

Protótipo em Realidade Virtual, Visando Reconhecer a Movimentação do Paciente Para Prestar Auxílio a Fisioterapia Aplicada no Tratamento de AVC

Eduardo S. Anzolin¹, Évelin Vicente², Giácomo A. Bolan¹

¹Curso de Ciência da computação – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Criciúma – SC – Brasil

²Curso de Fisioterapia– Universidade Do Extremo Sul Catarinense (UNESC)

Criciúma – SC – Brasil

eduardospillereanzolin@gmail.com.br, eve@unesc.net,
kinhobolan@live.com

Abstract. *The stroke is a recurrent health problem, which leaves sequelae which can occur throughout the body, but are more persistent in the upper limbs, to recover the movement its necessary to perform physiotherapy, a long treatment, often boring and tiring, thus this project aims at prototyping a low cost process of gamification, which together with virtual reality technology, seeks to capture the patient's movements using the Posenet API and transfers them to the computer, where it moves a 3D model, developed with the help of Unity 3d, which receives instructions from the patient undergoing treatment through the Wiimote Controller.*

Resumo. *O acidente vascular cerebral, é um problema de saúde recorrente, que deixa sequelas ao qual podem ocorrer em todo o corpo, porém se tornam mais persistentes nos membros superiores, para recuperar a movimentação é preciso realizar fisioterapia, um tratamento longo, muitas vezes maçante e cansativo, desta forma este projeto visa a prototipação de baixo custo de um processo de gamificação, que juntamente com a tecnologia de realidade virtual busca a captura das movimentações do paciente, utilizando-se da API de Posenet e as transfere para o computador, onde realiza a movimentação de um modelo 3D, desenvolvido com auxílio da Unity 3d, que recebe instruções do paciente em tratamento por meio do Wiimote Controller.*

1. Introdução

O acidente vascular cerebral (AVC) é o distúrbio neurológico mais frequente no mundo, sendo considerado um distúrbio simples, representa a terceira causa de morte em todo o globo, desta forma é considerado o principal problema de saúde que apresenta sequelas de diferentes intensidades, causando grande incapacidade motora a longo prazo. “No AVC, os déficits motores aparecerão no hemisfério contralateral ao hemisfério cerebral afetado, repercutindo na sequela mais frequente denominada hemiparesia ou hemiplegia”

[Medeiros Soares et al. 2018] “que pode alterar a motricidade dos membros inferiores e superiores” [Medeiros Soares et al. 2018].

Pacientes acometidos necessitam realizar fisioterapia, visando melhorar a mobilidade dos membros superiores e inferiores, esta obrigatoriedade acaba tornando a realização da fisioterapia repetitiva e desmotivante para muitos pacientes, podendo repercutir diretamente na qualidade de vida do paciente acometido sendo constatado que “apenas 50% dos pacientes após AVC recuperam independência e controle motor na função da extremidade superior e persistem com déficits após seis meses” [Soares et al. 2017]

Pretendendo solucionar o problema proposto pelo trabalho, outros acadêmicos realizaram estudos referentes a assuntos similares, dentre eles, um projeto foi desenvolvido por [Paratella 2011] onde os objetivos foram utilizar-se do Nintendo Wii em pacientes acometidos com AVC, e realizar análises referentes as melhoras esboçadas pelos mesmos para solucionar o problema encontrado, foi utilizado o console Nintendo Wii como um todo, e os jogos já disponíveis na plataforma, o que pode contribuir no tratamento de algumas patologias como a marcha. Os testes foram realizados no laboratório de habilidades clínicas da clínica de Fisioterapia da Universidade do extremo sul catarinense – UNESC, contando com a participação de dois pacientes com Acidente Vascular Encefálico (AVE), como resultados da pesquisa observou-se a evolução dos pacientes no tratamento, concluindo que os mesmos esboçaram melhoras após a aplicação da técnica com videogame, concluindo a possibilidade de ser utilizado como uma técnica de terapia complementar.

Outro projeto foi desenvolvido por [Victor e Santos 2013] referente a um estudo sobre o alto índice de desistência por diversos fatores das sessões de fisioterapias de pacientes acometidos com escoliose. Desta forma incitando cada vez mais o uso de ambientes virtuais aplicados no tratamento de diversos problemas, o objetivo do trabalho foi desenvolver um jogo utilizando o sensor Kinect mapeando a posição dos pacientes, criando um feedback visual da movimentação, auxiliando o mesmo nas posições corretas propostas pelo jogo, visando contribuir na recuperação das patologias, como resultado obteve-se a prototipação desenvolvida e testada por fisioterapeutas em pacientes reais, o que pode validar o desenvolvimento.

Em contrapartida aos projetos citados anteriormente, [Baluz et al. 2020] desenvolveu um protótipo capaz de realizar a amenização do processo de fisioterapia de pacientes de AVC, neste projeto utilizou da biblioteca Posenet presente no Tensorflow disponibilizada pela equipe do Google Brain, para detecção da posição do paciente, assim como foram desenvolvidos amplos sistemas de armazenamento de informações referentes aos pacientes e fisioterapeutas, para concluir a pesquisa um voluntário não paciente, realizou o teste da plataforma desenvolvida, bem como da captação da movimentação, onde foi constatado a execução de maneira coesa e agradável, os diversos modelos de aplicabilidade a fisioterapia chamaram atenção do voluntário.

Considerando os levantamentos anteriores, referentes ao AVC, almejou desenvolver-se um protótipo em realidade virtual, utilizando do dispositivo Wiimote Controller, e uma API de Posenet disponível em formato Open Source, segundo [Google 2020] é responsável por utilizar um modelo ML para estimar a pose de uma pessoa a partir de uma imagem ou vídeo, estimando as principais articulações do corpo, sendo assim visa capturar a movimentação do paciente frente ao dispositivo. Juntamente

utilizou-se dos conceitos de gamificação, bem como dos métodos de fisioterapia dentre eles a Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP), pretendendo-se alcançar os seguintes objetivos, Realizar o processo de integração do Wiimote Controller e de APIs de desenvolvimento disponíveis; Empregar os conceitos de gamificação para construção do protótipo; Aplicar os conceitos de realidade virtual na composição da gamificação; Identificar os métodos empregados na recuperação da mobilidade motora superior utilizados em casos de AVC; Demonstrar a integração entre o Wiimote controller e o motor Unity 3d visando a construção do protótipo.

Nos trabalhos correlatos apresentados, observou-se que muitos utilizam do dispositivo Kinect desenvolvido pela Microsoft para realizar a captura da movimentação, o que apresenta um custo adicional ao desenvolvimento e aplicação do protótipo, que utiliza do Posenet para realizar tal captura, sendo necessário apenas uma câmera tradicional, que apenas realiza a captura das imagens, e envia para o processamento da detecção de pose externamente, realizando a tarefa sem necessidade de hardwares adicionais.

2. Materiais e Métodos

Percebendo-se que pacientes acometidos com AVC em muitos casos permanecem com sequelas na movimentação e na cognição, “apenas 50% dos pacientes após AVC recuperam independência e controle motor na função da extremidade superior e persistem com déficits após seis meses”[Soares et al. 2017]. Baseando-se nas técnicas de gamificação, em conjunto com a tecnologia de realidade virtual, “termo realidade virtual (RV) foi criado para definir os mundos virtuais desenvolvidos com o uso de alta tecnologia para convencer o usuário que ele se encontra em outra realidade”.[Monteiro Frasson e Zanchet José 2003]. Neste protótipo a (RV) constituiu na empregabilidade da captura de movimentações do paciente, que visou o espelhamento desta captura em um modelo tridimensional, de tal maneira realiza interações cognitivas e motoras com o jogo, podendo tornar o processo de fisioterapia mais lúdico e leve, além de realizar estímulos do processamento cognitivo do paciente, logo permitir a prática de realização de dupla tarefa.

Esta pesquisa caracteriza-se como sua natureza uma pesquisa aplicada ou tecnológica, logo é finalizada com o desenvolvimento de um protótipo, cujo a finalidade e a melhoria da qualidade de vida dos indivíduos. Esta pesquisa de caráter exploratório teve como início a busca por conhecimentos relacionados ao desenvolvimento de jogos, realizado por meio de um levantamento bibliográfico, assim como das técnicas de gamificação e outros conhecimentos da área tecnológica, bem como foram levantados alguns conceitos relacionados ao tratamento empregado a pacientes que sofreram AVC. Com os conhecimentos adquiridos, foi iniciado o desenvolvimento do protótipo, começando com a integração entre hardware e software, e posteriormente avançando para parte da gamificação, com o desenvolvimento do jogo. Os resultados foram obtidos de maneira qualitativa, isto é, explanando sobre o desempenho que o protótipo pode alcançar, assim como as possibilidades de utilização do mesmo, da mesma forma foram abordadas possibilidades de melhorias futuras e outras empregabilidades possíveis.

Em uma visão geral, o que foi desenvolvido pode ser visualizado na Figura 1 o protótipo, constitui-se em uma API de Posenet disponível na plataforma Git Hub, que realiza a interação com o usuário capturando a movimentação em tempo real, esta API por sua vez se conecta via tecnologia de socket com um servidor desenvolvido em Node

js, que realiza o envio de informações para o jogo desenvolvido dentro da Unity 3d, que se conecta com um servidor também via socket, desta forma ocorre a troca de informações entre a API de captação de movimentos e o protótipo, posteriormente ocorrem as tratativas e o espelhamento das leituras dentro do jogo, em paralelo é realizada a comunicação do Wiimote Controller com a sua API de desenvolvimento disponível para Unity 3d via Bluetooth, visando realizar o controle do modo de jogo. Ainda seguindo em paralelo, foi desenvolvida uma API Rest de persistência, utilizando a tecnologia Dotnet core, que por sua vez fica disponível para que o jogo possa realizar as persistências necessárias em um banco de dados, assim como permite a expansão do jogo para outras plataformas.

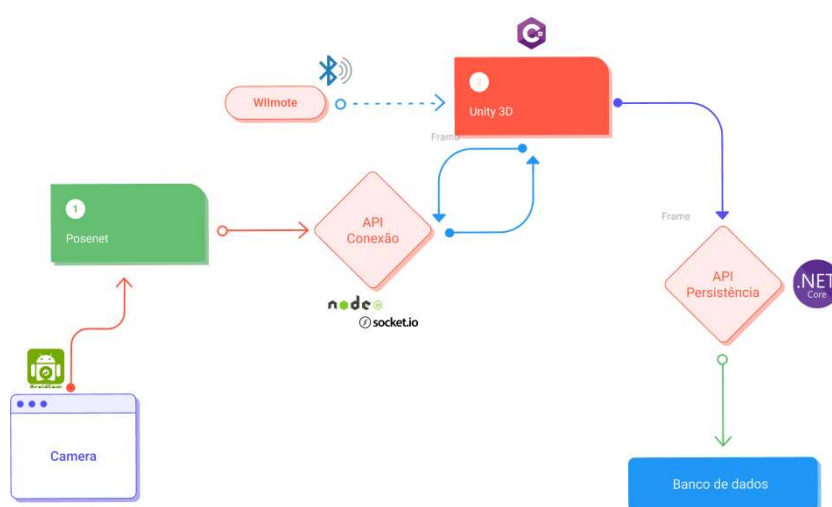


Figura 1. Diagrama geral de execução do protótipo

Fonte: Do autor (2020)

2.1. Captura de Movimentos

A principal fonte de dados de entrada para o jogo, é a estimativa de pose calculada pela API Posenet presente no Tensorflow, segundo [Baluz et al. 2020] constitui-se em uma biblioteca de aprendizado de máquina compatível com uma variedade de aplicações, com foco na visão computacional, robótica entre outros, para realizar tal captura se fez necessário o uso de uma câmera ligada ao computador e de um navegador. Durante o desenvolvimento e testes utilizou-se um smartphone Samsung J7 Prime, juntamente com o aplicativo Droidcam, que permite a utilização do celular como câmera via wireless.

A API Posenet realiza a leitura da câmera montando a representação de um esqueleto sobre a imagem do usuário em tempo real, este esqueleto é desenhado na tela com base em cálculos que retornam os pontos x e y estimando as principais articulações do corpo, o que pode determinar a pose do usuário frente ao computador, conforme [Baluz et al. 2020] o Posenet é implementado em Javascript permitindo que o rastreo seja realizado com o auxílio de um navegador e uma câmera. Os dados retornados pela API estão representados na Figura 2. Na Tabela da esquerda é possível ver o id que representa a posição de cada músculo no array retornado, na imagem da direita vemos as

2.2. Normalização das Informações

O envio das informações lidas pela API de pose, foi realizado em tempo real, de tal maneira existia uma imprecisão dos movimentos, chamados internamente de movimentos mortos estes dados foram filtrados baseando-se na pontuação definida pela própria API, assim como com a realização da aplicação de normalização aos dados, visando reduzir o número encontrado utilizando-se de divisões sucessivas o que reduz o número, e a quantidade de casas decimais, logo tornando o mais preciso e confiável para realização de movimentações mais suaves no personagem tridimensional.

Para definir a posição do membro, utilizou-se do cálculo do coeficiente angular da reta, como as saídas da API são sempre os pontos cardinais x e y de cada extremidade do esqueleto representados na Figura 3, apresentada anteriormente neste artigo, estes valores são aplicados na fórmula do coeficiente angular da reta cujo retorno é o ângulo de inclinação de determinado nervo, representado pelo segmento de reta. “Para representarmos uma reta não vertical em um plano cartesiano é preciso ter no mínimo dois pontos pertencentes a ela. Desse modo, considere uma reta s que passa pelos pontos $A(XA, YA)$ e $B(XB, YB)$ e possui um ângulo de inclinação com o eixo OX igual a α ” [Silva 2020]. Abaixo pode-se observar a equação do coeficiente angular.

$$tga = (YB - YA)/(XB - XA)$$

Com o coeficiente angular da reta, foi possível obter o ângulo de inclinação do membro, em um plano bidimensional, porém para realizar o movimento necessário, o braço precisa cruzar o corpo dobrando o cotovelo, foi necessário realizar um controle interno, conforme o membro, se aproximava da posição desejada precisa ser levado para frente, anatomicamente falando, ou seja aproximadamente 90 graus com relação ao corpo do paciente, desta maneira estimamos o ponto z que define a profundidade da movimentação. A estimativa utilizada para determinar a quantidade de inclinação se deu baseada na posição do indicador de finalização de tarefa presente no modo de jogo, e apresentado no item 2.4 deste artigo.

2.3. Entradas do Usuário

A realização das atividades propostas pelo jogo, se dão baseadas no uso do controlador desenvolvido pela Nintendo, Wiimote Controller, utilizado apenas para realizar a seleção dos objetos em cena, assim como as confirmações de seleções, dentro do modelo de gamificação desenvolvida e apresentada no item 2.4.

A integração do Wiimote com a Unity 3d se deu utilizando uma API de desenvolvimento chamada Unity-wiimote, disponível na plataforma de versionamento de código da Microsoft Git Hub, de acordo com [Biagioli 2016] esta API é uma interface de fácil utilização entre a Unity 3d e o Wiimote Controller, ela foi desenvolvida utilizando a biblioteca HIDAPI implementando a comunicação via Bluetooth de baixo nível, que é utilizada pelo controle.

A instalação da API se deu com a inclusão de um asset, conjunto de pacotes com modelos e configurações prontas para consumo, utilizado pela Unity 3d, com a pretensão de facilitar o desenvolvimento. O nome da biblioteca encontrada é Unity-

Wimote.unitypackage, que está protegido sob o código de licença do Instituto de tecnologia de Massachusetts (MIT), permitindo a sua utilização em projetos de maneira gratuita, e a realização de alterações caso exista necessidade.

2.4. Gamificação Desenvolvida

A definição que [Werbach e Hunter 2012] traz de gamificação, é que significa utilizar-se de elementos de jogos, e técnicas de design de jogos em contextos não relacionados a jogos. Na Figura 4 pode-se observar a correlação que a gamificação do inglês gamification, faz com os outros termos adjacentes utilizados no desenvolvimento de jogos, a correlação que cada um realiza com o jogador, demonstrando desde a interação do jogador com o jogo, que está dividido em duas partes, sendo eles, jogo sério do inglês serious game e gamificação.



Figura 4. Relação gamificação e termos

Fonte: Deterding et al. (2011)

Utilizando os conceitos de gamificação, desenvolveu-se um modo de jogo, que visa a movimentação do braço direito do paciente acometido, assim como o estímulo de sua cognição, inicialmente é preciso selecionar a bola com a cor indicada na legenda, logo o usuário precisa utilizar da leitura e da capacidade de identificar a cor correta, após encontrar a cor correta deve selecioná-la, neste momento a movimentação do braço começa a ser rastreada e então o paciente, precisa levar o braço até o local indicado por um alvo vermelho, quando o braço estiver na posição correta a cor do alvo é trocada para verde, então o usuário pode confirmar a execução da movimentação, posteriormente a bola é adicionada a legenda das bolas já finalizadas presente na lateral esquerda da tela, realizando o movimento aproximado do tratamento de FNP, nas Figuras 5, 6 e 7 é possível observar todas as etapas necessárias durante a execução de uma sessão.

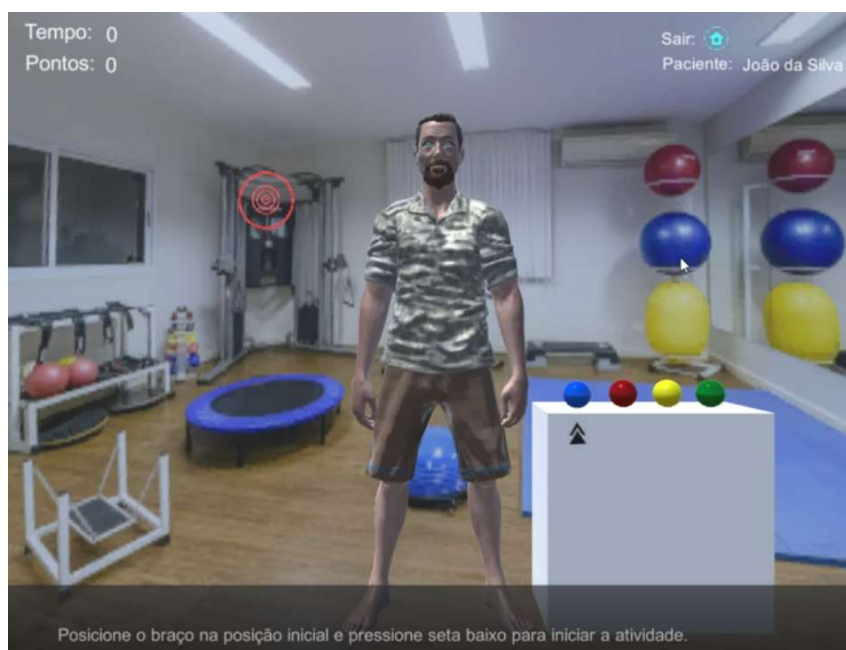


Figura 5. Solicitação de seleção de bola

Fonte: Do autor (2020)

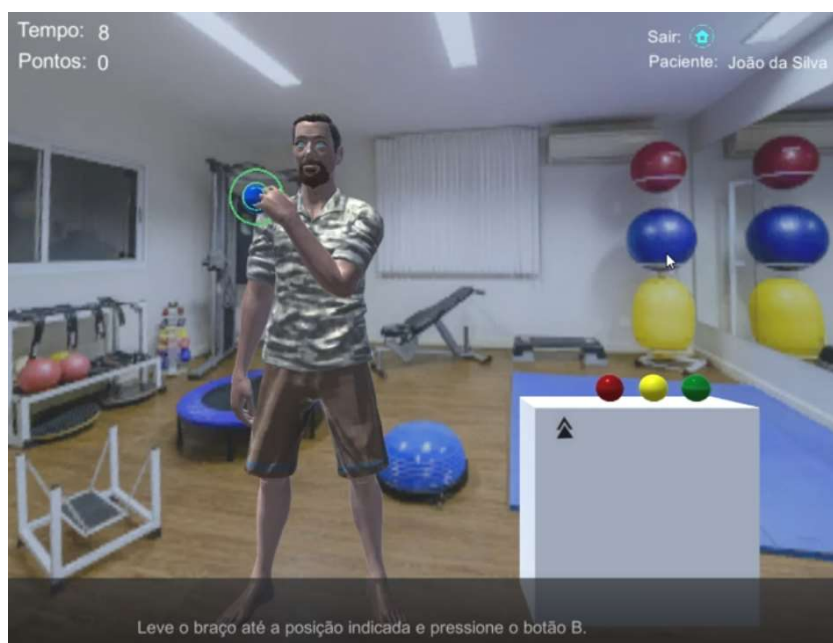


Figura 6. Confirmação de movimentação correta

Fonte: Do autor (2020)

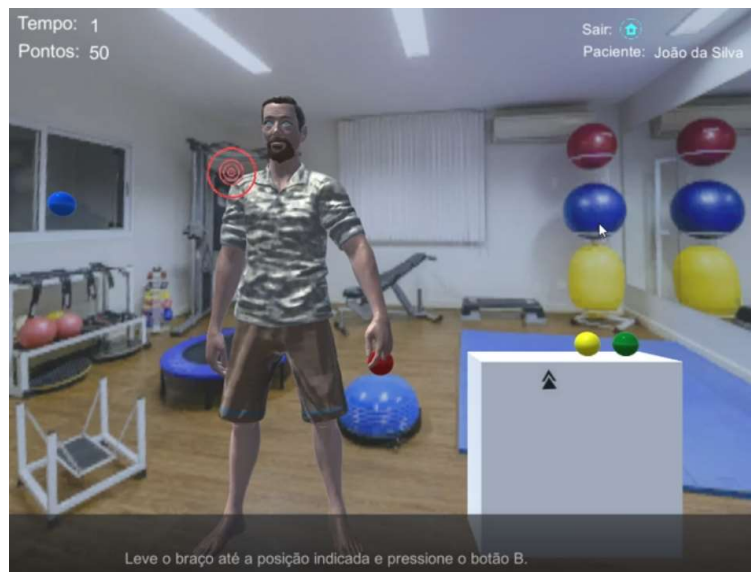


Figura 7. Início da segunda sessão

Fonte: Do autor (2020)

Segundo [Emilio et al. 2017] a atividade engloba ativação, alongamento e fortalecimento, uma das suas indicações é realizar a melhora da elasticidade dos músculos, demonstrando um ganho sobre a amplitude ativa e passiva dos movimentos efetuados pelos pacientes. Durante a prática desta movimentação é contabilizado o tempo que o paciente levou para completar a ação gerando assim uma escala de pontos, que realiza o estímulo da competitividade para o paciente, que ao se entreter com o jogo, tentará melhorar cada vez mais a precisão e a velocidade da movimentação, os pontos são calculados conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Escala de pontuações vigentes no jogo desenvolvido

Tempo	Pontuação
Até 5 Segundos	100 Pontos
Até 10 Segundos	50 Pontos
Até 20 Segundos	25 Pontos
Até 30 Segundos	1 Ponto

2.5. Armazenamento de Dados

Armazenar os dados significa guardá-los de alguma forma na mídia de um computador, neste caso de um servidor visando transformá-los em informações úteis ao paciente e ao fisioterapeuta. Neste protótipo é realizado o armazenamento dos dados do fisioterapeuta, e paciente, visando registrar a quantidade e o desempenho do paciente no jogo, desta forma permite a visualização do desempenho das sessões realizadas na tela inicial do jogo por meio do menu principal, posteriormente seria possível o desenvolvimento de

aplicativos, assim como a integração dos dados com sistemas de ERP voltados para área da fisioterapia.

Para realizar a persistência de dados, desenvolveu-se uma API de mapeamento de banco de dados, utilizando-se do design pattern de repositórios, esta API foi desenvolvida utilizando a tecnologia Dotnet Core da Microsoft, conectando-se ao banco de dados Postgres Sql. “O PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados objeto-relacional (SGB-DOR) baseado no POSTGRES Versão 4.2, desenvolvido pelo Departamento de Ciência da Computação da Universidade da Califórnia em Berkeley” [Politowski e Maran 2014]. A Unity 3d realiza requisições para API rest que por sua vez realiza as inserções, atualizações ou seleções de dados no banco de dados.

2.6. Custos de Produção

Durante o desenvolvimento e reprodução da aplicação apresentada neste artigo, se fez necessário o uso de alguns equipamentos de hardware, representados na Tabela 02. Com relação aos softwares mencionados, todos possuem versões educacionais, dentre as API's todas estão disponíveis no Git Hub sob licença que permita a utilização e até alteração, ou foram desenvolvidas do zero.

Tabela 2. Listagem de hardware necessário para reprodução

Descrição	Custo
Wiiote Controller	R\$ 120,00
Adaptador Dongle	R\$ 20,00
Smartphone, ou câmera	x
Computador	x

3. Resultados e Discussões

Apresentar um protótipo utilizável por uma pessoa debilitada, é um grande desafio, por conta das dificuldades motoras aplicadas pelo paciente, ou seja foi preciso desenvolver uma interface, simples e aplicar uma padronização na entrada de dados, do mesmo modo como nas saídas de informações, segundo [Werbach e Hunter 2012], a técnica de design de jogos busca realizar o processo de planejamento da maneira que a gamificação irá ocorrer, na estratégia utilizada para que a experiência prenda o usuário, ou então quando a gamificação é aplicada em um contexto que não é um jogo, na maioria das vezes sites, ou sistemas utilizando estas técnicas para manter o usuário entretido, outra questão são as tecnologias empregadas que precisam ser simples e de fácil acesso, logo não possuem grande precisão.

Em divergência a literatura relacionada, utilizar-se do Posenet como meio de captura de movimentações e não do dispositivo Kinect associado a uma de suas bibliotecas, teve como consequência uma alta taxa de imprecisão nas leituras realizadas, o que obriga a realizar-se a redução da escala dos dados lidos, como a utilização de ferramentas da linguagem de programação que visam normalizar o número, como a biblioteca round presente no C#, desta forma julga-se aceitável a precisão obtida para

movimentação realista do personagem tridimensional. Porém ainda com a normalização dos dados, imprecisões ocorrem, principalmente quando o ângulo de inclinação do membro, representado matematicamente pelo coeficiente angular da reta, resulta em valores que se aproximam de 90 graus.

Outra característica presente neste protótipo, é a alta demanda de comunicação em tempo real das informações recebidas pela API de Posenet e a Unity 3d, como já mencionado o desenvolvimento se deu utilizando a biblioteca socket.io presente no node.js, que permite a comunicação em tempo real de cliente e servidor, desta forma a velocidade de leitura e envio dos dados ocorreu de maneira rápida, confiável e estável não prejudicando a taxa de frames por segundo (FPS) do jogo, nem transpassando ao usuário atrasos na movimentação, tendo em mente que as imprecisões relatadas ocorrem por conta do uso dos dados na Unity 3D. A precisão de leitura da API de Posenet pode ser considerada satisfatória observando-se a movimentação do esqueleto que se assemelha com a do paciente.

Dentre os trabalhos correlatos que realizaram a captura da movimentação dos pacientes para realizar alguma iteração, o trabalho desenvolvido por [Victor e Santos 2013] que constitui-se na utilização do Kinect para realizar tal captura, entende-se com o desenvolvimento deste trabalho que a utilização de uma câmera tradicional, aumentou a dificuldade de desenvolvimento, pois o Kinect é constituído principalmente de um projetor de infravermelho com duas câmeras que realizam a captura da movimentação lateral e a profundidade dos movimentos. Como explicado anteriormente a captura da profundidade não é realizada pela câmera tradicional, obrigando-nos a desenvolver manualmente um sistema de escala para determinar a posição no eixo z, baseando-se nas possibilidades motoras do corpo, em contrapartida entende-se como vantajoso a redução de custos que a utilização da API de Posenet traz ao protótipo, sendo necessário apenas um computador com webcam e o Wiimote para execução do mesmo.

A comunicação com o controlador Wiimote, foi realizada pela biblioteca unity-wiimote, como já relatado, esta biblioteca utiliza da tecnologia de Bluetooth. para realizar a comunicação da Unity 3d com o controlador, a conexão realizada para o experimento do protótipo se deu em ambiente Windows, onde apresentou algumas instabilidades e até perda de conexão em alguns momentos, sendo necessário realizar a reconexão por completo do mesmo, após as reconexões o controlador costuma voltar a funcionar normalmente. Estas instabilidades também foram relatadas por [Malfatti et al. 2011], segundo o artigo apesar da facilidade de conexão, foram encontrados alguns problemas de comunicação entre o Windows e o Wiimote, sendo assim foi recomendado o uso de outros softwares para conexão via Bluetooth, como o Blue Soil.

Dentre todos os trabalhos correlacionados, o que mais se aproxima do protótipo desenvolvido, é o [Baluz et al. 2020] que desenvolveu um jogo utilizando a API Posenet visando auxiliar na prática de fisioterapia de pacientes que sofreram AVC, porém este protótipo permite a realização das atividades de forma remota, gerenciada pelo próprio sistema, onde o fisioterapeuta é capaz de cadastrar as atividades e o paciente reproduzir, tudo sendo gerenciado pela plataforma.

Dentre todas as características apresentadas, referentes ao protótipo desenvolvido acredita-se, que o mesmo possa ser aplicado, na prática sempre com um profissional de fisioterapia qualificado presente para auxiliar, de tal forma que o mesmo possa ser aplicado com os objetivos de tornar a realização da fisioterapia mais lúdica divertida, e

menos maçante, além de estimular o raciocínio de maneira leve, identificando cores e realizando seleções baseadas em instruções claras e objetivas.

4. Conclusão

Conforme mencionado o AVC consiste em uma patologia muito recorrente, esta enfermidade considerada comum, apresenta uma recuperação agressiva e lenta, na grande maioria dos casos deixa sequelas graves de diferentes intensidades. Desta forma exige que o paciente realize diversas sessões de fisioterapia, voltadas para recuperação da movimentação dos membros superiores e inferiores. muitas vezes a recuperação dos membros superiores possui uma curva de recuperação mais longa, e com baixo feedback ao paciente, o que contribui para possíveis desistências do tratamento.

Portanto conforme os levantamentos bibliográficos realizados, se torna cada vez mais relevante o desenvolvimento que visa tornar a fisioterapia mais lúdica e interessante, com possibilidade de menor chance de desistência, principalmente com o avanço das tecnologias envolvidas, que permitem o desenvolvimento de protótipos com alta precisão e baixo custo.

Desta forma as ferramentas utilizadas durante a construção, se demonstraram em partes satisfatórias, conforme observado em testes locais as variadas API'S desenvolvidas se comunicam de maneira estável, sendo assim acredita-se que o desempenho da aplicação construída é aceitável para um protótipo, desta maneira considera-se que seja possível a realização das atividades de descontração e fisioterapia baseadas na movimentação do paciente de maneira adequada para uma pessoa com dificuldades motora e cognitivas.

Por fim, com todos os atributos conectados e sendo executados de maneira coesa com precisão e velocidade aceitável, entende-se que o protótipo obtido é condizente com a proposta submetida inicialmente, assim como cumpre todos os objetivos estabelecidos, principalmente relacionados a ludificação podendo tornar a fisioterapia dos membros menos maçante, e mais atrativa ao paciente, sempre focando cada vez mais na utilização do uso da tecnologia para auxílio e avanço da humanidade.

Com os termos pesquisados e o protótipo desenvolvido nesta pesquisa, acredita-se que as seguintes sugestões são validas para trabalhos futuros baseados nesta pesquisa como, desenvolver ou melhorar a API de captura de movimentações em tempo real, utilizando a biblioteca Tensorflow, expandir a captura dos movimentos para demais músculos, permitindo a aplicação de fisioterapia nos demais membros, expandir o modo de jogo logo como aplicar um sistema de dificuldades, e mais controles ao jogo, aplicar testes em pacientes reais com auxílio de fisioterapeutas, visando validar o protótipo desenvolvido.

Referências

- Baluz, R. A. R. S., Fontenele, J. E. da S., Teles, A. S., et al. (2020). Um jogo sério baseado em gestos para a reabilitação motora de membros superiores. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11, p. e2569119896.
- Emilio, M. M., Campos, S. A. R., Raimundo, K. C. and Souza, L. A. P. S. De (2017). Irradiação como princípio da FNP em pacientes hemiparéticos pós AVE, análise funcional e eletromiográfica: estudo piloto. *ConScientiae Saúde*, v. 16, n. 3, p. 367–374.
- Malfatti, S. M., Coutinho, E. A. G. and Dos Santos, S. R. (2011). Utilizando Realidade Virtual e Wiimote para a Criação de Jogos Voltados à Reabilitação.
- Medeiros Soares, N., Pereira, G. M., Italiano, R., et al. (2018). Avaliação Da Excitabilidade Cortical Após Treinamento Intensivo Com Realidade Virtual Para Reabilitação Do Membro Superior Em Pacientes Pós-Avc. www.conbracis.com.br.
- Paratella, D. N. (2011). Universidade Do Extremo Sul Catarinense Curso De Fisioterapia A Utilização Do Video-Game Nintendo Wii Na Reabilitação De Paciente Com Acidente Vascular Encefálico (Ave). <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/687/1/Daniel%20Nunes%20Paratella.pdf>, [acesso em Nov 23].
- Politowski, C. and Maran, V. (2014). Comparação de Performance entre PostgreSQL e MongoDB. https://turing.pro.br/anais/ERBD-2014/artigos_aceitos/trilha_pesquisa/124500_1.pdf, [acesso em Nov 23].
- Soares, N. M., Pereira, G. M., Figueiredo, R. I. da N., Morais, G. S. and De Melo, S. G. (2017). Virtual reality therapy using the Leap Motion Controller for post-stroke upper limb rehabilitation. *Scientia Medica*, v. 27, n. 2.
- Victor, J. and Santos, S. (2013). Universidade Federal De Alfenas Instituto De Ciências Exatas Bacharelado Em Ciência da Computação Physioplay: Um Exergame Para Reabilitação Física Aplicando a Interatividade Do Kinect® Como Biofeedback Visual 2013. https://www.bcc.unifalmg.edu.br/biblioteca/download/graduacao/Discentes/Monografias/2012/2012_02/Monografia_JanVictor.pdf, [acesso em Nov 22].
- Oved. D (2018). Real-time Human Pose Estimation in the Browser with TensorFlow.js. <https://medium.com/tensorflow/real-time-human-pose-estimation-in-the-browser-with-tensorflow-js-7dd0bc881cd5>, [acesso em Nov 22].
- SILVA. M. N. P. (2020) Cálculo do coeficiente angular de uma reta. <https://brasilecola.uol.com.br/matematica/calculo-coeficiente-angular-uma-reta.htm>, [acesso em Nov 10]
- OTT. A. (2016). HidaApi. <https://github.com/signal11/hidapi>, [Acesso em Nov 05].
- BIAGIOLI. A. (2016). Unity-Wiimote, <https://github.com/Flafila2/Unity-Wiimote>, [Acesso em Jun 23].
- WERBACH. K., HUNTER. D. (2012), For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business. Philadelphia: Wharton Digital Press, 2012. 148 p.

SOARES. N. M et al. Avaliação da Excitabilidade Cortical Após Treinamento Intensivo com Realidade Virtual para Reabilitação do Membro Superior em Pacientes Pós-AVC. https://editorarealize.com.br/revistas/conbracis/trabalhos/TRABALHO_EV055_MD1_SA9_ID1_10052016204243.pdf. [Acesso em Jun 21].

GOOGLE (2020). Pose estimation. https://www.tensorflow.org/lite/models/pose_estimation/overview?hl=en, [acesso em Dez 9].

MONTEIRO. F e ZANCHET. J. (2003), Realidade virtual e a medicina. *Acta Cirúrgica Brasileira*. <https://www.scielo.br/pdf/acb/v18n5/17446.pdf>, [acesso em Dez 11].