



JOGO DE BOCHA EM AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL PARA REABILITAÇÃO DE PACIENTES COM DOENÇA DE PARKINSON

José Antonio Serra Carneiro*^{1,2}, Márcio Salmazo Ramos¹, Jhenifer Alves Guimarães¹,
Victor Carvalho Victorino¹, Adriano Andrade Oliveira², Alexandre Cardoso²,
Luciene Chagas de Oliveira¹ e Edgard Afonso Lamounier Júnior²

¹UNIUBE – Universidade de Uberaba

²UFU – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - A tecnologia adquire influência crescente no meio social e sua aplicação contribui no atendimento de necessidades básicas da comunidade. Em especial, mostra seu valor no âmbito dos diversos aspectos relacionados a recuperação e manutenção da saúde individual e coletiva, colaborando no tratamento de pacientes, apoiando o profissional da saúde na análise de aspectos clínicos, através da aplicação de métodos diagnósticos, na elaboração de estratégias de tratamento e no acompanhamento e previsão evolutiva. Nesse escopo, apresentamos uma aplicação dos Jogos Sérios (JS) em ambiente de Realidade Virtual (RV) para tratamento não farmacológico de pacientes com Doença de Parkinson (DP). Na aplicação, virtualizou-se o Jogo de Bocha (JB) sob a forma de um JS direcionado ao tratamento de sintomas motores da DP. Além de auxiliar na reabilitação fisioterapêutica ou tratamento não farmacológico, é uma ferramenta de apoio para o profissional da saúde responsável.

Palavras-Chave – Doença de Parkinson. Jogo de Bocha. Reabilitação. Realidade Virtual.

BOCCE GAME IN A VIRTUAL REALITY ENVIRONMENT FOR REHABILITATION OF PATIENTS WITH PARKINSON'S DISEASE

Abstract - Technology acquires a growing influence in the social environment and its application contributes to meeting the basic needs of the community. In particular, it shows its value in the context of the various aspects related to the recovery and maintenance of individual and collective health, collaborating in the treatment of patients, supporting the health professional in the analysis of clinical aspects, through the application of diagnostic methods, in the development of strategies of treatment and in the follow-up and evolutionary prediction. In this scope, we present an application of

*joseantonio Carneiro@ufu.br

Serious Games (SG) in a Virtual Reality (VR) environment for non-pharmacological treatment of patients with Parkinson's Disease (PD). In the application, the Bocce Game (BG) was virtualized in the form of a SG aimed at the treatment of motor symptoms of PD. In addition to assisting in physical therapy rehabilitation or non-pharmacological treatment, it is a support tool for the responsible health professional.

Keywords - Parkinson's disease. Bocce game. Rehabilitation. Virtual reality.

*blind review

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 [1].

A RV refere-se a uma interface que simula um ambiente real e permite aos participantes interagir com o mesmo, capacitando pessoas a visualizar e manipular representações extremamente complexas geradas por um computador [2]. Assim como a RV, a RA é útil à educação e treinamento [3], caso específico de profissionais que militam na área da saúde.

Para Machado et al. [4] jogos computacionais não relacionadas ao entretenimento ou Jogos Sérios (JS), em especial aqueles baseados em ferramentas de 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. Indo além, a RV pode ser utilizada no tratamento não farmacológico ou reabilitação de entidades nosológicas, inclusive os indivíduos acometidos pela Doença de Parkinson (DP) [5].

A DP é uma patologia degenerativa do Sistema Nervoso Central (SNC), crônica, lentamente progressiva e se manifesta classicamente por tremor, rigidez, bradicinesia (lentidão), instabilidade postural, distúrbio de fala e escrita. Na maioria dos pacientes o tremor é o sinal socialmente mais evidente, mas as limitações resultantes da rigidez, da bradicinesia e da instabilidade postural é que impactam significativamente no funcionamento do indivíduo [6].

Os sinais e sintomas da doença surgem em função da degeneração de neurônios (células do sistema nervoso) que produzem uma substância (neurotransmissor) chamada Dopamina. A falta ou diminuição da disponibilidade da Dopamina é que afeta os movimentos do paciente [6].

A prática sistemática de atividade física, em especial aquelas orientadas por profissionais qualificados, tem efeitos benéficos bem estabelecidos e os pacientes portadores de DP colhem benefícios físicos e psíquicos ao praticar atividades regularmente [7], mesmo sabendo-se que isto não leva ao desaparecimento da enfermidade. Contudo, existem estudos que indicam retardo na progressão da rigidez muscular e da bradicinesia [8] [9]. Além disso, segundo Shankar [10] melhora a sensação de bem-estar e o estado funcional do paciente.

No tratamento não farmacológico da DP [11] preconiza-se atividades de reabilitação com os objetivos de possibilitar a deambulação (caminhar) com segurança, proporcionar autonomia na realização de atividades rotineiras, auxiliar na manutenção da aptidão física, principalmente massa muscular e força, auxiliar na manutenção da aptidão cognitiva, fala e equilíbrio emocional.

A RV é uma ferramenta, com valor reconhecido na reabilitação de pacientes neurológicos, que proporciona interação lúdica, *biofeedback* sensorial [12], torna o tratamento de reabilitação mais eficiente e a sua aplicação em formato de jogo constitui fator de adesão significativo. Nesse contexto, apresentamos e discutimos o desenvolvimento de aplicação no formato de JS para tratamento não farmacológico da DP.

II. REALIDADE VIRTUAL (RV)

O conceito de RV é significativamente abrangente. Acadêmicos, desenvolvedores de software e pesquisadores tendem a defini-lo com base em suas próprias experiências, gerando diversas definições na literatura [13]. 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 [14], um sistema de RV demanda pesquisa e insumos referentes a percepção sensorial, hardware, software, interface com o usuário, fatores humanos e aplicações

A opção de desenvolver aplicativos em ambiente de RV respalda-se na definição proposta por Jacobson [15], Krueger [16] e Burdea [17], na qual RV 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, associada a definição de Cardoso e Lamounier [18], de que RV é uma técnica computacional capaz de oferecer ao usuário um ambiente artificial no qual ele pode interagir, modificar e navegar de forma naturalmente intuitiva e, finalmente, Kirner [19] ao postular que RV e RA representam técnicas de interface computacional que têm em perspectiva o espaço tridimensional, no qual o usuário interage multidimensionalmente através dos sentidos.

Os benefícios da utilização de RV e RA para aplicações nos diversos campos do conhecimento científico são inquestionáveis. Cardoso, Lamounier e Lima [20] 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 [21] a RV 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/espço virtual e isolado do ambiente externo, não como mero observador, mas possibilitando exploração e manipulação natural do ambiente virtual.

O grau de envolvimento é diretamente proporcional a qualidade da interação em ambientes de RV e está relacionada com a capacidade computacional (*Hardware + Software*) em detectar e responder em tempo real às ações que o usuário exerce sobre o ambiente virtual [21]. Por outro lado, a 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) [21].

III. JOGOS SÉRIOS (JS)

JS são jogos computacionais não relacionadas ao entretenimento, principalmente aqueles baseados em ferramentas e ambientes de 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 [4].

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 [22]. Portanto, pode-se dizer que JS são manifestações contemporâneas de teorias e práticas seculares [23].

Bedwell [24] postulou nove características para os JS: 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 história); 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.

A utilização de JS para reabilitação motora foi amplamente investigada em uma série de estudos que avaliaram o uso de videogames e RV no tratamento de pessoas com deficiência motora que sofrem de uma ampla gama de doenças [25][22][20][33]. De acordo com a revisão de Holden [26], o treinamento RV tem uma série de vantagens sobre a reabilitação física convencional. A mesma revisão estabelece que pacientes com deficiências são capazes de adquirir habilidades motoras no ambiente virtual e que as tarefas motoras realizadas no ambiente virtual podem ser transferidas para o mundo real na maioria dos casos, se comparado com a reabilitação convencional.

IV. DOENÇA DE PARKINSON (DP)

A DP é uma doença neurodegenerativa multissistêmica progressiva que afeta as pessoas principalmente nos últimos anos de vida. É a segunda doença neurodegenerativa mais comum em todo o mundo, com incidência e prevalência crescentes, em consequência das mudanças na demografia populacional [27]. A prevalência de DP em países industrializados é geralmente estimada em 0,3% de toda a população e cerca de 1% em pessoas com mais de 60 anos de idade [28]. A prevalência aumenta com o avanço da idade, tanto para homens quanto para mulheres, sem diminuição nas idades mais avançadas [29]. Na Europa, a prevalência entre 85 e 89 anos foi relatada em aproximadamente 3,5% [30].

Os sintomas clínicos da DP são geralmente definidos por distúrbios motores, mas podem ocorrer distúrbios em várias outras funções do sistema nervoso. Os sintomas são geralmente classificados em sintomas motores e não motores, e alguns dos sintomas podem ser provocados ou agravados pelo tratamento farmacológico [31].

A descrição dos componentes da DP pode ser encontrada em documentos muito antigos, Sylvius de la Boë escreveu sobre o tremor de repouso em 1680 e Sauvages descreveu o fenômeno da festinação em 1763 [32]. Muito antes, textos indianos tradicionais de aproximadamente 1000 a.c e fontes chinesas antigas também fornecem descrições que sugerem DP [33]. Entretanto, a primeira descrição médica clara foi

feita em 1817 pelo médico inglês Dr. James Parkinson (1755-1824) em um artigo denominado *An Essay on the Shaking Palsy* [34].

Embora a DP seja um distúrbio neurodegenerativo crônico para o qual existem terapias sintomáticas eficazes, nenhum tratamento foi ainda identificado que retarde significativamente sua progressão natural [6]. Os estudos sobre a história natural da DP têm sido dificultados por questões de precisão diagnóstica, heterogeneidade de diferentes formas da doença e os efeitos de comorbidades relacionadas à idade. Os sintomas não motores têm grande impacto na história natural da DP. Demência, comprometimento do ciclo sono-vigília e falhas autonômicas estiveram presentes em 50–80% dos pacientes em estudos de acompanhamento de longo prazo. A presença de demência e psicose também são importantes entre as complicações evolutivas que resultam em hospitalizações [35].

Estudos em pacientes tratados sugerem que pode haver diferentes taxas de progressão em diferentes fases da doença. Entretanto, medir a progressão dos sintomas motores, no entanto, por si só é insuficiente para descrever a história natural da DP e também pode ser inadequado para definir a modificação clinicamente significativa da doença. Um pré-requisito para intervenções eficazes que modificariam a progressão da doença na DP é a identificação dos primeiros estágios pré-clínicos da doença. Isso agora se tornou uma possibilidade com testes de triagem da função olfatória e subsequente imagem funcional. Indivíduos em risco de DP devem ser o foco futuro de estudos neuroprotetores [35].

A terapia sintomática da DP com estratégias de reposição de dopamina, incluindo L-Dopa ou agonistas dopaminérgicos, está associada a melhora acentuada dos sintomas motores, permitindo que os pacientes busquem atividades diárias para manter a qualidade de vida. Entretanto, tal tratamento não altera significativamente a progressão da degeneração neuronal subjacente a doença. Embora altamente eficaz na redução sintomas motores, o tratamento com L-Dopa induz movimentos involuntários desagradáveis e potencialmente incapacitantes em 30% - 50% dos pacientes após 2 a 5 anos de tratamento [36] [37]. Complicações motoras relacionadas com L-Dopa têm grande impacto negativo na progressão de deficiência na DP. Além disso, a progressão da DP está associada à piora da resposta motora ao uso da L-Dopa, incluindo os distúrbios da marcha e do equilíbrio, a disartria e a disfagia. Após 10 ou mais anos de evolução da doença, a maioria dos pacientes também desenvolvem sintomas não motores para os quais não existem tratamentos eficazes.

Bloem et al [25] realizaram uma meta-análise de estudos e pesquisas publicados desde 2013, que atestam o grande interesse por abordagens terapêuticas não-farmacológicas e o aumento significativo da base de evidências que coloca essa modalidade de tratamento no repertório de opções para o paciente com DP. Contudo, a abordagem do tratamento não farmacológico da DP não está contemplada no “Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas para Doença de Parkinson”, Portaria SAS/MS N° 228, de 10 de maio de 2010. (Republicada em 27.08.10) [38].

Os exercícios físicos têm sido relacionados à melhora de deficiências físicas e cognitivas em pacientes com DP [39]

[40]. Portanto, a prática sistemática de atividade física, em especial aquelas orientadas por profissionais qualificados, tem efeitos benéficos bem estabelecidos e os pacientes portadores da DP colhem benefícios físicos e psíquicos ao praticar atividades físicas regularmente, mesmo sabendo-se que isto não leva ao desaparecimento da enfermidade.

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 [41].

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 RV e passíveis de serem utilizadas no desenvolvimento da aplicação, optou-se pelo UNITY como conjunto de ferramentas para criação de jogos, suporte e comunidade de desenvolvedores e o Blender, programa de código aberto destinado a modelagem, animação, texturização, composição, renderização e edição de vídeos, como arcabouço do projeto.

1) Blender

O Blender é 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 [42].

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# [43]. 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 princípios do Manifesto Ágil [44]. 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.

As Equipe de Desenvolvimento selecionam as atividades a serem implementadas na *Sprint* que se inicia e, 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 o 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 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 relacionados a usabilidade.

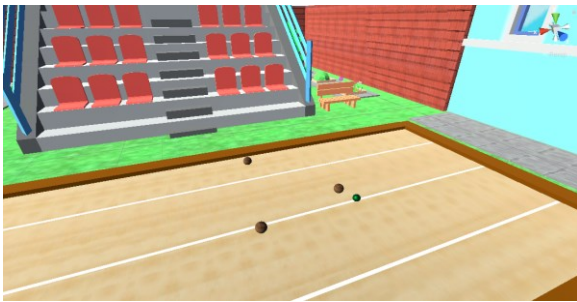
VI. RESULTADOS

O protótipo central gerado para a aplicação dos conceitos abordados é um JS baseado nas regras do jogo de Bocha. A bocha é um esporte praticado entre duas equipes em que cada uma tem direito a lançar uma determinada quantidade de bolas coloridas, denominadas ‘bochas’, e cujo objetivo é posicioná-las o mais perto possível de um bolim (bola menor de cor branca, usada como referência ou alvo), previamente lançado. Na peleja, os adversários tentarão situar suas bochas o mais perto possível do bolim e afastar as bochas dos seus oponentes. No protótipo desenvolvido, o bolim foi definido

com a coloração verde e as bochas com a coloração marrom, como pode ser observado pela Figura 1.

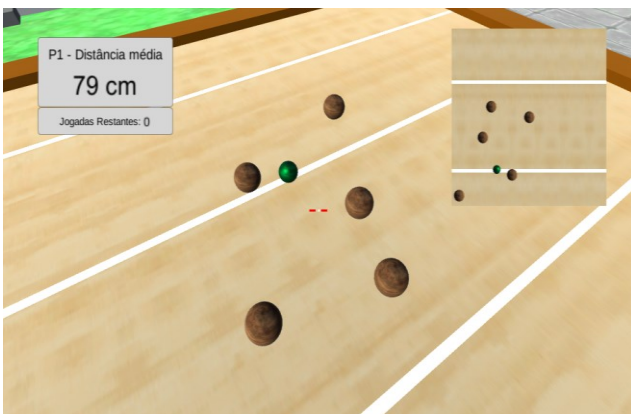
O protótipo adapta o JB ao ambiente de RV com os objetivos de auxiliar na reabilitação do paciente com DP e permitir o acompanhamento, pelo profissional de saúde responsável, do progresso ou evolução do paciente ao longo do tratamento. As informações necessárias a construção de relatórios de desempenho do paciente são elaborados a partir da compilação de dados obtidos através de sensores de movimentos.

Figura 1: Cancha com Bochas e Bolim



A mecânica do protótipo contém os mesmos objetivos do jogo de bocha tradicional, o que torna possível reduzir a curva de aprendizagem àqueles que já estão familiarizados com o jogo base. Entretanto, a contagem da distância entre as bolas é realizada ao final da partida por meio de uma média aritmética das distâncias entre cada bocha e o bolim, tal modificação tem o intuito de simplificar a quantidade de informações presentes na tela. Além disso, uma câmera auxiliar foi programada (com vista superior, direcionada à bocha lançada), para facilitar a visualização da posição final entre a última bocha lançada e o bolim, como mostra a Figura 2.

Figura 2: Indicador da distância média e visão da câmera auxiliar



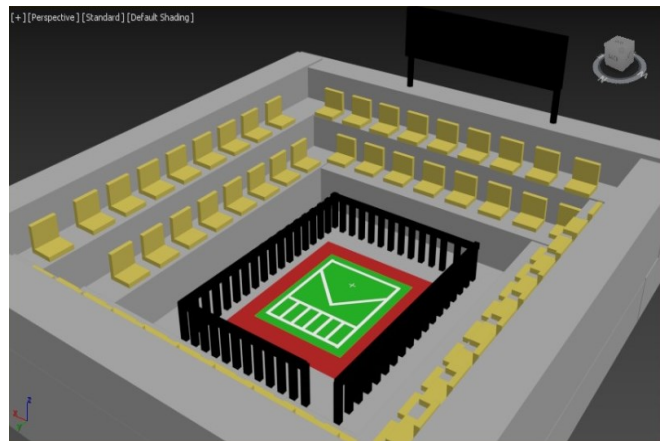
O protótipo contempla diferentes tipos de cenários, com diversos tipos de pisos para as canchas, reforçando o caráter lúdico do ambiente RV. A Figura 3 apresenta o cenário inicial padrão em piso de saibro.

Figura 3: Cenário inicial padrão, piso de saibro



Vale ressaltar que cada tipo de piso tem uma física específica, requerendo ajustes na força e/ou ângulo de arremesso das bochas, cujo objetivo é proporcionar variedade de *gameplay* e nível de dificuldade. A Figura 4 apresenta o cenário de jogo baseado em um cancha com piso de carpete.

Figura 4: Cenário com cancha, piso de carpete



VII. CONCLUSÕES

A quantidade de pesquisas e experiências sobre a utilização da RV para o tratamento não farmacológico da DP ainda é recente, mas se mostra promissor, em função dos avanços da tecnologia e dos benefícios que oferece.

Tendo em vista tornar a análise, diagnóstico e tratamentos mais assertivos à DP, diversas pesquisas desenvolveram processos e instrumentos para entender os sinais cardinais da doença e respectiva evolução. Por outro lado, uma quantidade igualmente relevante de pesquisas, entre as quais perfilamos, pretende oferecer opções ao tratamento não farmacológico aos portadores da DP.

O JS de Bocha em RV caminha na direção de incentivar e motivar pacientes com DP em processo de reabilitação fisioterapêutica ou tratamento não farmacológico. Entretanto, para realizar avaliações práticas, incluindo aspectos relativos a usabilidade, ainda é necessário seguir os passos relativos a experimentação *in anima nobili*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Iniciação Científica da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Extensão da Universidade de Uberaba (UNIUBE), ao Programa de Mestrado da Faculdade de

Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- [1] H.A.D. Nascimento, *Visualização de Informações – Uma Abordagem Prática*, Campus, Rio de Janeiro, 2012.
- [2] J.N. Latta, D.J. Oberg, A conceptual virtual reality model, *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp. 23-29, Jan. 1994.
- [3] A.G. Rabelo et al, *Uso da Realidade Virtual no Tratamento de Sintomas Motores da Doença de Parkinson: uma revisão sistemática*. XI Simpósio de Engenharia Biomédica – SEB 2018
- [4] 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, M.S.; C. Kirner, (Org.), *Abordagens práticas de realidade virtual e aumentada*. Sociedade Brasileira de Computação, 1 ed., v. 1, p. 31-60, Porto Alegre (RS): 2009.
- [5] J.C. Boque et al. "Virtual Reality Tool for Rehabilitation of Patients with Parkinson's Disease: A Conceptual Design Review." *Novelties in Intelligent Digital Systems*. IOS Press, 2021. 55-62.
- [6] J. Jankovic, J., A.S. Kapadia, Functional decline in Parkinson disease, *Archives of neurology*, 58(10), 1611-1615, 2001.
- [7] L.M. Shulman, et al, Randomized clinical trial of 3 types of physical exercise for patients with Parkinson disease, *JAMA Neurol*, 70, 183–191, 2013.
- [8] R. Hauser, T. Zesiewicz, *A doença de Parkinson: perguntas e respostas*, Novartis, São Paulo, 2001
- [9] K. Kuroda, K. Tataru, T. Taaktogire, Effect of physical exercise on mortality in patients with Parkinson's disease. *Acta Neurol Scand* 1992;86(1)55-59, 1992.
- [10] K. Shankar, *Prescrição de Exercícios*. Guanabara, Rio de Janeiro, 2002.
- [11] J. Cholewa, M. Kunicki, J. Cholewa, "Physical Activity of People with Parkinson's Disease with Regard to Participation in Rehabilitation Program." *American Journal of Clinical Neurology and Neurosurgery* 1.3: 159-163, 2015.
- [12] J.D. Westwood, et al, "A new project for rehabilitation and psychomotor disease analysis with virtual reality support", *Medicine Meets Virtual Reality: Art, Science, Technology: Healthcare (r) evolution*, v. 50, pp. 180, 1998.
- [13] 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. Número I, Brasil, Mar. 2002.
- [14] G. Bishop, et al. Research directions in VR environments, *Computer Graphics – ACM*, 26(3):153-177, Aug, 1992.
- [15] L. Jacobson, Virtual reality: A status report, *AI Expert*, pp. 26–33, August, 1991.
- [16] M.W. Krueger, *Artificial reality II*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1991.
- [17] G. Burdea, P. Coiffet, *Virtual reality technology*, John Wiley & Sons, New York, N.Y., 1994.
- [18] A. Cardoso, E. Lamounier, A realidade virtual na educação e treinamento, in: R. Tori, C. Kerner, R. Siscouto, *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. SBC, p. 304–312, Belém, 2006.
- [19] C. Kirner, T.G. Kirner, Evolução e tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. In M. W. de S. Ribeiro, E. R. Zorzal, EDS. *Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências*. XIII Symposium on Virtual and Augmented Reality. Sociedade Brasileira de Computação – SBC, pp. 8-23, Uberlândia, 2011.
- [20] A. Cardoso, E. Lamounier, G.F.M. Lima, Engenharías, in: R. Tori, M. da S. Hounsell, organizadores. *Introdução a realidade virtual aumentada*. SBC, p. 288-315, Porto Alegre (RS), 2018.
- [21] G.P. Rodrigues, C de M. Porto, Realidade Virtual: Conceitos, Evolução, Dispositivos e Aplicações. *Interfaces Científicas – Educação*, V.01, N.03. pp. 97-109, Aracaju, jun. 2013.
- [22] F. Laamarti, M. Eid, A. El Saddik, An overview of serious games. *International Journal of Computer Games Technology*. Article ID 358152, vol. 2014, 1–15, 2014, Available on the internet: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/358152>
- [23] 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.
- [24] 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):729-760, 2012.
- [25] B.R. Bloem, N.M de Vries, G. Ebersbach, Nonpharmacological treatments for patients with Parkinson's disease, *Mov. Disord*. 30, 1504–1520, 2015.
- [26] M.K. Holden, Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav*, 8(3):187–211; discussion 212–189, 2005
- [27] T. Pringsheim, N. Jette, A. Frolkis, T.D.L. Steeves, T. D. L., The prevalence of Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Mov. Disord*. 29, 1583–1590. 2014, doi: 10.1002/mds.25945
- [28] L. De Lau, M. Bretler, Epidemiology of Parkinson's disease. *Lancet Neurol.*, 5(1):525–35, 2005.
- [29] M.C. De Ruk, M.M.B. Breteler, J.H De Breeijen, et al. Dietary Antioxidants and Parkinson Disease: The Rotterdam Study. *Arch Neurol*, 54(6):762–765, 1997. doi:10.1001/archneur.1997.00550180070015
- [30] C. Clarke, A.P. MOORE, Parkinson's disease. *Clin Evid*, 13:1-4, 2005.
- [31] B.S. Connolly, A.E. Lang. "Pharmacological treatment of Parkinson disease: a review", *Jama* 311.16: 1670-1683, 2014.
- [32] K.L.A. Tyler, A history of Parkinson's disease. In: W.C. Koller, ed. *Handbook of Parkinson's Disease*. Marcel Dekker, Inc, 1–34, New York, NY, 1992.
- [33] Z.-X. Zhang, Z.-H. Dong, G.C. Román, Early descriptions of Parkinson disease in ancient China. *Arch*.

- Neurol.* 63, 782–784, 2006. doi: 10.1001/archneur.63.5.782
- [34] J. Parkinson, "An essay on the shaking palsy", *The Journal of neuropsychiatry and clinical neurosciences* 14.2: 223-236. 2002.
- [35] W. Poewe, The natural history of Parkinson's disease. *Journal of Neurology* 253, vii2–vii6 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00415-006-7002-7>
- [36] W. Poewe, F. Gerstenbrand, Clinical subtypes of Parkinson disease. *Wiener Medizinische Wochenschrift* (1946). 136(15-16):384-387. PMID: 3788189, Aug.1986.
- [37] A. Schrag, Y. Ben-Shlomo, N.P. Quinn, Cross sectional prevalence survey of idiopathic Parkinson's disease and Parkinsonism in London. *BMJ* 321, 21–22, 2000.
- [38] E. Paulo, et al. "Doença de Parkinson-Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas-Portaria SAS/MS no 228, de 10 de maio de 2010." Republicada em 27.10.
- [39] C.L. Tomlinson, S. Patel, C. Meek, C.E. Clarke, R. Stowe, L. Shah et al, Physiotherapy versus placebo or no intervention in Parkinson's disease. *Cochrane Database Syst Rev*, 7:CD002817, 2012.
- [40] N.M. Van Der Kolk, L.A. King, Effects of exercise on mobility in people with Parkinson's disease. *Mov Disord*, 28, 1587–1596, 2013.
- [41] M.L. Despa, "Comparative study on software development methodologies." *Database Systems Journal* 5.3: 37-56, 2014.
- [42] L.R. Franco, E. Raiman, *Tecnologia Blender Aplicada ao Ensino da Física*. Instituto Federal de Goiás – Campus Jataí, 2010.
- [43] UNITY. *Unity Game Engine*. Disponível em: <https://unity3d.com/pt>. Acesso em dezembro de 2016.
- [44] M. Fowler, J. Highsmith, J. "The Agile Manifesto," *Software Development*, pp. 28-32, Aug. 2001.