

Um jogo sério baseado em gestos para a reabilitação motora de membros superiores
A gesture-based serious game for upper limb motor rehabilitation
Un juego serio basado en gestos para la rehabilitación motora de las extremidades superiores

Recebido: 05/11/2020 | Revisado: 07/11/2020 | Aceito: 09/11/2020 | Publicado: 13/11/2020

Rodrigo Augusto Rocha Souza Baluz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4745-1442>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: rodrigobaluz@gmail.com

José Everton da Silva Fontenele

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5982-4707>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: vetophp@gmail.com

Ariel Soares Teles

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0840-3870>

Instituto Federal do Maranhão, Brasil

E-mail: ariel.teles@ifma.edu.br

Renan Fialho do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6185-0613>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: sr.renanfialho@gmail.com

Rayele Pricila Moreira dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4480-732X>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: rayelemoreira@hotmail.com

Victor Hugo do Vale Bastos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7425-4730>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: victorhugobastos@ufpi.edu.br

Silmar Silva Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9240-1228>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Resumo

É cada vez maior o número de pessoas que apresentam debilidade motora em membros superiores e enfrentam deficiências funcionais, dependendo de terceiros para realizar suas atividades de rotina. A reabilitação motora é caracterizada por uma rotina diária de deslocamento para as clínicas, exercícios físicos repetitivos e um lento processo de recuperação funcional, o que torna o tempo de tratamento muito longo, levando o paciente à falta de compromisso e abandono do tratamento. Nesse contexto, soluções de gameterapia têm sido utilizadas para a reabilitação motora, em que se utilizam cenários interativos de jogos sérios para potencializar a humanização do tratamento e a experiência do paciente durante a execução de exercícios de recuperação das funções motoras. Este artigo tem como objetivo apresentar um jogo sério inteligente para reabilitação motora de membros superiores, a partir do uso de modelos de visão computacional e aprendizado de máquina integrados a tecnologias com ampla inserção social, como câmeras embutidas em smartphones, laptops ou integradas em TVs. Para implementação do jogo sério, foram utilizadas as linguagens de programação *web*, HTML, CSS e *JavaScript*, incorporando a biblioteca *TensorFlow* e o pacote *PoseNet* para controlar os movimentos do paciente nos cenários do jogo. O jogo sério desenvolvido contribui para tornar a gameterapia uma técnica presente e viável em clínicas de reabilitação e ambientes domiciliares, uma vez que sua inserção não depende de custos associados com a tecnologia ou adaptações de infraestrutura no ambiente.

Palavras-chave: Gameterapia; Reabilitação motora; Jogos sérios; Aprendizado de máquina; Visão computacional.

Abstract

An increasing number of people have motor disabilities in the upper limbs and face functional deficiencies, depending on others to perform their routine activities. Motor rehabilitation is characterized by a daily routine of commuting to the clinics, repetitive physical exercises and a slow process of functional recovery, which makes treatment time-consuming, leading the patient to a lack of commitment and abandonment of treatment. In this context, gametherapy solutions have been used for motor rehabilitation, in which interactive scenarios of serious games are used to enhance the humanization of treatment and the patient's experience during the execution of exercises to recover motor functions. This paper aims to present a serious

smart game for motor rehabilitation of upper limbs, which uses computer vision and machine learning models integrated with technologies with wide social insertion, such as cameras built into smartphones, laptops or integrated into TVs. For the implementation of the serious game, the web programming languages, HTML, CSS and JavaScript were used, so incorporating the TensorFlow library and the PoseNet package to control the patient's movements in the game scenarios. The serious game developed contributes to make gametherapy a present and viable technique in rehabilitation clinics and home environments, since its insertion does not depend on costs associated with technology or infrastructure adaptations in the environment.

Keywords: Gametherapy; Motor rehabilitation; Serious games; Machine learning; Computer vision.

Resumen

Un número cada vez mayor de personas tiene debilidad motora en las extremidades superiores y se enfrenta a deficiencias funcionales, dependiendo de otros para realizar sus actividades de rutina. La rehabilitación motora se caracteriza por una rutina diaria de desplazamientos a la clínica, ejercicios físicos repetitivos y un lento proceso de recuperación funcional, lo que hace que el tiempo de tratamiento sea muy largo, llevando al paciente a la falta de compromiso y abandono del tratamiento. En este contexto, se han utilizado soluciones de gameterapia para la rehabilitación motora, en las que se utilizan escenarios interactivos de juegos serios para potenciar la humanización del tratamiento y la experiencia del paciente durante la ejecución de ejercicios para recuperar funciones motoras. Este artículo tiene como objetivo presentar un juego inteligente serio para la rehabilitación motora de miembros superiores, utilizando modelos de visión por computadora y aprendizaje automático integrados con tecnologías de amplia inserción social, como cámaras integradas en teléfonos inteligentes, portátiles o integradas en televisores. Para la implementación del juego serio se utilizaron los lenguajes de programación web, HTML, CSS y JavaScript, incorporando la librería TensorFlow y el paquete PoseNet para controlar los movimientos del paciente en los escenarios del juego. El juego serio desarrollado contribuye a hacer de la gameterapia una técnica presente y viable en clínicas de rehabilitación y ambientes domésticos, ya que su inserción no depende de costos asociados a la tecnología o adaptaciones de infraestructura en el entorno.

Palabras clave: Gameterapia; Rehabilitación motora; Juegos serios; Aprendizaje automático; Visión por computador.

1. Introdução

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é a segunda causa de morte e a terceira causa de incapacidade em todo o mundo (Johnson *et al.*, 2016) ao longo da vida de adultos. Ele é associado à baixa qualidade de vida (Raffin & Hummel, 2018), com cerca de 16 milhões de vítimas por ano (Benjamin *et al.*, 2018). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), essa projeção deve se manter até 2030. Há um aumento nos casos de indivíduos com problemas neurológicos que convivem com deficiência (de Lara *et al.*, 2020), principalmente hemiparesia, déficit motor que resulta em redução de eficiência cinético-funcional da musculatura (Scherbakov *et al.*, 2013). Os pacientes obtêm recuperação funcional do membro superior parético em apenas metade dos casos (Lee *et al.*, 2012), o que afeta negativamente o retorno à participação ativa na sociedade e dificulta o autocuidado, tornando-os mais dependentes de outras pessoas.

A recuperação da função motora, principalmente da função do membro superior, é um fator-chave que determina a chance de uma vida independente (Veerbeek *et al.*, 2011). Todo ser humano fisiologicamente saudável tem a capacidade de realizar movimentos ativos, habilidade que está diretamente relacionada às funcionalidades do corpo e, portanto, essencial para a manutenção da saúde do indivíduo (Lindberg *et al.*, 2004). Como a maioria das atividades da vida diária envolve os membros superiores, é fundamental melhorar seu uso funcional (Choo *et al.*, 2015). Nesse sentido, profissionais de saúde especializados no processo de recuperação motora pós-AVC, por exemplo, médicos e fisioterapeutas, têm utilizado diversas técnicas para acelerar a recuperação do paciente, como, estimulação cerebral não invasiva (Draaisma *et al.*, 2020), sistemas robóticos (Masiero *et al.*, 2014), sinalização sensorial (Bai & Fong, 2020), terapia de espelho (Deconinck *et al.*, 2015), telerreabilitação (Chen *et al.*, 2015) e gameterapia (Domínguez-Téllez *et al.*, 2020). Em particular, a gameterapia é um método que usa ambientes de videogame (ou seja, jogos sérios) para auxiliar na reabilitação motora. Os jogos sérios são ambientes computacionais baseados no uso de tecnologias e metodologias de videogame que permitem aos jogadores aprender e praticar habilidades importantes para melhorar o desenvolvimento humano e profissional aplicáveis a situações do mundo real (Chang *et al.*, 2019).

Alguns estudos têm sido propostos com o uso de jogos sérios para acelerar o processo de reabilitação motora de membros superiores (Mubin *et al.*, 2020) (Ayed *et al.*, 2019). No entanto, as soluções são baseadas no uso de sensores (Hamawy *et al.*, 2019), dispositivos vestíveis (Al-Mahmood & Agyeman, 2018), braços robóticos (Eizicovits *et al.*, 2018) ou

plataformas de videogame proprietárias, como Nintendo Wii (Ayoubi *et al.*, 2019) e Xbox Kinect (Dubey & Manna, 2019), os quais possuem um alto custo, favorecendo, portanto, a baixa adoção da técnica de gameterapia, especialmente, em ambientes domésticos (Hoey *et al.*, 2013).

A reabilitação no conforto do domicílio do paciente se apresenta como uma opção atraente. Porém, o ambiente domiciliar apresenta limitações de espaço que podem dificultar a adesão para o uso de certas tecnologias, como, instalação de câmeras de vídeo ou equipamentos robóticos (Saadatnia *et al.*, 2020). Assim, ao se propor uma solução para reabilitação motora pós-AVC, que seja aplicável para a utilização em ambientes domésticos, faz-se necessária uma abordagem centrada no paciente, que deve respeitar os espaços físicos, sem exigir mudanças na infraestrutura. Desta forma, este artigo apresenta um jogo sério inteligente para a reabilitação motora de pacientes pós-AVC com uso de uma biblioteca de código aberto, chamada *TensorFlow*¹, que inclui algoritmos robustos de aprendizado de máquina que, junto ao pacote de visão computacional *PoseNet*², podem identificar automaticamente pontos de interesse do corpo humano em tempo real e, conseqüentemente, seus movimentos. Essas tecnologias trazem a possibilidade de capturar o movimento do membro superior durante tarefas de reabilitação, por meio de recursos tecnológicos com alcance social, como, câmeras embutidas em smartphones, laptops ou integradas em TVs, contribuindo para a popularização da gameterapia.

Este artigo está organizado como segue. A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica que dá suporte à discussão e ao problema abordado por esta pesquisa. A metodologia adotada para o desenvolvimento do jogo sério é descrita na Seção 3, enquanto a Seção 4 destaca a plataforma que gerencia o ambiente do jogo sério para reabilitação motora, suas funcionalidades e operação, com uma discussão para sua utilização no processo de reabilitação em pacientes pós-AVC. Por fim, a Seção 5 expõe as considerações finais e trabalhos futuros para a pesquisa.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Reabilitação Motora de Membros Superiores

A reabilitação contempla um conjunto de conhecimentos e procedimentos específicos que possibilitam ajudar pessoas com doenças agudas, crônicas, ou com sequelas, permitindo

¹ <https://github.com/tensorflow/tensorflow>

² https://www.tensorflow.org/lite/models/pose_estimation/overview

maximizar o potencial funcional de cada indivíduo, tendo por objetivos principais a melhoria da função, a promoção da independência e a maximização da satisfação da pessoa, preservando a sua autoestima (Neumann, 2010). A reabilitação de um paciente após sofrer um AVC se apresenta de forma lenta, especialmente, por apresentar sequelas motoras e/ou cognitivas (Soares *et al.*, 2020). O quadro clínico, a evolução e o prognóstico das lesões são muito variáveis, sendo a hemiparesia um dos sinais clínicos mais evidentes nas lesões em pacientes pós-AVC (Broussy *et al.*, 2019). A hemiparesia interfere no funcionamento motor normal, contribuindo para uma posição de assimetria postural, distribuição de peso menor sobre o lado afetado, déficits como perda da força muscular, destreza e coordenação motora, afetando a sua independência e a qualidade de vida (Broussy *et al.*, 2019).

O acometimento do membro superior se destaca dentre as diversas incapacidades que os indivíduos pós-AVC podem apresentar. As deficiências em estrutura e função do corpo são geralmente as mais facilmente reconhecidas e classicamente descritas quando se define essa condição de saúde (Pollock *et al.*, 2014). Esses acometimentos estão relacionados com a hemiparesia, a fraqueza muscular, a deficiência da coordenação motora, encurtamento muscular, espasticidade e presença de dor (Lee *et al.*, 2017). Além disso, esses indivíduos podem apresentar limitações em atividades e restrições na participação. Diante desse cenário de limitação física e funcional, a tendência desses indivíduos é evitar o uso do membro superior acometido, fazendo-se necessária a aprendizagem motora e a recuperação através de programas de reabilitação adequados para melhorar sua função e qualidade de vida (Takahashi *et al.*, 2016).

2.2 Jogos Sérios para a Reabilitação Motora

Com o avanço das tecnologias computacionais, houve a inclusão de diferentes técnicas que deram uma nova cara às terapias de reabilitação. Isso inclui dispositivos robóticos como exoesqueletos, realidade virtual e realidade aumentada como técnicas de interação e, por último, jogos sérios para a reabilitação pós-AVC. Ao usar componentes lúdicos e interativos, os jogos sérios vão além do simples entretenimento (Laamarti *et al.*, 2014), eles aumentam a experiência do usuário em contextos específicos como bem-estar, educação e saúde (Giessen, 2015). Por meio dessa abordagem, juntamente com tecnologias de interfaces de realidade virtual (Soares *et al.*, 2020), é possível criar ambientes interativos e individualizados nos quais a prática intensa das atividades de reabilitação é executada pelo paciente com motivação e foco, possibilitando uma reabilitação mais rápida e eficiente (Phan *et al.*, 2019).

O uso de jogos sérios nos processos de reabilitação física (Martins *et al.*, 2020) e cognitiva (Elakloul & Zin, 2019) se apresenta como uma técnica complementar às terapias tradicionais, como fisioterapia, hidroterapia e pilates. Soluções de saúde baseadas em jogos sérios aumentam o envolvimento do paciente e fornecem imersão (Ferreira *et al.*, 2019), experiência (Herne *et al.*, 2019) e *biofeedback* (Cargnin *et al.*, 2015) no processo de reabilitação motora dos membros superiores (Pulido *et al.*, 2019) e inferiores (Agyeman & Al-Mahmood, 2019). Existem diferentes tipos de jogos já sendo usados na área de reabilitação como 2D (Demers & Levin, 2020), 3D (Avola *et al.*, 2019), jogos de realidade virtual (Shahmoradi *et al.*, 2020), jogos de realidade aumentada (Gorman & Gustafsson, 2020) e outras interfaces de usuário naturais como Wii, PlayStation, Wii Balance, Xbox, Kinect.

2.3 A Biblioteca *TensorFlow* na Saúde

O *TensorFlow* é uma biblioteca de aprendizado de máquina que opera em ambientes heterogêneos, sendo compatível com uma variedade de aplicações, com foco em treinamento e inferência com redes neurais profundas, como reconhecimento de fala, visão computacional, robótica, informações de recuperação de dados, processamento de linguagem natural, entre outros (Abadi *et al.*, 2016). Ela foi desenvolvida originalmente por pesquisadores e engenheiros que trabalham na *Machine Intelligence Research*, equipe da *Google Brain*³, para realizar pesquisas com aprendizado de máquina. É uma ferramenta poderosa para treinamento em larga escala, pois utiliza eficientemente centenas de servidores, os quais possuem unidades de processamento gráfico e unidade de processamento de tensores para treinamento e execução de modelos treinados (Abadi *et al.*, 2016). Em particular, o *TensorFlow* é especializado em Redes Neurais Artificiais (RNA), um algoritmo de inteligência computacional inspirado no sistema neural humano (Basheer & Hajmeer, 2000).

Na área médica, RNA desenvolvidas a partir do *TensorFlow* são usadas para prever e monitorar continuamente condições preditoras de saúde que possam desencadear crises asmáticas e sua gravidade (Do *et al.*, 2017). Além disso, já foram empregadas no auxílio de médicos para interpretar e diagnosticar imagens de ultrassonografia mamária, distinguindo áreas da pele, glândula mamária e áreas de tumor, por meio da segmentação de imagem (Chen & Gogn, 2019). O *TensorFlow* também vem sendo empregado com sucesso na estratificação

³ <https://research.google/teams/brain/>

do câncer (Coy *et al.*, 2019) e previsão da gravidade da doença de Parkinson (Grover *et al.*, 2018).

Uma aplicação adicional para uso do *TensorFlow* é a detecção e estimação da posição e do movimento humano, ou seja, determinar a posição das diversas articulações do corpo humano, usando sequências de imagens ou vídeo (Voulodimos *et al.*, 2018). Estimar a posição do ser humano com base em suas articulações é um dos grandes desafios da visão computacional que, ao serem superados, fornecem a possibilidade de rastrear o movimento humano (Chen & Yuille, 2014). O pacote *PoseNet*, com base no *TensorFlow*, se apresenta como alternativa para estimar a posição humana a partir de imagens e vídeos. O pacote estima onde estão as principais articulações e pontos anatômicos do corpo na visão frontal (nariz, olhos, orelhas, ombros, cotovelos, punhos, quadris, joelhos e tornozelos) e a partir disso, determina a posição de uma ou mais pessoas. O *PoseNet* é implementado em várias linguagens, incluindo *JavaScript*, para permitir que o rastreamento do esqueleto 2D seja realizado, exigindo apenas um navegador *web* e uma câmera (Clark *et al.*, 2019), o que favorece o desenvolvimento de um jogo sério para a reabilitação motora em ambientes domésticos.

3. Métodos e Técnicas

O estudo se baseia no desenvolvimento de uma plataforma *web* que suporta um jogo sério para a reabilitação motora de membros superiores em pacientes pós-AVC. Para desenvolver o projeto, foram utilizados os métodos de prototipação de *software* e *design* participativo. O modelo de prototipação é próprio para desenvolver um produto que possa evoluir ao longo do tempo (Pressman & Maxim, 2016). A cada iteração, a plataforma foi apresentada aos profissionais para melhorar o entendimento de suas necessidades e refinar os requisitos. O processo de evolução da plataforma foi guiado pelo *design* participativo (Ismail *et al.*, 2019), no qual os *stakeholders* participam de cada ciclo de evolução do jogo. Profissionais especializados em reabilitação motora pós-AVC foram convidados a colaborar com o protótipo funcional para gameterapia e, em seguida, foram levantados pontos para o aprimoramento do jogo. O projeto da interface do usuário para o jogo sério respeitou os princípios e técnicas para *design* de jogos com o objetivo no aprendizado ou treinamento (Cannon-Bowers & Bowers, 2010). Para isso, foi necessário a produção de *mockups*, que são desenhos de telas (esboços) que servem para mostrar de maneira direta a arquitetura e o fluxo de navegação de como se dará o funcionamento e operação do jogo.

3.1 Engenharia de Requisitos

O processo de desenvolvimento de *software* compreende um conjunto de atividades que engloba métodos, ferramentas e procedimentos, com o objetivo de produzir soluções de *software* que atendem aos requisitos especificados pelos usuários (i.e., clientes). A elicitação de requisitos é a fase, dentro do processo de Engenharia de *Software*, que possui o desafio de entender os desejos e necessidades de seus usuários. A elicitação vai além da coleta de requisitos, uma vez que proativamente identifica requisitos adicionais não explicitados pelos *stakeholders* (Sommerville, 2011).

Esta etapa de levantamento e análise de requisitos resulta na identificação dos requisitos funcionais e não funcionais para o projeto de desenvolvimento de um sistema. Os funcionais especificam uma funcionalidade que o sistema ou componente deve ser capaz de realizar. Já os não funcionais, também denominados de atributos de qualidade, descrevem as características de como será desenvolvido o sistema, com foco no desempenho, portabilidade, manutenibilidade e escalabilidade (Vasquez & Simões, 2016). Para fins da construção do Mínimo Produto Viável (do inglês, *Minimum Viable Product* - MVP) para a aplicação, apresentamos os principais requisitos funcionais elicitados:

[RF01] Os profissionais de saúde devem realizar seu cadastro na plataforma.

[RF02] Cabe aos profissionais de saúde realizarem o cadastro de seus pacientes junto a plataforma.

[RF03] Para cada atendimento a um paciente, o profissional de saúde deverá abrir um novo tratamento, onde será possível realizar a anamnese, exame de palpação, exame físico, dentre outros.

[RF04] No momento do cadastro do tratamento o profissional de saúde deverá determinar o número de sessões para o processo de reabilitação motora do paciente.

[RF05] As sessões devem permitir uma personalização de forma a atender as especificidades e limites de cada paciente.

[RF06] *O sistema deverá permitir que as sessões sejam desempenhadas com o uso do jogo sério na clínica de reabilitação ou em ambiente doméstico do paciente.*

[RF07] *O jogo sério deve ser carregado de acordo com as características de configuração de cada sessão.*

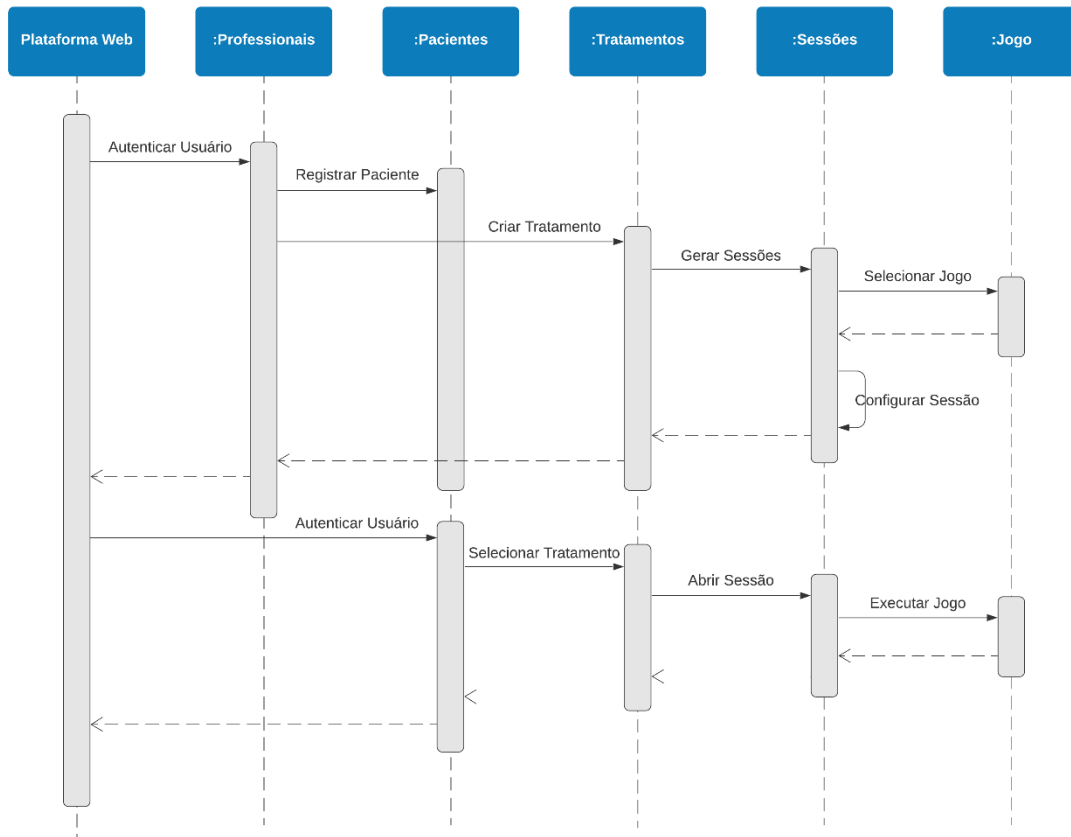
Como destaque para requisitos não funcionais, apontamos a necessidade do uso de tecnologias que suportem ao uso da gameterapia como técnica para a reabilitação motora pós-AVC de forma acessível, especialmente, que sejam de baixo custo de aquisição.

3.2 Modelagem UML

A Linguagem de Modelagem Unificada (do inglês, *Unified Modeling Language - UML*) contempla uma série de notações para a construção de diagramas que representam diferentes aspectos de um *software*. Ela está fortemente amparada em conceitos de Orientação a Objetos, além de não estar presa a metodologias ou tecnologias específicas de desenvolvimento (Guedes, 2014). Partindo dos requisitos funcionais destacados, foi possível a construção do diagrama de sequência, tipo de diagrama comportamental trazido pela UML, em que se detalha o funcionamento (ou seja, comportamento) de partes de um sistema ou processos de negócio relacionados a tal aplicação.

No diagrama de sequência (Figura 1) temos as interações entre diferentes objetos na execução da aplicação, destacando ainda a ordem em que tais ações acontecem em um intervalo de tempo. A sequência em que as diversas operações são executadas ocorre na vertical, de cima para baixo (Booch *et al.*, 2006). O profissional de saúde, que acompanha o paciente, após criar seu perfil na plataforma (RF01), deverá realizar o cadastro do paciente, informando obrigatoriamente os dados pessoais dele (RF02). Caberá ao profissional definir o tratamento para cada paciente, realizando a anamnese e todos os exames preliminares (RF03). Para cada tratamento, deverá ser informada a quantidade de sessões (RF04), além da especificação para cada uma delas, qual cenário da tarefa e fase do jogo serão usados em uma dada sessão, tempo de duração e se, para aquela sessão, será usado o membro direito ou esquerdo para a realização da tarefa (RF05). Entende-se por tarefa, o exercício motor a ser desempenhado pelo paciente para aquela fase do jogo.

Figura 1. Diagrama de Sequência.



Fonte: Autoria Própria.

O paciente, seja no ambiente da clínica ou domiciliar, fará acesso à plataforma onde irá encontrar seu tratamento já previamente definido em sessões (RF06). Para cada sessão, o paciente terá a possibilidade de ler as instruções para execução daquela tarefa, tais como: qual membro deverá ser usado, tempo para realizar, objetivo da tarefa, dentre outros. Também poderá fazer acesso a um vídeo demonstrativo para ver a simulação da execução da tarefa, além de ter acesso direto ao cenário e fase do jogo. Ao fazer acesso ao ambiente da gameterapia, o paciente deverá trabalhar a tarefa no tempo definido para a sessão, havendo a gamificação associada ao objetivo da fase (RF07).

3.3 Tecnologias de Desenvolvimento

Para implementar o protótipo, foram utilizadas as linguagens de programação *web* HTML, CSS e *JavaScript*. O *TensorFlow* e o *PoseNet* foram incorporados para controlar os movimentos do paciente em uma interface de jogo sério. O contexto do jogo envolve os

movimentos motores dos membros superiores, que são representados pelo elemento visual alvo na interface do jogo. A dinâmica do cenário incentiva o paciente a estourar os balões exibidos na tela, levando o alvo ao encontro do balão. Ao iniciar o jogo, a câmera captura o vídeo do usuário e, a partir do movimento do pulso, a posição do alvo no cenário do jogo é alterada.

Fazemos uso da *tag* de vídeo HTML5 que especifica uma forma padrão de inserir um vídeo em uma página da *web*. Dentre suas funcionalidades, é possível carregar, reproduzir e pausar vídeos, definir a hora e o áudio do jogo, além de acessar a câmera de vídeo. Além disso, HTML5 e *JavaScript* permitem incorporar outras tecnologias, como algoritmos de visão computacional que usam fluxos de vídeo em tempo real. Ao acessar a câmera do dispositivo via HTML, o vídeo do paciente (ou seja, o jogador) é capturado e usado como parâmetro pelo método de decodificação de pose *estimativaSinglePoseOnVideo* do *PoseNet*. Este método recebe o fluxo de vídeo e reconhece em tempo real 17 (dezesete) pontos-chave ergométricos na imagem e, em seguida, retorna um objeto que os contém e suas localizações (ou seja, coordenadas) no plano da imagem capturada. Ele também retorna uma pontuação geral que representa um nível de confiança para o processamento final do algoritmo, que é calculado a partir da média de todos os níveis de confiança para cada ponto detectado. De posse da lista de pontos-chave com suas respectivas coordenadas, uma das localizações dos pulsos são extraídas (ou seja, direita ou esquerda) e enviadas para uma função responsável por mover o alvo na tela do jogo.

Para este protótipo inicial, estamos usando apenas as posições 9 e 10 na matriz de pontos ergométricos processados pelo *PoseNet*, que representam, respectivamente, as posições dos pulsos direito e esquerdo. As posições dos pulsos são escaladas em x e y e, em seguida, suas coordenadas são passadas diretamente para x e y do elemento de destino. Nas estruturas do alvo e do balão no cenário do jogo, existe um elemento de colisão, que é uma classe responsável por fornecer uma ação na dinâmica do jogo (ou seja, os balões estouram) quando esses dois objetos entram em contato.

4. Resultados

O jogo sério descrito neste estudo objetiva apresentar um ambiente lúdico e inteligente para a reabilitação motora de membros superiores, a partir do uso de modelos de visão computacional e aprendizado de máquina integrados às tecnologias com ampla inserção social. Partindo disso, podemos tornar a gameterapia uma técnica de alcance social para a

recuperação motora de pacientes pós-AVC em clínicas de reabilitação e ambientes domésticos. Para isso, o jogo conta com uma plataforma *web* que permitirá, aos profissionais especialistas em saúde, um total gerenciamento no tratamento para a reabilitação motora de seus pacientes. As tarefas a serem executadas pelos pacientes são previamente configuradas em sessões do tratamento pelos profissionais de saúde, de acordo com suas limitações e objetivos de recuperação das funções motoras.

4.1 A Plataforma Desenvolvida

A plataforma *web* gerencia as sessões de reabilitação motora, que são realizadas através tarefas definidas em fases de um jogo sério. Os usuários precisam ser autenticados com *login* e senha. Existem dois perfis de usuários no sistema: o profissional e o paciente. Cabe ao profissional todo o gerenciamento dos recursos oferecidos pela plataforma. Ao paciente, apenas o acesso as suas sessões de reabilitação. Os profissionais de saúde, médicos ortopedistas ou fisioterapeutas, realizam sua adesão à plataforma, com a criação de um novo usuário, conforme Figura 2.

Figura 2. Área de Login e Primeiro Acesso na Plataforma.

The image displays two screenshots of the 'rehabilite GAME' web interface. The left screenshot shows the login page with the title 'Faça login para iniciar sua sessão' and input fields for 'E-mail' and 'Senha', followed by a blue 'Entrar' button and links for 'Esqueci a minha senha' and 'Não possui cadastro?'. The right screenshot shows the registration page with the title 'rehabilite GAME' and a dropdown menu for 'Escolha uma categoria', followed by input fields for 'Nome', 'Sobrenome', 'E-mail', 'Senha', and 'Confirma Senha', a checkbox for 'Eu concordo com os TCLE', a blue 'Cadastrar' button, and a link for 'Já possui cadastro?'.

Fonte: Autoria Própria.

Este cadastro dos profissionais pode ser depois editado para preenchimento completo das informações de perfil pessoal e profissional. Ainda, é de responsabilidade dos profissionais o cadastro de seus pacientes, fornecendo inicialmente seus dados pessoais. No primeiro acesso à plataforma do jogo, profissionais e pacientes, são levados a aceitar o Termo

de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) que garante, neste primeiro momento, suas participações no uso da plataforma apenas para fins de pesquisa.

No cadastro dos pacientes, é permitido ao profissional de saúde além da inserção dos dados pessoais deles, a criação de um novo tratamento. Nesta etapa, a plataforma dá suporte ao cadastro de uma série de dados importantes para o acompanhamento e evolução do processo de reabilitação motora do paciente (Figura 3). É realizado o exame de anamnese com o objetivo de estabelecer o contato inicial com o seu paciente. Esse procedimento é o principal instrumento para chegar a um diagnóstico de confiança. De forma complementar, são feitos os exames físicos de inspeção, palpação e avaliação motora. São registrados os dados de possíveis exames complementares do paciente, como radiografia ou ultrassonografia. Na aba ‘Tratamento’, é permitido ao profissional registrar suas conclusões a partir das avaliações realizadas, os objetivos e conduta para aquele tratamento, assim como a definição do conjunto de sessões necessárias para o processo de reabilitação motora. Estas sessões são passíveis de serem realizadas na própria clínica de reabilitação ou em ambiente doméstico.

Figura 3. Cadastro do Tratamento para o Paciente.

The screenshot displays the 'rehabilitate GAME' interface for recording a patient's treatment. The left sidebar contains navigation options: Monitor, Pacientes, Tratamentos, Sessões, Avaliações, Perfil, and Sair. The main content area is titled 'Tratamentos' and shows the 'Cadastrar Tratamento' form. The 'Paciente' field is a dropdown menu. The 'Tratamento' tab is selected, revealing three large text areas for 'Conclusão', 'Objetivos', and 'Conduta'. Below these are fields for 'Número de Sessões' and 'Ambiente' (set to 'Clínica'). A 'Salvar' button is positioned at the bottom left of the form.

Fonte: Autoria Própria.

As sessões do tratamento são gerenciáveis pelos profissionais de saúde. Para cada sessão de tarefa com o uso do jogo sério são definidos: data, horário, ambiente (clínica ou ambiente doméstico), tempo de duração e plano de fundo. Nesta versão, a plataforma disponibiliza apenas um cenário, chamado de ‘Brincando com Balões’, em que é possível definir uma das três fases para o jogo (Figura 4). As fases são definidas de acordo com os

propósitos de movimento dos membros superiores, respeitando o nível de comprometimento motor do paciente. Na fase I, o jogo realiza a promoção dos movimentos de flexão, extensão, adução e abdução de ombro e cotovelo. Para a fase II, o controle de pronação ou supinação para comprometimento do radioulnar. Já na fase III, o jogo traz a possibilidade da reabilitação motora conjugado com um processo cognitivo, em que o paciente deve realizar os movimentos do membro de acordo com a cor do balão no cenário do jogo.

Figura 4. Ambiente para Personalizar cada Sessão do Tratamento.

The image shows a web application interface for configuring treatment sessions. The page title is "Sessões" and the breadcrumb trail is "Dashboard / Pacientes / Tratamentos / Sessões / Novo". The main content area is titled "Cadastrar Sessão" and contains several form fields:

- Paciente:** Dropdown menu with "José Maria Brito e Silva" selected.
- Data:** Text input field with "00/00/0000".
- Horário:** Text input field with "00:00:00".
- Ambiente:** Dropdown menu with "Clínica" selected.
- Cenário:** Dropdown menu with "Escolha uma opção" selected.
- Fase:** Dropdown menu.
- Duração:** Text input field with "000".
- Plano de fundo:** Dropdown menu with "Opção 01" selected.
- Braço:** Dropdown menu with "Esquerdo" selected.
- Estouro do Balão:** Dropdown menu with "Temporizador" selected.
- Temporizador:** Text input field with "5s".
- Ângulo:** Dropdown menu with "45" selected.
- Lado dos balões:** Dropdown menu with "Esquerdo" selected.

A blue "Salvar" button is located at the bottom left of the form.

Fonte: Autoria Própria.

A área de jogo, onde os balões irão se apresentar, foi mapeada em ângulos respeitando os princípios da cinesiologia (Neumann, 2010) para o movimento motor dos membros superiores. Cada sessão pode ser definida para 45, 90 ou 180 graus, o que irá determinar limites para o surgimento dos balões, atendendo aos limites de angulação motora para o membro do paciente. Ainda, a área de jogo foi dividida entre lados esquerdo e direito. Com isso, o profissional pode determinar em que lado os balões irão surgir, podendo ser no mesmo lado do membro com comprometimento ou no lado oposto. A configuração dos balões em lado oposto ao comprometimento, permite estimular movimentos diagonais que simulam um dos princípios da Facilitação Neuromuscular Proprioceptiva (FNP), que destaca os movimentos diagonais como mais funcionais (Moreira *et al.*, 2017). A função para estourar os balões pode ser configurada de forma automática ou com temporizador. No modo automático, os balões são estourados com o simples ato de colisão provocado pelo encontro do membro com o balão na tela de jogo. Quando no modo com temporizador, o paciente é levado ao

trabalho de fortalecimento do membro, devendo não apenas deslocar seu membro ao encontro do balão, mas manter-se na posição de contato durante determinado tempo, em segundos.

4.2 Teste Experimental

Uma vez desenvolvido o jogo sério, é necessário avaliar se os recursos implementados estão disponibilizados de forma funcional, atendendo aos requisitos elicitados. Para isso, um voluntário (não paciente) foi colocado em uma cadeira posicionada em frente a um notebook, no qual o jogo estava sendo executado, a uma distância que lhe permitisse o movimento reproduzido de extensão completa do membro superior. (Figura 5). Objetivando uma melhor visualização do ambiente do jogo, o notebook estava conectado a uma TV por cabo HDMI. O voluntário foi orientado a manter o tronco estático e movimentar apenas um dos membros superiores, como determinado nas configurações da sessão, até atingir os alvos apresentados na interface do jogo. Os alvos são apresentados em diferentes posições na tela, para estimular os movimentos em várias direções. O objetivo é abordar os diversos movimentos que o ser humano realiza diariamente.

Figura 5. Voluntário em teste experimental do jogo sério.



Fonte: Autoria Própria.

Os testes realizados indicaram que o jogo sério se comportou de forma satisfatória, atendendo aos requisitos elicitados. Os movimentos realizados pelo voluntário eram capturados pela câmera de vídeo do dispositivo e reproduzidos no ambiente do jogo sem

nenhum tempo de retardo. O jogo provou-se agradável ao permitir que o voluntário tivesse seus movimentos reproduzidos no ambiente, sem a necessidade do uso de algum dispositivo vestível ou tecnologia adicional. A possibilidade de ter sua sessão de tratamento para seu comprometimento motor totalmente configurada e personificada na plataforma, permitindo a realização em ambiente doméstico, chamou atenção do voluntário.

5. Discussões

O uso da técnica de gameterapia torna-se útil em tratamentos para reabilitação motora, especialmente ao melhorar o engajamento do paciente, favorecendo sua recuperação funcional e reinserção em suas atividades diárias. A fim de motivar e estimular os pacientes a realizarem exercícios terapêuticos, distraindo-os de suas deficiências, foram usadas tecnologias como, controles Razer HYDRA e óculos RIFT DK2, para o desenvolvimento de uma ferramenta imersiva que visa auxiliar as terapias tradicionais de reabilitação motora (Ferreira *et al.*, 2019). No estudo, 87,5% respondeu positivamente ao uso do jogo, atestando ser uma técnica auxiliar útil para as atuais terapias motoras, ao encorajar os pacientes a realizar mais exercícios terapêuticos. Ainda, afirmam que ao usar parâmetros dinâmicos para configurar o ambiente do jogo, produzem uma experiência mais significativa para os usuários.

Os sistemas de reabilitação baseados em jogos fornecem uma ferramenta eficaz para envolver pacientes com paralisia cerebral em exercícios físicos em um ambiente estimulante e divertido (Daoud *et al.*, 2020). A interação humana com o sistema de reabilitação foi alcançada usando um sensor Kinect que rastreia as articulações do esqueleto do participante. Os exercícios baseados em jogos têm como objetivo envolver o participante em exercícios físicos de flexão, abdução e adução horizontal de ombro para o braço direito. Os videogames não imersivos também estão sendo usados como ferramentas de reabilitação tecnológica para indivíduos com doença de Parkinson (Fernández-González *et al.*, 2019). O estudo avaliou a eficácia do sistema *Leap Motion Controller* (LMC) usado com jogos sérios projetados para o membro superior, bem como os níveis de satisfação e conformidade entre pacientes em diferentes estágios da doença. A análise estatística mostrou melhorias significativas na coordenação, velocidade dos movimentos e pontuações de destreza motora fina no lado mais afetado dos pacientes no grupo experimental.

Sem uso de tecnologias adicionais, o jogo sério proposto neste artigo atende ao modelo de telerreabilitação no qual as sessões podem ser realizadas em ambientes domiciliares, apoiando o empoderamento do paciente por meio da autoeficácia. A presença e

cooperação dos familiares na reabilitação, bem como a familiaridade do paciente com o ambiente domiciliar, contribuem para a sua motivação e geram um maior nível de envolvimento com os exercícios propostos (Bashir, 2020). Embora os exercícios sejam realizados em casa, é necessário ressaltar que isso não dispensa a necessidade do paciente ser avaliado e acompanhado por profissionais de saúde especializados. Eles devem definir o nível de dificuldade para cada sessão no jogo de acordo com a condição física do paciente. Para atender a essa premissa, os diferentes cenários propostos pelo jogo permitem ao profissional personalizar os exercícios para cada paciente individualmente. Assim, as tarefas do jogo podem ser definidas de acordo com o grau de comprometimento motor do paciente, respeitando então as limitações de movimento e levando em consideração um processo gradual de evolução.

Mesmo ainda não submetendo o jogo para experimentos com profissionais e pacientes, algumas limitações já foram percebidas, mesmo que estejam fora do escopo deste trabalho. É necessário a implementação de uma rotina que determine de forma particular a distância que o paciente deve se posicionar do dispositivo com a câmera de captura. Este enquadramento do paciente no ambiente do jogo deve ser determinado pela distância mínima ao dispositivo, que permita a reprodução do movimento completo de flexão do ombro (180 graus) no cenário do jogo. Outro ponto a considerar é que o sistema do jogo deve identificar o posicionamento do tronco do paciente, facilitando o controle postural, sem comprometer o potencial de deslocamento do membro superior. Um sistema de feedback sonoro e visual deve ser implementado na interface do jogo sempre que for observado uma compensação de deslocamento do tronco para facilitar o movimento do membro durante a tarefa.

6. Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um jogo sério inteligente para reabilitação motora de membros superiores em pacientes com sequelas motoras pós-AVC, a partir do que há de mais moderno em aprendizado de máquina e visão computacional, realizando a estimativa de pose e rastreamento corporal com uma *webcam* simples e onipresente dentro de um navegador *web*. Provar esta técnica como viável significa que os avanços no uso de inteligência artificial em jogos sérios podem reduzir a necessidade de hardware especializado para prover treinamentos em busca de reabilitação motora. A abordagem se aplica não apenas em doenças neurológicas, como em qualquer processo associado a restrição motora, incluindo a reabilitação em atletas e doenças crônicas em

pacientes idosos. Nossa tecnologia tem alcance social, podendo ser vinculada ao uso de câmeras de vídeo embutidas em *smartphones*, *notebooks* ou integradas em TVs.

Os testes experimentais realizados indicam resultados satisfatórios, onde os movimentos são reproduzidos no ambiente do jogo sem uso de tecnologias terceiras ou dispositivos vestíveis, o que contribui para tornar a gameterapia uma técnica presente e viável em clínicas de reabilitação e ambientes domiciliares, uma vez que sua inserção não depende de custos associados ou adaptações de infraestrutura no ambiente. Além disso, a plataforma web desenvolvida para médicos e fisioterapeutas, lhes permitem gerar sessões de reabilitação personalizadas no jogo sério, de acordo com as limitações e especificidades de cada paciente, podendo acompanhar todo o seu progresso ao longo do tempo.

Como próximos passos, a plataforma do jogo deverá ser colocada em validação por profissionais da saúde e pacientes com sequelas pós-AVC. Para validar o nível de usabilidade do produto, será utilizado o *User Experience Questionnaire* (UEQ) (Schrepp *et al.*, 2014), no qual avaliamos os seguintes fatores: atratividade, perspicuidade, eficiência, confiabilidade, estimulação e novidade. Ainda, faz-se necessário um protocolo experimental que permita avaliar o desempenho funcional dos pacientes antes e depois do tratamento com uso do jogo sério em comparação com outros protocolos de reabilitação motora. Para isso, podemos utilizar alguns instrumentos validados para avaliar o desempenho motor/funcional, como a Escala de Avaliação de Fugl-Meyer para Extremidades Superiores (do inglês, *Fugl-Meyer Assessment Upper Extremity - FMA-UE*) (Deakin *et al.*, 2003), que mede o comprometimento motor relacionado ao AVC, incluindo vários itens que avaliam movimento e coordenação. Além disso, um ganho de *Fugl-Meyer* levará ao paciente o ganho de qualidade de vida em que pode ser acessado pelos seguintes instrumentos: Índice de Barthel Modificado (do inglês, *Modified Barthel Index - MBI*) (Collin *et al.*, 1988) e Medida de Independência Funcional (do inglês, *Functional Independence Measure - FIM*) (Linacre *et al.*, 1994), os quais medem o grau de independência funcional e a gravidade da deficiência do paciente, respectivamente.

Referências

Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J., ... & Kudlur, M. (2016). Tensorflow: A system for large-scale machine learning. In 12th {USENIX} symposium on operating systems design and implementation. 265-283.

Agyeman, M. O., & Al-Mahmood, A. (2019). Design and implementation of a wearable device for motivating patients with upper and/or lower limb disability via gaming and home rehabilitation. In 2019 Fourth International Conference on Fog and Mobile Edge Computing. 247-252. IEEE.

Al-Mahmood, A., & Agyeman, M. O. (2018, April). On wearable devices for motivating patients with upper limb disability via gaming and home rehabilitation. In 2018 Third International Conference on Fog and Mobile Edge Computing. 155-162. IEEE.

Avola, D., Cinque, L., Foresti, G. L., & Marini, M. R. (2019). An interactive and low-cost full body rehabilitation framework based on 3D immersive serious games. *Journal of biomedical informatics*, 89, 81-100.

Ayed, I., Ghazel, A., Jaume-i-Capó, A., Moyà-Alcover, G., Varona, J., & Martínez-Bueso, P. (2019). Vision-based serious games and virtual reality systems for motor rehabilitation: A review geared toward a research methodology. *International journal of medical informatics*, 131, 103909.

Ayoubi, F., Chamouni, S., Zein, O., & Sarraj, A. R. (2019). Virtual Reality Movement Therapy for Post-Stroke Upper limb Rehabilitation Trial. In 2019 Fifth International Conference on Advances in Biomedical Engineering. 1-3. IEEE.

Bai, Z., & Fong, K. N. (2020). “Remind-to-Move” Treatment Enhanced Activation of the Primary Motor Cortex in Patients with Stroke. *Brain Topography*, 33(2), 275-283.

Basheer, I. A., & Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of microbiological methods*, 43(1), 3-31.

Bashir, A. (2020). Stroke and Telerehabilitation: A Brief Communication. *JMIR rehabilitation and assistive technologies*, 7(2), e18919.

Benjamin, E. J., Virani, S. S., Callaway, C. W., Chamberlain, A. M., Chang, A. R., Cheng, S., ... & de Ferranti, S. D. (2018). Heart disease and stroke statistics—2018 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*.

Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (2006). UML: guia do usuário. Elsevier Brasil.

Broussy, S., Saillour-Glenisson, F., Rouanet, F., Lesaine, E., Maugeais, M., Aly, F., ... & Sibon, I. (2019). Sequelae and quality of life in patients living at home one year after a stroke managed in stroke units. *Frontiers in neurology*, 10, 907.

Cannon-Bowers, J., & Bowers, C. (2010). *Serious game design and development: technologies for training and learning: technologies for training and learning*. IGI global.

Cargnin, D. J., d'Ornellas, M. C., & Prado, A. L. C. (2015). A Serious Game for Upper Limb Stroke Rehabilitation Using Biofeedback and Mirror-Neurons Based Training. In *MedInfo* (pp. 348-352).

Chang, T. P., Sherman, J. M., & Gerard, J. M. (2019). Overview of serious gaming and virtual reality. In *Healthcare Simulation Research* (pp. 29-38). Springer, Cham.

Chen, J., Jin, W., Zhang, X. X., Xu, W., Liu, X. N., & Ren, C. C. (2015). Telerehabilitation approaches for stroke patients: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 24(12), 2660-2668.

Chen, M., & Gong, D. F. (2019). 9 Discrimination of breast tumors in ultrasonic images using an ensemble classifier based on TensorFlow framework with feature selection. *Journal of Investigative Medicine*, 67.

Chen, X., & Yuille, A. L. (2014). Articulated pose estimation by a graphical model with image dependent pairwise relations. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 1736-1744).

Choo, P. L., Gallagher, H. L., Morris, J., Pomeroy, V. M., & Van Wijck, F. (2015). Correlations between arm motor behavior and brain function following bilateral arm training after stroke: a systematic review. *Brain and behavior*, 5(12), e00411.

Clark, R. A., Mentiplay, B. F., Hough, E., & Pua, Y. H. (2019). Three-dimensional cameras and skeleton pose tracking for physical function assessment: A review of uses, validity, current developments and Kinect alternatives. *Gait & posture*, 68, 193-200.

Collin, C., Wade, D. T., Davies, S., & Horne, V. (1988). The Barthel ADL Index: a reliability study. *International disability studies*, 10(2), 61-63.

Coy, H., Hsieh, K., Wu, W., Nagarajan, M. B., Young, J. R., Douek, M. L., & Raman, S. S. (2019). Deep learning and radiomics: the utility of Google TensorFlow™ Inception in classifying clear cell renal cell carcinoma and oncocytoma on multiphasic CT. *Abdominal Radiology*, 44(6), 2009-2020.

Daoud, M. I., Alhusseini, A., Ali, M. Z., & Alazrai, R. (2020). A Game-Based Rehabilitation System for Upper-Limb Cerebral Palsy: A Feasibility Study. *Sensors*, 20(8), 2416.

de Lara, L. V., Salgueiro, A. C. F., & Carvalho, M. T. X. (2020). Functional electrical stimulation for upper limb rehabilitation after stroke: systematic review. *Research, Society and Development*, 9(7), 168973856.

Deakin, A., Hill, H., & Pomeroy, V. M. (2003). Rough guide to the Fugl-Meyer Assessment: upper limb section. *Physiotherapy*, 89(12), 751-763.

Deconinck, F. J., Smorenburg, A. R., Benham, A., Ledebt, A., Feltham, M. G., & Savelsbergh, G. J. (2015). Reflections on mirror therapy: a systematic review of the effect of mirror visual feedback on the brain. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 29(4), 349-361.

Demers, M., & Levin, M. F. (2020). Kinematic Validity of Reaching in a 2D Virtual Environment for Arm Rehabilitation After Stroke. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(3), 679-686.

Do, Q., Son, T. C., & Chaudri, J. (2017). Classification of asthma severity and medication using TensorFlow and multilevel databases. *Procedia computer science*, 113, 344-351.

Domínguez-Téllez, P., Moral-Muñoz, J. A., Salazar, A., Casado-Fernández, E., & Lucena-Antón, D. (2020). Game-Based Virtual Reality Interventions to Improve Upper Limb Motor Function and Quality of Life After Stroke: Systematic Review and Meta-analysis. *Games for Health Journal*, 9(1), 1-10.

Draaisma, L. R., Wessel, M. J., & Hummel, F. C. (2020). Non-invasive brain stimulation to enhance cognitive rehabilitation after stroke. *Neuroscience letters*, 719, 133678.

Dubey, V. N., & Manna, S. K. (2019). Design of a Game-Based Rehabilitation System Using Kinect Sensor. In *Frontiers in Biomedical Devices*, 41037, V001T03A005. American Society of Mechanical Engineers.

Eizicovits, D., Edan, Y., Tabak, I., & Levy-Tzedek, S. (2018). Robotic gaming prototype for upper limb exercise: Effects of age and embodiment on user preferences and movement. *Restorative neurology and neuroscience*, 36(2), 261-274.

Elaklouk, A. M., & Zin, N. A. M. (2019). A Rehabilitation Gaming System for Cognitive Deficiencies: Design and Usability Evaluation. *Injury*, 21, 22.

Fernández-González, P., Carratalá-Tejada, M., Monge-Pereira, E., Collado-Vázquez, S., Baeza, P. S. H., Cuesta-Gómez, A., ... & Miangolarra-Page, J. C. (2019). Leap motion controlled video game-based therapy for upper limb rehabilitation in patients with Parkinson's disease: a feasibility study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 16(1), 133.

Ferreira, B., Lourenço, J., & Menezes, P. (2019). A Serious Game for Post-Stroke Motor Rehabilitation. In *2019 5th Experiment International Conference (exp. at'19)* (pp. 383-387). IEEE.

Giessen, H. W. (2015). Serious games effects: an overview. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 174, 2240-2244.

Gorman, C., & Gustafsson, L. (2020). The use of augmented reality for rehabilitation after stroke: a narrative review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1-9.

Grover, S., Bhartia, S., Yadav, A., & Seeja, K. R. (2018). Predicting severity of Parkinson's disease using deep learning. *Procedia computer science*, 132, 1788-1794.

Guedes, G. T. (2014). *UML 2–Guia Prático- (2a ed.)*. Novatec Editora.

Hamawy, L., Hellani, Z., Abu-Zeidan, S., HajjHassan, M., Abou Ali, M., & Kassem, A. (2019). Development of an Assistive Rehabilitation Device for Upper Limb Extremity. In *2019 Fifth International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME)* (pp. 1-4). IEEE.

Herne, R., Shiratuddin, M. F., Rai, S., Laga, H., Dixon, J., & Blacker, D. (2019). Game Design Principles Influencing Stroke Survivor Engagement for VR-Based Upper Limb Rehabilitation: A User Experience Case Study. In *Proceedings of the 31st Australian Conference on Human-Computer-Interaction*, 369-375.

Hoey, J., Boutilier, C., Poupart, P., Olivier, P., Monk, A., & Mihailidis, A. (2013). People, sensors, decisions: Customizable and adaptive technologies for assistance in healthcare. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS)*, 2(4), 1-36.

Ismail, R., Ibrahim, R., & Yaacob, S. (2019, March). Participatory Design Method to Unfold Educational Game Design Issues: A Systematic Review of Trends and Outcome. In *2019 5th International Conference on Information Management (ICIM)* (pp. 134-138). IEEE.

Johnson, W., Onuma, O., Owolabi, M., & Sachdev, S. (2016). Stroke: a global response is needed. *Bulletin of the World Health Organization*, 94(9), 634.

Laamarti, F., Eid, M., & El Saddik, A. (2014). An overview of serious games. *International Journal of Computer Games Technology*, 2014.

Lee, M. J., Lee, J. H., Koo, H. M., & Lee, S. M. (2017). Effectiveness of bilateral arm training for improving extremity function and activities of daily living performance in hemiplegic patients. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 26(5), 1020-1025.

Lee, M. M., Cho, H. Y., & Song, C. H. (2012). The mirror therapy program enhances upper-limb motor recovery and motor function in acute stroke patients. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 91(8), 689-700.

Linacre, J. M., Heinemann, A. W., Wright, B. D., Granger, C. V., & Hamilton, B. B. (1994). The structure and stability of the Functional Independence Measure. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 75(2), 127-132.

Lindberg, P., Schmitz, C., Forsberg, H., Engardt, M., & Borg, J. (2004). Effects of passive-active movement training on upper limb motor function and cortical activation in chronic patients with stroke: a pilot study. *Journal of rehabilitation medicine*, 36(3), 117-123.

Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2020). Physioland—A serious game for physical rehabilitation of patients with neurological diseases. *Entertainment Computing*, 34, 100356.

Masiero, S., Poli, P., Rosati, G., Zanotto, D., Iosa, M., Paolucci, S., & Morone, G. (2014). The value of robotic systems in stroke rehabilitation. *Expert review of medical devices*, 11(2), 187-198.

Moreira, R., Lial, L., Monteiro, M. G. T., Aragão, A., David, L. S., Coertjens, M., ... & Teixeira, S. S. (2017). Diagonal movement of the upper limb produces greater adaptive plasticity than sagittal plane flexion in the shoulder. *Neuroscience letters*, 643, 8-15.

Mubin, O., Alnajjar, F., Al Mahmud, A., Jishtu, N., & Alsinglawi, B. (2020). Exploring serious games for stroke rehabilitation: a scoping review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1-7.

Neumann, D. A. (2010). *Cinesiologia do aparelho musculoesquelético: fundamentos para reabilitação*. Elsevier Health Sciences.

Phan, H. L., Kim, J. P., Kim, K., Hwang, C. H., & Koo, K. I. (2019). Wrist Rehabilitation System Using Augmented Reality for Hemiplegic Stroke Patient Rehabilitation: A Feasibility Study. *Applied Sciences*, 9(14), 2892.

Pollock, A., Farmer, S. E., Brady, M. C., Langhorne, P., Mead, G. E., Mehrholz, J., & van Wijck, F. (2014). Interventions for improving upper limb function after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (11).

Pressman, R., & Maxim, B. (2016). *Engenharia de Software- (8a ed.)* McGraw Hill Brasil.

Pulido, S. D., Bocanegra, Á. J., Cancino, S. L., & López, J. M. (2019). Serious game controlled by a human-computer interface for upper limb motor rehabilitation: A feasibility study. In *Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis*, 359-370. Springer, Cham.

Raffin, E., & Hummel, F. C. (2018). Restoring motor functions after stroke: multiple approaches and opportunities. *The Neuroscientist*, 24(4), 400-416.

Rick, S. R., Bhaskaran, S., Sun, Y., McEwen, S., & Weibel, N. (2019). NeuroPose: geriatric rehabilitation in the home using a webcam and pose estimation. In *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces: Companion*, 105-106.

Saadatnia, M., Shahnazi, H., Khorvash, F., & Esteki-Ghashghaei, F. (2020). The Impact of Home-Based Exercise Rehabilitation on Functional Capacity in Patients With Acute Ischemic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Home Health Care Management & Practice*, 32(3), 141-147.

Scherbakov, N., Von Haehling, S., Anker, S. D., Dirnagl, U., & Doehner, W. (2013). Stroke induced Sarcopenia: muscle wasting and disability after stroke. *International journal of cardiology*, 170(2), 89-94.

Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2014). Applying the user experience questionnaire (UEQ) in different evaluation scenarios. In *International Conference of Design, User Experience, and Usability*, 383-392. Springer, Cham.

Shahmoradi, L., Almasi, S., Ahmadi, H., Bashiri, A., Azadi, T., Mirbagherie, A., & Honarpishe, R. (2020). Virtual Reality Games for Rehabilitation of Upper Extremities in Stroke Patients. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*.

Soares, B. R., de Souza, B. M., da Silva, K. C. C., de Figueredo, R. C., Gonçalves, D. C., & Chaves, T. V. P. (2020). A realidade virtual na reabilitação do paciente com sequelas de acidente vascular encefálico: uma revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, 9(8), e734986253-e734986253.

Sommerville, I. (2011). *Software engineering 9th Edition*. ISBN-10, 137035152, 18.

Takahashi, K., Domen, K., Sakamoto, T., Toshima, M., Otaka, Y., Seto, M., & Hachisuka, K. (2016). Efficacy of upper extremity robotic therapy in subacute poststroke hemiplegia: an exploratory randomized trial. *Stroke*, 47(5), 1385-1388.

Vazquez, C. E., & Simões, G. S. (2016). *Engenharia de Requisitos: software orientado ao negócio*. Brasport.

Veerbeek, J. M., Kwakkel, G., van Wegen, E. E., Ket, J. C., & Heymans, M. W. (2011). Early prediction of outcome of activities of daily living after stroke: a systematic review. *Stroke*, 42(5), 1482-1488.

Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep learning for computer vision: A brief review. *Computational intelligence and neuroscience*, 2018.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Rodrigo Augusto Rocha Souza Baluz – 50%

José Everton da Silva Fontenele – 15%

Ariel Soares Teles – 10%

Renan Fialho do Nascimento – 05%

Rayele Pricila Moreira dos Santos – 05%

Victor Hugo do Vale Bastos – 05%

Silmar Silva Teixeira – 10%