidade virtual que demande recursos tecnológicos com custos mais baixos e tendo o português como idioma padrão.

V. MÉTODOS

O emprego de metodologias, entendida aqui como ferramenta de idealização, construção e manutenção de projetos, cujo objetivo principal é equacionar e implementar soluções, está inserido e consagrado nos ambientes organizacionais públicos e privados, constituindo mote para disputas e debates entre profissionais especializados na defesa da supremacia de um dado método sobre outro. No universo das metodologias para o desenvolvimento de *softwares* não é diferente, existe uma plêiade diversa

evoluindo desde os primórdios da computação e, não raramente, a escolha metodológica se configura tarefa de grande envergadura no constructo de um projeto nessa área.

Tendo em vista o pressuposto, segmentamos o desenvolvimento do aplicativo em fases distintas:

A. Fase de Investigação, Pesquisa e Concepção.

Após estudo teórico sistematizado a respeito das tecnologias disponíveis para Realidade Virtual (RV) e passíveis de serem utilizadas no desenvolvimento da aplicação, optou-se pelo UNITY como conjunto de ferramentas de criação de jogos, suporte e comunidade de desenvolvedores e o Blender que é um programa de código aberto destinado a modelagem, animação, texturização, composição, renderização e edição de vídeos, como arcabouço do projeto.

1) Blender

O Blender é uma ferramenta de modelagem 3D que permite a criação de objetos e componentes, gratuita e de alto desempenho, amplamente utilizada por profissionais e empresas da área de Computação Gráfica. Trata-se de um *software* multiplataforma para produção visual, com opções para animação, montagem de vídeos e desenvolvimento de jogos. Seus recursos são comparáveis a *softwares* proprietários similares, como 3D Studio, Maya e Rhinoceros. É um *software* livre e que está sob a licença GNU-GPL, que permite a qualquer usuário ter acesso ao código-fonte do programa a fim de fazer melhorias [18].

2) UNITY 3D

O Unity 3d é uma poderosa ferramenta de desenvolvimento de games, conta com vários recursos de modelagem e estrutura que auxiliam a criação de jogos. Além da possibilidade da criação de cenários variáveis, adequáveis através do módulo de física integrado, fornece suporte também ao desenvolvimento de programação para a lógica do jogo em Java Script e C# [19]. Com o Unity é possível criar jogos desde níveis básicos e simples até níveis mais complexos com alta performance,

Considerando as características das ferramentas de desenvolvimento selecionadas, deu-se início a fase de elaboração de construção do aplicativo.

B. Fase de Elaboração e Construção

A elaboração e o desenvolvimento de projetos para *softwares* requer metodologias específicas. Neste projeto optou-se pela utilização da metodologia ágil SCRUM por se tratar de um framework para gerenciamento de projetos destinados a produtos complexos e adaptativos, contemplando os requisitos do Manifesto Ágil [20]. Vale salientar que Jeff Sutherland, criador da metodologia SCRUM, é um dos idealizadores e signatários desse manifesto.

A metodologia SCRUM se desenvolve em ciclos denominados “Sprints” que contemplam um conjunto de atividades a serem desenvolvidas ou executadas em um determinado período de tempo, em geral de 07 a 30 dias. Equipe de Desenvolvimento selecionam as atividades a serem implementadas na Sprint que se inicia. Ato contínuo,

as tarefas alocadas em um Sprint são transferidas ao Sprint backlog.

Durante o ciclo da Sprint ocorrem reuniões periódicas, em geral diárias (Daily Scrum), com horário de início e duração previamente estabelecidos, com a finalidade de disseminar conhecimento sobre o que foi feito, identificar dificuldades e estabelecer as prioridades às atividades a serem executadas até a próxima reunião. Em síntese, em cada uma dessas reuniões três perguntas devem ser respondidas pela Equipe de Desenvolvimento, sob a orientação do Scrum Master: O que você tem feito? O que você vai fazer? Você tem algum problema que impede realizar o objetivo?

Ao final do ciclo de cada Sprint se realiza a Sprint Review Meeting e a Sprint Retrospective, com a finalidade de revisar e entregar o que foi estabelecido no início do respectivo ciclo, além de avaliar a aprimorar próximas Sprints a partir do aprendizado com eventuais erros e dificuldades encontrados no ciclo que se encerra. A partir desse ponto se reinicia todo o processo até que o final do projeto de desenvolvimento do *software*.

C. Fase de Testes

No momento em que se atingir um estágio de desenvolvimento tido como suficiente será elaborado um plano de testes que, após submissão e aprovação pelo conselho de ética da instituição, será aplicado de forma a verificar e validar os resultados.

VI. RESULTADOS

A aplicação gerada a partir dos conceitos abordados neste trabalho é um *serious game* (SG) de Punção Lombar em ambiente de realidade virtual para treinamento de estudantes de medicina e/ou de médicos residentes que necessitem desse tipo de qualificação. O SG se desenvolve sob a supervisão de instrutores qualificados na orientação e avaliação dos treinandos, segmentado em quatro fases distintas e interligadas, sempre em ambiente virtual. Na primeira fase o treinamento é apresentado ao SG, “fase de apresentação”, a fim de conhecer e familiarizar com a ferramenta. Na fase seguinte, “fase de formação”, o treinando recebe conhecimentos anatômicos e técnicos de forma passiva, ou seja, adquire o embasamento técnico e teórico necessário à execução do procedimento. Na terceira fase o treinamento passa por “avaliação de aprendizado” cujo o desempenho determinará se está qualificado para a “fase prática” do treinamento do procedimento em ambiente de realidade virtual, ou seja, praticar o SG de PL propriamente dito.

Na fase de apresentação são fornecidas informações gerais sobre a dinâmica do SG como por exemplo: objetivo, regras, questões éticas, métodos, sistemas de controle e avaliação, além de um tour demonstrativo, em ambiente virtual passivo.

A fase de formação oferece ao treinando conhecimento a respeito dos conceitos anatômicos envolvidos, requisitos técnicos do material utilizado, desde a lista desse material e suas especificações, sua preparação e modo de uso. Indo além, apresenta as peculiaridades inerentes aos pacientes-tipo, cenários modelo, potenciais riscos relativos ao procedimento e critérios de indicação e contra-indicação do mesmo.

A avaliação do aprendizado, fase de avaliação, é realizada através de um sistema de quiz interativo onde são apresentadas questões para determinação do nível de conhecimento técnico-teórico sobre o tema e de conduta diante de situações hipotéticas. Uma vez alcançado o nível de conhecimento e discernimento desejado o treinando passa a fase de jogo propriamente dito.

Nessa última fase está a prática do SG e corresponde a execução do procedimento de Punção Lombar em ambiente de RV imersiva e interface de interação háptica, sob a supervisão de um instrutor qualificado na correção e/ou adequação dos procedimentos a serem realizados. Todos os eventos do jogo são passíveis de pontuação positiva ou negativa, em caso de acerto ou erro respectivamente. A pontuação permite quantificar a evolução do treinando e identificar os pontos que devem ser trabalhados. O jogo se encerra quando o nível de desempenho determinado pelo instrutor for alcançado.

As parametrizações ou indicadores de desempenho do SG de PL são estabelecidos pelo instrutor responsável pela aplicação do jogo, daí a importância da qualificação do mesmo no conhecimento específico sobre a execução do procedimento propriamente dito.

As Figuras 4 e 5 mostram as estruturas anatômicas do SG representando a coluna vertebral em ângulos diferentes.

Figura 4: Modelo estrutura coluna vertebral, vista lateral

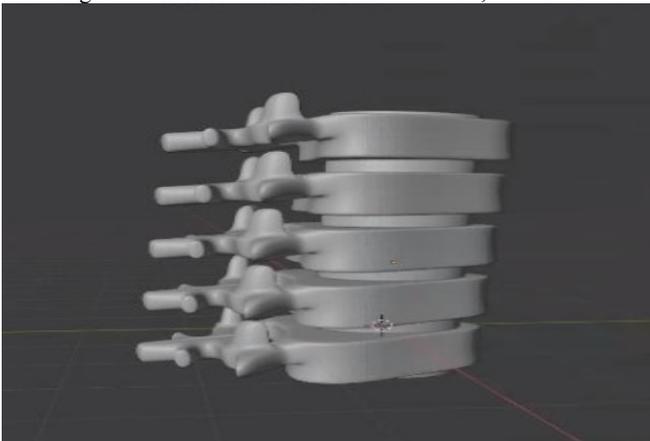
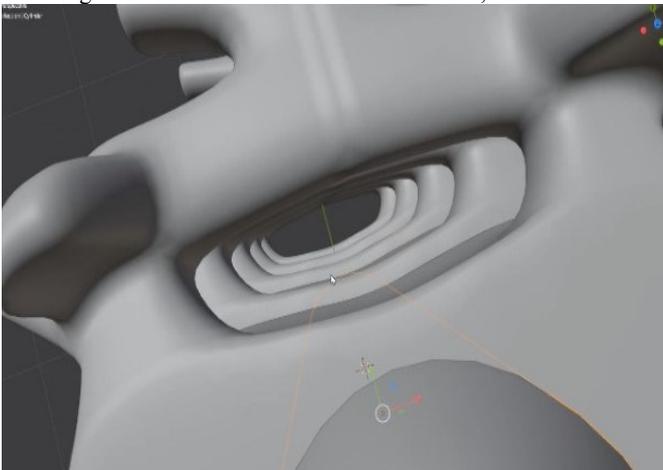


Figura 5: Modelo estrutura coluna vertebral, vista lateral



Além disso, outras telas do serious game são apresentadas nas Figuras 6 e 7 que representam um paciente sob uma mesa de cirurgia e uma sala de cirurgia em 3D.

Figura 6 – Paciente sob a mesa de exames.

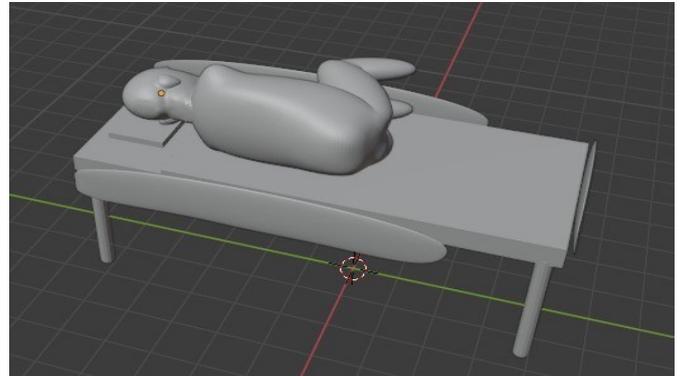
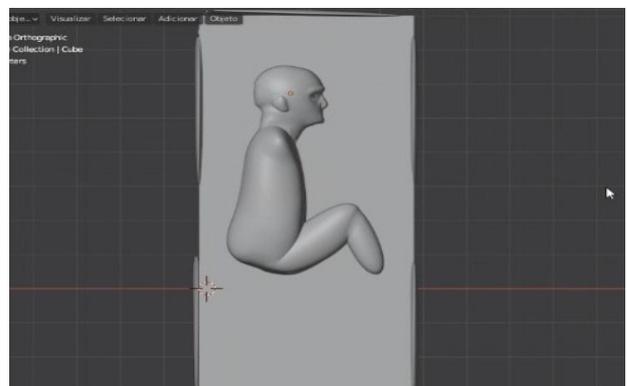
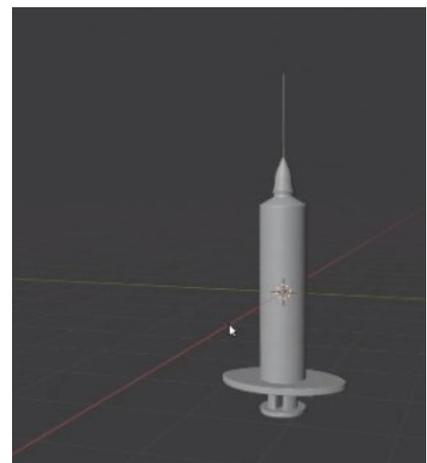


Figura 7 – Paciente sob a mesa de exames (outro ângulo).



Um dos equipamentos cirúrgicos utilizados no procedimento da PL é uma seringa, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Equipamento da Seringa cirúrgica 3D



VII. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um *serious game* para educação e treinamento de estudantes de medicina e médicos residentes, utilizando a tecnologia de Realidade Virtual (RV).

O *serious game* para simulação da Punção Lombar oferece os benefícios resultantes da utilização da RV em ferramentas destinadas a simulação para treinamento da área da saúde, propiciando um aprendizado controlado e seguro, uma vez que se desenvolve sob a supervisão de instrutores qualificados e possibilita avaliação dos treinandos.

Os parâmetros de treinamento e aprendizado nas quatro fases do SG para PL são estabelecidos pelo instrutor responsável pela aplicação do jogo, propiciando caráter incremental e individualizado.

Indicamos pesquisas futuras para avaliação da usabilidade do SG, a fim de identificar inadequações ou erros de desenvolvimento, e estudos a respeito dos desdobramentos do treinamento sobre o desempenho dos treinandos em procedimentos realizados em simuladores físicos e/ou *in anima nobili* determinando a efetividade do SG de PL como ferramenta de treinamento e aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade de Uberaba (UNIUBE), ao Programa de Mestrado da Faculdade de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- [1] A.G. Rabelo *et al.*, “Uso da Realidade Virtual no Tratamento de Sintomas da Motora da Doença de Parkinson: Uma Revisão Sistemática”. *XI Simpósio de Engenharia Biomédica – SEB 2018*
- [2] L.S. Machado, R. M. Moraes, F. L. S. Nunes, Serious Games para Saúde e Treinamento Imersivo, in: F. L. S. Nunes, L. S. Machado, M. S. Pinho, C. Kirner, (ORG.), *Abordagens Práticas de Realidade Virtual e Aumentada*, Sociedade Brasileira de Computação, 2009. V. 1, pp. 31-60.
- [3] M.C. Santos, M.C.L. Leite, “A Avaliação das Aprendizagens na Prática da Simulação em Enfermagem como *Feedback* de Ensino”, *Revista Gaucha de Enfermagem*, 31(3): pp. 552-556, 2010.
- [4] J.M. Boon, P.H. Abrahams, J.H. Meiring, T. Welch, “Lumbar puncture: anatomical review of a clinical skill”, *Clin Anat*, 17 (2004), pp. 544-553
- [5] A. Netto, L. Machado, M. Oliveira, “Realidade Virtual – Definições, Dispositivos e Aplicações”, *Sociedade Brasileira de Computação, Revista Eletrônica de Iniciação Científica, Tutorial Simpósio de Realidade Virtual*, Ano II, Volume II, Numero I, Mar. 2002.
- [6] G. Bishop *et al.*, “Research Directions in VR Environments, Computer Graphics”, *ACM*, 26(3): pp. 153-177, Aug. 1992.
- [7] L. Jacobson, “Virtual Reality: A status report”, *AI Espert*, PP. 26-33, August, 1991.
- [8] M.W. Krueger, *Artificial reality II*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1991.
- [9] G. Burdea, P. Coiffet, *Virtual reality technology*, John Wiley & Sons, New York, N.Y, 1994.
- [10] A. Cardoso; E. Lamounier, A realidade virtual na educação e treinamento. In: R. Tori, C. Kirner, R. Siscouto, *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. SBC, pp. 304–312, Belém, 2006.
- [11] C. Kirner, T.G. Kirner, Evolução e tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada, in: M. W. de S. Ribeiro, E. R. Zorzal, *Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências*. XIII Symposium on Virtual and Augmented Reality. Sociedade Brasileira de Computação - SBC, pp. 8-23, Uberlândia, Brasil, 2011.
- [12] A. Cardoso, E. Lamounier, G. F. M. Lima, Engenharias, in: R. Tori, M. da S. Hounsell, Organizadores. *Introdução a realidade virtual e aumentada*. SBC, pp. 288-315, Porto Alegre (RS), 2018.
- [13] G.P. Rodrigues, C de M. Porto, “Realidade Virtual: Conceitos, Evolução, Dispositivos e Aplicações”. *Interfaces Científicas-Educação*, V.01, N.03, pp. 97-109, jun. 2013.
- [14] F. Laamarti, M. Eid, A. El Saddik, A., An overview of serious games. *International Journal of Computer Games Technology*. Article ID 358152, vol. 2014, pp. 1–15. Available on the internet: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/358152>.
- [15] P. Wilkinson, A brief history of serious games, in: R. Dörner, S. Göbel, M. Kickmeier-Rust, M. Masuch, K.A. Zweig, (Eds.), *Entertainment computing and serious games*, Springer International Publishing AG, LNCS 9970 (pp. 17-41). Basel, Switzerland, 2016.
- [16] W.L. Bedwell, D. Pavlas, K Heyne, E.H. Lazzara, E. Salas, “Toward a Taxonomy Linking Game Attributes to Learning: An Empirical Study”. *Simulation & Gaming*; 43(6): pp.729-760, 2012, Doi: 10.1177/1046878112439444.
- [17] Insimo, disponível em: <https://www.insimo.com/projects/lumbar-puncture-simulator/> acesso em 05/09/2021 as 20:00 horas.
- [18] L.R. Franco, E. Raimann, *Tecnologia Blender Aplicada ao Ensino da Física*. Instituto Federal de Goiás – Campus Jataí, 2010.
- [19] Unity, *Unity Game Engine*, Disponível em: <https://unity3d.com/pt>, Acesso em dezembro de 2020.
- [20] M. Fowler, J. Highsmith, *The Agile Manifesto*, Software Development, pp. 28-32, Aug. 2001.