



Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Faculdade de Engenharia Elétrica - FEELT
Graduação em Engenharia de Computação

JÚLIA TANNÚS DE SOUZA

**JOGO SÉRIO BASEADO EM REALIDADE VIRTUAL PARA
REABILITAÇÃO DE INDIVÍDUOS COM PARESIA DE MEMBRO
SUPERIOR DECORRENTE DE ACIDENTE VASCULAR
ENCEFÁLICO (AVE)**

Uberlândia
2019

JÚLIA TANNÚS DE SOUZA

**JOGO SÉRIO BASEADO EM REALIDADE VIRTUAL PARA
REABILITAÇÃO DE INDIVÍDUOS COM PARESIA DE MEMBRO
SUPERIOR DECORRENTE DE ACIDENTE VASCULAR
ENCEFÁLICO (AVE)**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2019

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e familiares, pela forte base de apoio, incentivo e suporte durante toda minha jornada de estudos.

Ao professor Edgard Afonso Lamounier Júnior, pela oportunidade, auxílio, disposição e orientação neste trabalho.

A toda a equipe do Grupo de Realidade Virtual e Aumentada e do Núcleo de Tecnologia Assistiva da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), pela generosidade e parceria.

Aos professores, intitulados ou não, que já passaram por minha vida e ajudaram nesta caminhada.

À Entidade Superior, pelas faculdades físicas e mentais que me possibilitam auxiliar os deficientes físicos.

A todos minha gratidão.

RESUMO

O AVE (Acidente Vascular Encefálico), também conhecido como AVC (Acidente Vascular Cerebral) ou derrame, é uma doença grave, que figura como a terceira maior causa de óbitos no mundo e a primeira causa de sequelas nos EUA. De fato, estudos mostram que cerca de 66% dos sobreviventes de um AVC terão seus membros superiores enfraquecidos e disfuncionais. Por isto, muitos sobreviventes de AVC, principalmente aqueles com sequelas, precisam de fisioterapia para recuperação de suas habilidades motoras. Sabe-se que a reabilitação efetiva deve ser intensiva e repetitiva, o que leva ao desafio de como manter os pacientes motivados. Por isto, neste trabalho, é apresentado um jogo sério, com técnicas de Realidade Virtual, que tem o objetivo de auxiliar nos exercícios de reabilitação de membros superiores pós-AVC. Seu desenvolvimento foi auxiliado pelo mestrando Gabriel Cyrino no Grupo de Realidade Virtual e Aumentada da Universidade Federal de Uberlândia. Apesar de existirem iniciativas semelhantes na literatura, o diferencial desta proposta se baseia em três fundamentos: o fotorrealismo do jogo, a possibilidade de integrar resultados do jogo com cadastros médicos dos pacientes, a partir daí a habilidade do profissional de saúde configurar o jogo para atender a novos protocolos de reabilitação e finalmente a integração com um sensor de movimentos que dará apoio aos movimentos do braço.

ABSTRACT

Vascular Encephalic Accident (VEA), also known as Cerebrovascular Accident (CVA) or stroke is a serious disease, which is the third leading cause of death in the world and the number one cause of sequelae in the United States. In fact, studies show that about 66% of stroke survivors will have their limbs weakened and dysfunctional. Because of this, many stroke survivors, especially those with sequelae, need physical therapy to recover their motor skills. It is known that effective rehabilitation must be intensive and repetitive, which leads to the challenge of how to keep patients motivated. Therefore, in this work, a serious game is presented, with Virtual Reality techniques, which aims to assist in rehabilitation exercises of upper limbs post-stroke. Its development was assisted by the master student Gabriel Cyrino in the Virtual and Augmented Reality Group of the Federal University of Uberlândia. Although there are similar initiatives in the literature, the differential of this proposal is based on three fundamentals: the game's photorealism, the possibility of integrating game results with patients' medical records, from there the health professional's ability to configure the game to attend to new rehabilitation protocols and finally integration with a motion sensor that will support arm movements.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tipos de AVC.....	13
Figura 2: Paresia do membro superior após AVC.....	15
Figura 3-a: Elevação e depressão escapular.....	17
Figura 3-b: Protração e retração escapular.....	17
Figura 3-c: Abdução e adução do braço.....	17
Figura 3-d: Rotação interna e externa do braço.....	18
Figura 3-e: Flexão e extensão do braço.....	18
Figura 3-f: Flexão e extensão do cotovelo.....	18
Figura 4-a: Exercício de empurrar e puxar uma lixa sobre uma mesa.....	19
Figura 4-b: Movimentos em semicírculos.....	19
Figura 4-c: Atividade unimanual com rotação de tronco	20
Figura 5: Wii Remote	21
Figura 6: Sensor Kinect	22
Figura 7: Bracelete Myo no antebraço de um sujeito.....	22
Figura 8: Jogo "Arrow Attack", para reabilitação de pacientes pós AVC.....	24
Figura 9: Jogo "Helicopter"	24
Figura 10: Jogo desenvolvido sendo controlado por meio do sensor Myo	26
Figura 11-a: Treinamento	27
Figura 11-b: Nível 1	27
Figura 11-c: Nível 2.....	28

Figura 11-d: Nível 3	29
Figura 11-e: Nível 4.....	30
Figura 11-f: Nível 5	30
Figura 12: Ambiente modelado no software World Machine.....	31
Figura 13: Ambiente final composto no Unreal Engine	32
Figura 14: Modelagem e texturização do crocodilo. Resultado final no ambiente.....	33
Figura 15: Predadores na fase 3. (a)Tigre; (b) Cobra; (c) Crocodilo	34
Figura 16: Movimento do braço com Myo e correspondente animação da harpia	35
Figura 17: Painel de Controle.....	36
Figura 18: Sistema de avaliação da espasticidade	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVC - Acidente Vascular Cerebral

RV - Realidade Virtual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTO E PROBLEMA	11
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo Geral.....	12
1.2.2	Metas.....	12
1.3	JUSTIFICATIVA	13
2	FUNDAMENTOS.....	13
2.1	ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL (AVC).....	13
2.2	SEQUELAS DO AVC	14
2.3	ESTÁGIOS DA RECUPERAÇÃO MOTORA	16
2.4	ABORDAGEM TRADICIONAL PARA REABILITAÇÃO PÓS-AVC	17
2.5	MOVIMENTOS DAS ARTICULAÇÕES	17
2.6	EXERCÍCIOS DE REEDUCAÇÃO MOTORA DO MEMBRO SUPERIOR	20
2.7	REALIDADE VIRTUAL (RV)	21
2.8	JOGO SÉRIO	21
2.9	DISPOSITIVOS DE ENTRADA.....	22
2.10	REABILITAÇÃO COM JOGOS SÉRIOS E RV.....	23
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1	TRABALHOS SEMELHANTES	24
4	METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	26

4.1	MOTOR DE JOGOS	26
4.2	PROJETO DO JOGO	26
4.3	MODELAGEM GEOMÉTRICA DO AMBIENTE VIRTUAL.....	32
4.3.1	Composição da floresta.....	32
4.3.2	Modelagem e texturização dos animais	34
4.3.3	Modelagem comportamental.....	34
4.4	PAINEL DE CONTROLE	37
4.5	SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA ESPASTICIDADE.....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6	CONCLUSÃO	39

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E PROBLEMA

O Acidente Vascular Cerebral (AVC), ou Acidente Vascular Encefálico (AVE), popularmente chamado de derrame cerebral, é uma doença grave e muito frequente. Segundo relatório da American Heart Association (2019), as doenças vasculares coronárias atualmente exigem mais vidas a cada ano do que o câncer e a doença pulmonar crônica combinadas. Das doenças vasculares coronárias, o AVC é a segunda causa de morte nos Estados Unidos. Neste país, a cada ano, aproximadamente 795.000 pessoas sofrem um AVC novo ou recorrente, ou seja, em média, uma pessoa a cada 40 segundos (BENJAMIN *et al.*, 2019).

Em relação às complicações e recuperação de AVC, esta doença é uma das principais causas de deficiências graves a longo prazo nos Estados Unidos (pesquisa do *US Census Bureau*). Cerca de 3% dos homens e 2% das mulheres neste país relatam serem incapacitados por causa de derrame (BENJAMIN *et al.*, 2019).

A alteração da função dos membros superiores é uma das maiores queixas referidas pelos doentes, devido ao comprometimento de destreza durante a execução das atividades diárias (SALIBA *et al.*, 2017) . Assim, a reaprendizagem de habilidades motoras específicas é considerada o principal foco durante a reabilitação desta classe especial de indivíduos.

Pacientes em recuperação pós-AVC tipicamente participam de alguma forma de programa terapêutico, que geralmente consiste em o paciente realizar centenas de movimentos repetidos sob a supervisão de um terapeuta em uma sessão individual (LANGHORNE *et al.*, 2017). Estudos mostram que a aumentar a quantidade e intensidade dos exercícios resulta em melhor recuperação (KWAKKEL *et al.*, 1997). Em adição, resultados de terapia mostram que a recuperação da extremidade superior (braços) tem uma progressão mais lenta que a dos membros inferiores e, geralmente, necessita terapia domiciliar, além da ambulatorial (VAN DER LEE *et al.*, 1999).

Porém, enquanto os terapeutas prescrevem um regime de exercícios em casa para a maioria dos pacientes, um estudo com sobreviventes de AVC indicou que apenas 31% deles realmente realizam esses exercícios conforme recomendado. Dentre os fatores pelos quais os outros 69% não praticam, são citados falta de motivação, problemas sociais, sensações desagradáveis

associadas ao exercício físico e falta de conhecimento sobre os benefícios do exercício (SHAUGHNESSY *et al.*, 2006).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um jogo sério baseado em Realidade Virtual (RV) que auxilie na reabilitação de pacientes que sofreram AVC e tiveram paresia dos membros superiores como seqüela. O jogo deve ser, ao mesmo tempo, agradável e efetivo, a fim de reconquistar a qualidade de vida dos pacientes.

1.2.2 Metas

- Investigar técnicas de interação, visualização, imersão e navegação para proporcionar a melhor experiência para o usuário;
- Averiguar técnicas e ferramentas de modelagem 3D e motores de jogos disponíveis atualmente que entreguem um resultado fotorrealista do ambiente virtual;
- Avaliar a melhor associação entre plataformas de jogos sérios e Realidade Virtual para reabilitação;
- Discutir com profissionais de saúde os requisitos para transformar a reabilitação tradicional em jogo;
- Projetar e desenvolver o jogo sério com os requisitos necessários;
- Projetar e desenvolver uma camada de integração entre a captura de movimentos e os comandos do jogo sério, usando RV;
- Avaliar o arcabouço desenvolvido com voluntários saudáveis.

1.3 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, têm-se observado que jogos virtuais atendem aos requisitos para ambientes de aprendizagem eficazes: são experiências ativas e têm a capacidade de fornecer motivação intrínseca (PARAS *et al.*, 2005). Ao diminuir a monotonia de centenas de movimentos repetidos e fornecer *feedback* de desempenho, os jogos podem aumentar tanto a qualidade quanto a quantidade da terapia pós-AVC domiciliar (ALANKUS *et al.*, 2010).

Por isso, aplicações de Realidade Virtual (RV) e jogos vêm sendo combinadas com a reabilitação convencional (RC) para a melhoria dos movimentos do braço após o AVC. Em um estudo observacional com este tipo de pacientes, verificou-se melhora de 14,7% no comprometimento motor e de 20,1% na função motora após treinamento em RV (SAPOSNIK *et al.*, 2011). Em outro estudo, desta vez com crianças com paralisia cerebral, observou-se que maior diversão e prazer foram expressos durante os exercícios de RV e que a amplitude de movimento e o tempo de espera na posição alongada também foram maiores (BRYANTON *et al.*, 2006). Adicionalmente, Kiper *et al.* (2018) concluíram que a terapia em RV combinada com o tratamento convencional promove melhores resultados para o membro superior do que a mesma quantidade do tratamento convencional, independentemente da etiologia do AVC.

Além disso, a Entertainment Software Association (ESA, com sede nos Estados Unidos), em seu relatório intitulado “The 2015 Essential Facts About the Computer and Video Game Industry”, mostrou que dos 155 milhões de americanos que jogam videogames, 44% tem idade acima de 36 anos. Nos dias atuais, a maioria dos indivíduos que sofrem AVC estão nesta faixa etária. Por outro lado, tem se observado que o número de pessoas mais jovens que são acometidas de um derrame cerebral vem aumentando em várias partes do mundo, em porcentagens alarmantes (BÉJOT *et al.*, 2016). Assim, o jogo sério pode atingir pessoas de diversas faixas etárias com este quadro clínico.

2 FUNDAMENTOS

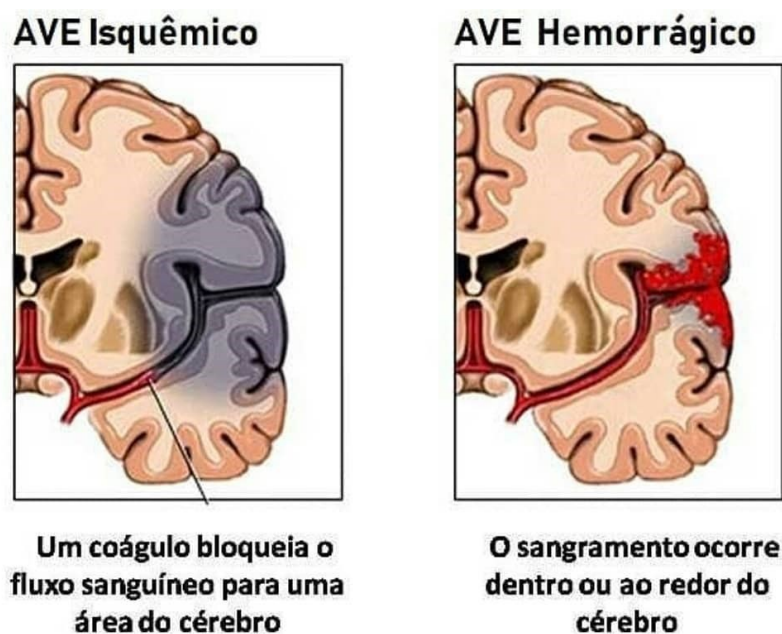
2.1 ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL (AVC)

Acidente Vascular Cerebral (AVC), ou Acidente Vascular Encefálico, vulgarmente chamado de derrame cerebral, é caracterizado pela perda rápida de função neurológica. Esta é

uma doença grave e muito frequente. De fato, estatísticas brasileiras apontam o AVC como principal causa de óbitos neste país, superando infarto. É a terceira maior causa de óbitos no mundo e primeira causa de sequelas nos E.U.A. (TEIXEIRA *et al.*, 2003).

Existem duas classificações principais de AVC: o isquêmico e o hemorrágico. O primeiro caracteriza-se pela interrupção do fluxo sanguíneo em uma determinada área do encéfalo, decorrente do entupimento de vasos sanguíneos cerebrais. Seus danos devem-se aos minutos sem aporte sanguíneo. O segundo deve-se à ruptura de vasos intracranianos. Neste caso, os sintomas ocorrem por compressão de nervos ou aumento da pressão intracraniana (Figura 1) (TEIXEIRA *et al.*, 2003).

Figura 1: Tipos de AVC.



Fonte: Derrame - Acidente Vascular Cerebral. Disponível em:

<<http://artedocuidarnasaude.blogspot.com/2013/05/derrame-acidente-vascular-cerebral.html>>, fev. 2019.

2.2 SEQUELAS DO AVC

Após a ocorrência do AVC, os sintomas começam de repente, de segundos a minutos. A localização e a extensão da lesão cerebral, a quantidade de fluxo sanguíneo colateral e o quão precoce é o tratamento determinam a gravidade dos déficits neurológicos em um paciente individual (O'SULLIVAN e SCHMITZ, 2007).

Por exemplo, se a área do cérebro afetada incluir uma das três vias proeminentes do Sistema Nervoso Central, os sintomas podem incluir:

- hemiplegia (paralisia de metade sagital do corpo) (Figura 2) e fraqueza muscular do rosto;
- dormência;
- redução na sensação sensorial ou vibratória;
- flacidez inicial (tônus muscular reduzido), substituída por espasticidade (aumento do tônus muscular), reflexos excessivos e sinergias obrigatórias (quando um músculo é ativado, todos os músculos do mesmo grupo também serão) (O'SULLIVAN e SCHMITZ, 2007).

Na maioria dos casos, os sintomas afetam apenas um lado do corpo (unilateral). Dependendo da parte do cérebro afetada, o defeito no cérebro é geralmente no lado oposto do corpo.

Se o córtex cerebral estiver envolvido, também podem produzir os seguintes sintomas:

- afasia (dificuldade de expressão verbal, compreensão auditiva, leitura e escrita);
- disartria (distúrbio de fala motor resultante de lesão neurológica);
- apraxia (movimentos voluntários alterados);
- defeito do campo visual;
- déficits de memória (envolvimento do lobo temporal);
- pensamento desorganizado, confusão;
- falta de discernimento de sua deficiência (O'SULLIVAN e SCHMITZ, 2007).

Além dos aspectos clínicos, o AVC afeta relações pessoais, familiares, sociais, mentais e, sobretudo, a qualidade de vida.

Ademais, estudos mostram que cerca de 66% dos sobreviventes de um AVC terão seus membros superiores enfraquecidos e disfuncionais (BURKE *et al.*, 2010). A alteração da função dos membros superiores é uma das maiores queixas referidas pelos doentes, devido ao comprometimento de destreza durante a execução das atividades diárias (SALIBA *et al.*, 2008). Assim, a reaprendizagem de habilidades motoras específicas é considerada o principal foco durante a reabilitação desta classe especial de indivíduos.

Figura 2: Paresia do membro superior após AVC.



Fonte: AMERICAN HEART ASSOCIATION et al., 2005.

2.3 ESTÁGIOS DA RECUPERAÇÃO MOTORA

Embora varie conforme o indivíduo, existe um padrão geral de recuperação motora, inicialmente descrito por Twitchell e Brunnstrom e confirmado por outros pesquisadores. Segundo Brunnstrom, o retorno neurológico após o AVC pode ser dividido em sete fases:

- Fase I: Flacidez imediata. Não há presença de atividade reflexa ou voluntária nas extremidades atingidas.
- Fase II: Início do aparecimento da espasticidade. Alguns movimentos começam a aparecer.
- Fase III: A espasticidade torna-se mais evidente, atingindo o seu grau máximo. Os movimentos das sinergias básicas são controlados voluntariamente.
- Fase IV: A espasticidade começa a perder sua intensidade, e aparecem os movimentos desviados das sinergias.
- Fase V: Espasticidade esboçada.
- Fase VI: Espasticidade praticamente ausente e contração muscular isolada pode ser efetuada.
- Fase VII: Restauração completa da função motora. Coordenação praticamente normal (FREITAS, 2000).

É importante saber que o processo de retorno neurológico obedece sempre à esta sequência, porém pode estacionar em qualquer uma das fases, dependendo da extensão da lesão cerebral. Observa-se que a maioria dos pacientes estaciona na fase III. Adicionalmente, percebe-se que a recuperação maciça dá-se no primeiro mês e, após seis meses, muito pouco avanço é alcançado em termos de funcionalidade (FREITAS, 2000).

2.4 ABORDAGEM TRADICIONAL PARA REABILITAÇÃO PÓS-AVC

Pacientes com deficiências residuais moderadas ou graves ou limitações funcionais podem se beneficiar da reabilitação intensiva em um centro de reabilitação. Esta consiste geralmente em um programa de exercícios repetitivos. A resposta à reabilitação depende de quão precoce ela começa, do comprometimento cognitivo, motivação e resistência do paciente, entre outros fatores.

Geralmente, uma equipe de especialistas, incluindo médico, enfermeiro, fisioterapeuta, terapeuta ocupacional, psicólogo, fonoaudiólogo, entre outros, é requerida para o programa de reabilitação. O paciente, a família e os cuidadores também são membros importantes da equipe e devem estar envolvidos em todas as decisões relacionadas às necessidades de saúde, bem-estar e *fitness*.

Os serviços de reabilitação mais de 6 meses após o AVC (fase crônica) são normalmente realizados em uma unidade de reabilitação ambulatorial ou em casa. Esses serviços são prescritos para o paciente que recebe alta hospitalar e necessita de reabilitação contínua. A intensidade é por exemplo, 60 a 90 minutos por visita, duas a três vezes por semana. O paciente e a família são então instruídos em um programa de exercícios domiciliares e educados sobre a importância de manter os níveis de exercício (O'SULLIVAN e SCHMITZ, 2007).

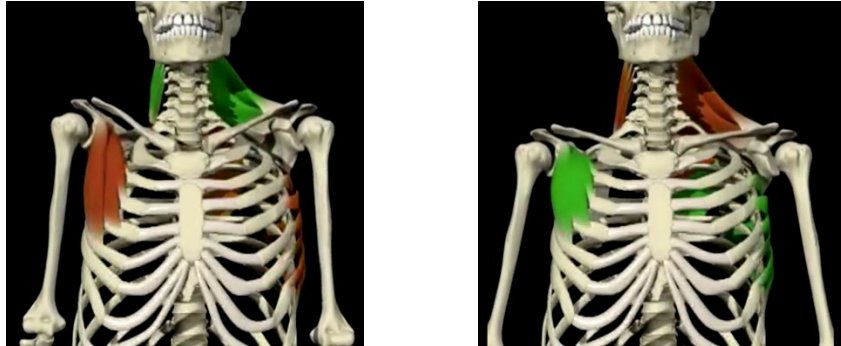
2.5 MOVIMENTOS DAS ARTICULAÇÕES

Cada articulação do membro superior possui possibilidades individuais de movimentação. Há uma nomenclatura para os movimentos e é importante sabê-la para entender os exercícios que precisam ser trabalhados na reabilitação. A seguir, os movimentos que são direta ou indiretamente provocados através da interação no jogo do trabalho atual:

Ombro

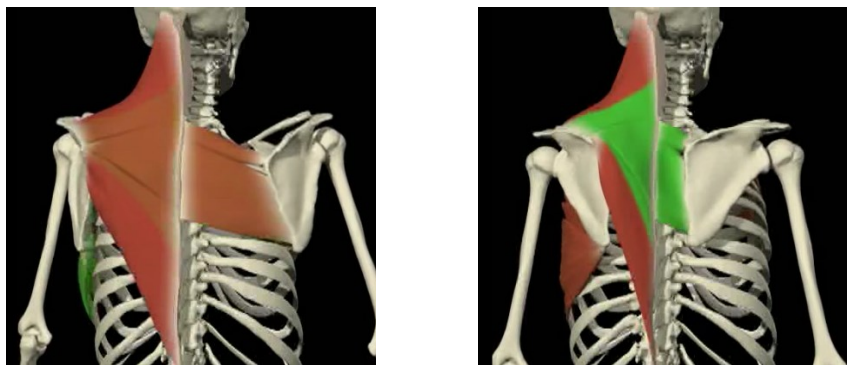
- Elevação e depressão escapular

Figura 3-a: Elevação e depressão escapular;



- Protração e retração escapular

Figura 3-b: Protração e retração escapular;



Braço

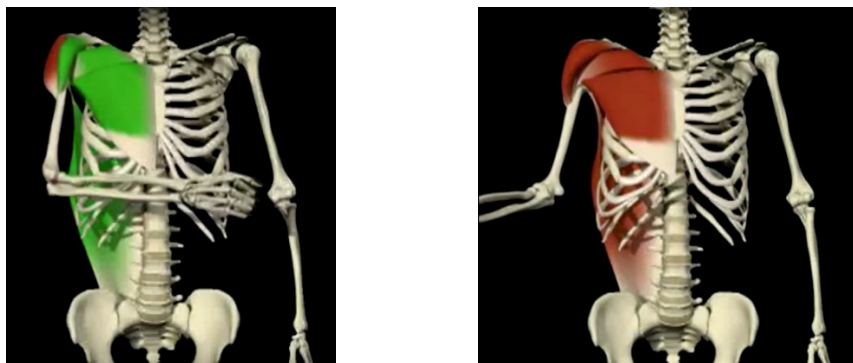
- Abdução e adução do braço

Figura 3-c: Abdução e adução do braço;



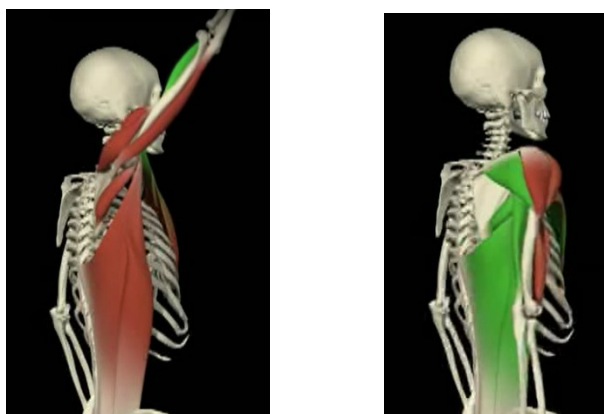
- Rotação interna e externa do braço

Figura 3-d: Rotação interna e externa do braço;



- Flexão e extensão do braço

Figura 3-e: Flexão e extensão do braço;



Cotovelo

- Flexão e extensão do cotovelo (FREITAS, 2000)

Figura 3-f: Flexão e extensão do cotovelo.



2.6 EXERCÍCIOS DE REEDUCAÇÃO MOTORA DO MEMBRO SUPERIOR

O objetivo deste projeto é auxiliar pacientes nas fases III e IV de recuperação neurológica. A seguir exemplos de exercícios de reeducação motora recomendados nestas fases e que se correlacionam com a movimentação requerida no jogo:

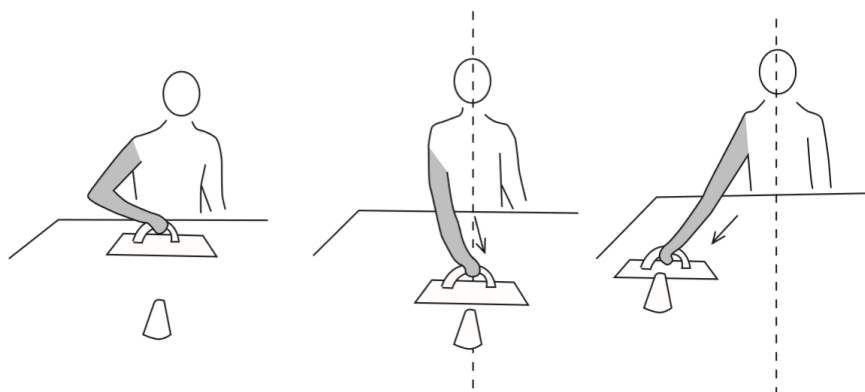
- **Fase III**

Esta é a fase da espasticidade em seu grau máximo. O objetivo nesta fase é trabalhar no sentido de estimular movimentos desviados das sinergias básicas, iniciando a independência de cada músculo (FREITAS, 2000).

Freitas (2000) sugere o uso de uma lixa unimanual que o paciente deve movimentar sobre uma mesa:

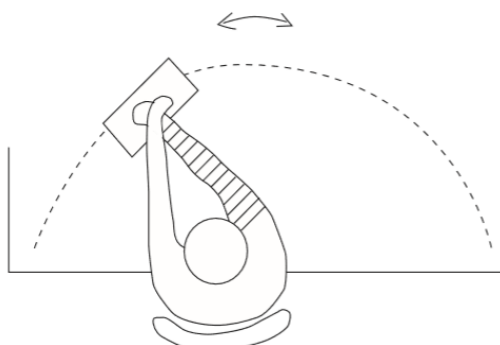
- iniciar com movimentos de empurrar e puxar;

Figura 4-a: Exercício de empurrar e puxar uma lixa sobre uma mesa;



- movimentos em semicírculos, flexionando o cotovelo.

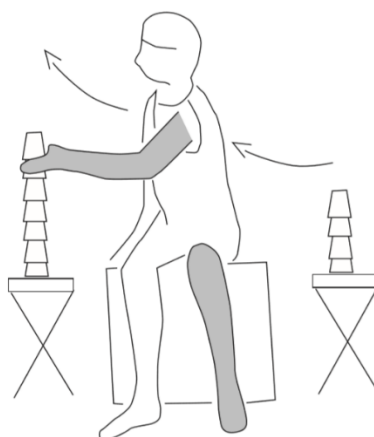
Figura 4-b: Movimentos em semicírculos;



- **Fase IV**

Esta é a fase em que espasticidade inicia o seu declínio. Para esta fase, Freitas (2000) sugere, por exemplo, que o paciente desempilhe cones de um lado do corpo e os empilhe do outro lado, exigindo, assim, rotações do tronco e movimentos independentes das sinergias básicas.

Figura 4-c: Atividade unimanual com rotação de tronco.



Fonte: FREITAS, 2000.

2.7 REALIDADE VIRTUAL (RV)

A Realidade Virtual (RV) é uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, propiciando a visualização, movimentação e interação do usuário, em tempo real, em ambientes tridimensionais gerados por computador (KIRNER e SISCOOTTO, 2007). O jogo aqui desenvolvido é baseado em RV por possuir as características anteriormente citadas.

2.8 JOGO SÉRIO

Jogo sério (ou *serious game*) é uma categoria de jogos desenvolvida para abordar aspectos que não apenas o de entretenimento. Visa, principalmente, a simulação de situações do dia-a-dia, com o objetivo de melhorar a aprendizagem ou proporcionar treinamento em diversos casos (MACHADO *et al.*, 2009). Recentemente, observa-se uma tendência de se integrar ambientes de RV e jogos sérios em sistemas de reabilitação motora.

2.9 DISPOSITIVOS DE ENTRADA

Os dispositivos de entrada são os que possibilitam capturar os movimentos do usuário e traduzir em interação no jogo. Há vários controles disponíveis no mercado atualmente, inclusive alguns que já foram estudados para jogos de reabilitação de membros superiores em pacientes pós-AVC. Os dois dispositivos mais presentes nesse tipo de estudo são:

- **Wii Remote**

O Wii Remote é o controle principal do console Wii da Nintendo. Ele capta o movimento através de três acelerômetros embutidos e de um sensor infravermelho. A comunicação do controle é feita via Bluetooth, sendo possível jogar até uma distância de 10 metros do console (website Nintendo Wii – Hardware Information, 2019).

Figura 5: Wii Remote.



Fonte: Oh-moo on ja.wikipedia - 投稿者が撮影（画像処理済）, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1287228>

- **Kinect**

Kinect é um sensor de movimentos desenvolvido para o console Xbox pela empresa Microsoft. Possui um sensor de profundidade infravermelho, que permite que o acessório escaneie o ambiente a sua volta em três dimensões. É conectado por meio de uma porta USB 2.0. Sua proposta é detectar 48 pontos de articulação do nosso corpo. Em outubro de 2017, a produção do Kinect foi encerrada (website Kinect for Windows, 2019).

Figura 6: Sensor Kinect.



Fonte: Kinect_Sensor_at_E3_2010_(front).jpg; James Pfaff (litheon)derivative work: AlphathonTM (talk)Captions by Dancter (talk) (added to this version by AlphathonTM (talk)) [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)]

Para o presente trabalho, foi testado o seguinte dispositivo:

- **Myo**

Myo é um dispositivo produzido pela empresa Thalmic Labs. Ele é vestível por meio de um bracelete colocado no antebraço e permite detectar movimentos musculares do braço e mão usando um conjunto de sensores eletromiográficos (EMG), combinados com um giroscópio, acelerômetro e magnetômetro para reconhecer gestos (website Myo Tech Specs, 2018).

Figura 7: Bracelete Myo no antebraço de um sujeito.



Fonte: <<https://timedotcom.files.wordpress.com/2016/01/myo-on-arm-wave.jpg>>. Acesso em: mai. 2019.

2.10 REABILITAÇÃO COM JOGOS SÉRIOS E RV

Conforme apresentado anteriormente, a base da terapia convencional é a repetição de exercícios. Evidências recentes em estudos indicam que a prática intensa pode ser necessária para modificar a organização neural e recuperar habilidades motoras em pacientes que sofreram algum dano por AVC.

Alguns métodos terapêuticos atuais incluem o uso de RV e videogames para reabilitação. Essas formas de reabilitação oferecem potencial para motivar os pacientes a realizar tarefas terapêuticas específicas que muitas outras formas não realizam. Um jogo em RV é capaz de

criar um ambiente interativo no qual a prática intensa e feedback podem ser manipulados de forma a criar tratamentos individualizados para treinar novamente os movimentos. Observou-se através de estudos com pacientes pós-AVC bons resultados de reabilitação motora (MERIANS *et al.*, 2002). Muitas clínicas e hospitais estão adotando o uso desses dispositivos de prateleira para exercícios, interação social e reabilitação porque são acessíveis e podem ser usados dentro da clínica e em casa (O'SULLIVAN e SCHMITZ, 2007).

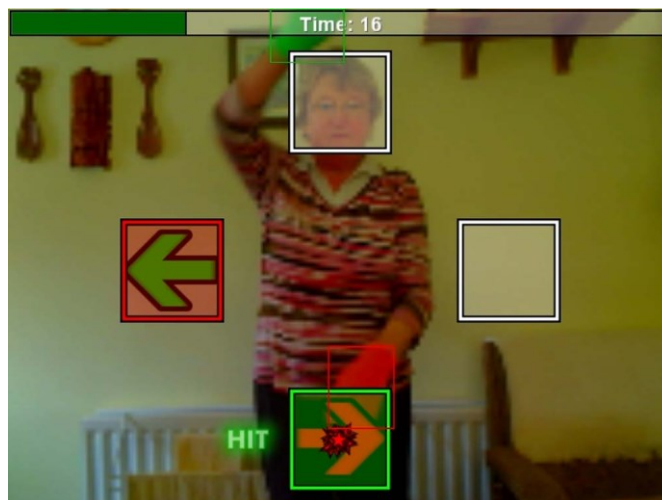
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TRABALHOS SEMELHANTES

O trabalho de FUNABASHI *et. al.* (2017) mostra um jogo no qual o paciente deve associar duas imagens diferentes com significados complementares, usando um sensor de movimento para arrastar a imagem para o alvo. Para avaliar o jogo, um experimento inicial foi realizado com os pacientes. Os resultados mostram que, nas rodadas disputadas pelos participantes do experimento, o número de associações erradas feitas por eles varia de acordo com o paciente, sem padrão encontrado. O engajamento tende a aumentar durante o uso do jogo, conforme as rodadas.

No trabalho de BURKE, *et. al.* (2009), são identificados princípios de design de jogos para a reabilitação de membros superiores pós-AVC e apresentados vários jogos desenvolvidos usando esses princípios. Os jogos usam tecnologia de captura de vídeo através de *webcam* para captar o movimento do usuário. Um dos jogos, chamado "Arrow Attack", apresenta ao jogador duas setas, uma apontando para a esquerda e outra para a direita (para o braço esquerdo e direito, respectivamente), que se movem entre as quatro caixas exibidas na tela. O jogador deve tentar tocar as duas setas simultaneamente ao chegar a cada caixa, usando a mão correta (Figura 8). As pontuações das tentativas são salvas e podem ser visualizadas posteriormente. Os resultados da avaliação dos jogos com pessoas com AVC em suas casas foram encorajadores.

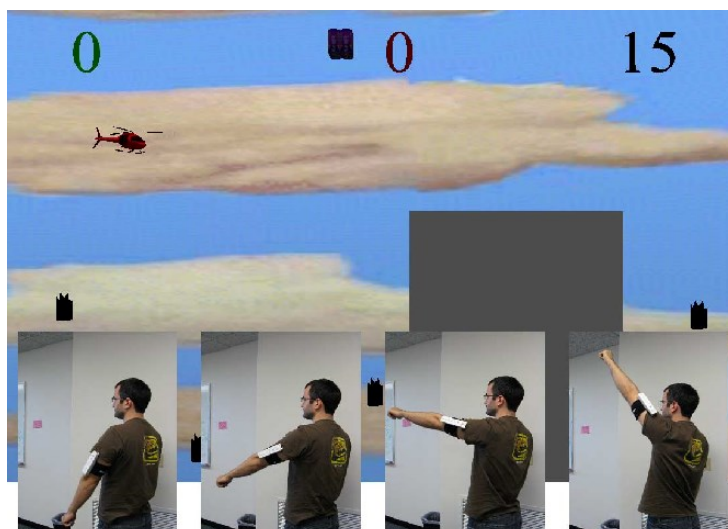
Figura 8: Jogo "Arrow Attack", para reabilitação de pacientes pós AVC.



Fonte: BURKE et al., 2009.

O artigo de ALANKUS et. al. (2010) descreve a produção e teste de 9 jogos de reabilitação de pacientes pós-AVC com pacientes e terapeutas. Um destes jogos é o "Helicopter". Ele usa um controle remoto Wii como dispositivo de entrada de dados para detectar a flexão do ombro e, conseqüentemente, mover um helicóptero sobre um plano 2D que se movimenta horizontalmente. O jogador o controla verticalmente para evitar atingir os edifícios e recolher células de combustível no ar (Figura 9). Os autores então descrevem as lições que aprenderam sobre o que torna os jogos úteis do ponto de vista terapêutico.

Figura 9: Jogo "Helicopter".



Fonte: ALANKUS et al., 2010).

4 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

4.1 MOTOR DE JOGOS

Unreal Engine é um motor de jogos livre para produções sem fins lucrativos. É desenvolvido e utilizado pela empresa Epic Games, que desenvolve jogos de alta qualidade gráfica e popularidade mundial. Este foi o software escolhido para desenvolvimento do jogo.

4.2 PROJETO DO JOGO

O enredo escolhido para o jogo foi: uma harpia (gavião-real) voa por uma floresta, controlada pelo braço do paciente através da captura de movimentos do dispositivo Myo (Figura 10). Ao longo de várias fases, em dificuldade progressiva, a harpia deve coletar gravetos e comida (peixes e carne) para construir um ninho e, posteriormente, alimentar seus filhotes, ao mesmo tempo em que foge de predadores (crocodilos, tigres e cobras) da floresta.

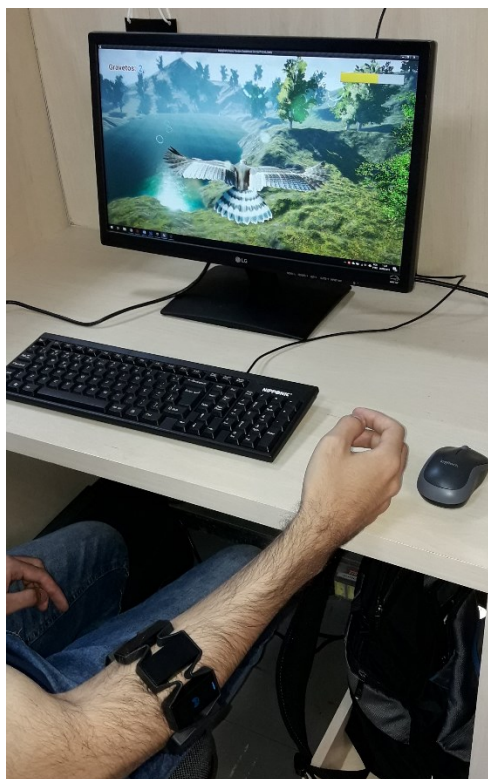
O jogo foi feito em terceira pessoa e em 3D, com a câmera atrás do personagem, pois os autores acreditam que isto facilita o entendimento do paciente a respeito dos movimentos a serem realizados. Ademais, os autores acreditam que um ambiente de floresta realista é mais atraente para os pacientes, em sua maioria idosos.

Além disso, o motivo pelo qual foi escolhido o voo livre como modo de deslocamento é a possibilidade de uma maior gama de movimentos, pela liberdade de locomoção no solo e no ar. A harpia movimenta-se permanentemente para frente. Portanto, sobram dois eixos de movimentação. Para o eixo cima-baixo, os movimentos correspondentes são flexão e extensão do cotovelo. Já a rotação interna e externa do braço possibilita a movimentação no eixo direita-esquerda. Os outros movimentos do ombro e braço anteriormente citados são feitos de forma indireta (Ver Figura 3 a-f). A movimentação requerida no jogo é similar ao exercício proposto na Figura 4 a-c. Também são trabalhados o alcance e precisão na captura de diversos itens.

Adicionalmente, áudio e visuais para o público idoso também foram levados em consideração. O ambiente é colorido e possui alto contraste. Há efeitos sonoros indicando perigo, atenção e que tarefas foram completas, além de música de fundo envolvente e sons dos

animais. Os itens a serem coletados pela floresta possuem sinal visual opcional para pacientes com dificuldades visuais.

Figura 10: Jogo desenvolvido sendo controlado por meio do sensor Myo.



Fonte: Autoria própria.

Especificamente, as fases do jogo são:

Treinamento - Objetivo: "Siga as setas"

Neste primeiro contato, é feito um treinamento com o paciente, que deve seguir a direção de algumas setas com o braço. As setas começam com a cor vermelha e, conforme o paciente movimenta o braço na direção das mesmas, elas vão mudando de cor para verde, indicando que o movimento foi satisfatório. Neste treinamento, é esperado que o paciente se habitue com o controle via movimento de braço e conseqüente reflexo no personagem virtual. É também treinada a extensão dos braços nas quatro direções.

Figura 11-a: Treinamento;



A seguir, começam os níveis com barra de vida. Neles, caso a vida se esgote, o mesmo nível é reiniciado e seu progresso perdido. Nos níveis nos quais há simultaneamente peixes e carnes, é dado bônus de vida caso seja capturado o item que não é o objetivo do nível. Nos níveis nos quais há predadores (cobras, tigres e crocodilos), ao aproximar-se dos mesmos o personagem perde vida.

Nível 1 - Objetivo: "Passe pelos anéis luminosos"

Concluído o treinamento, será requerido ao paciente passar dentro de vários anéis. Neste nível, é necessário que o paciente faça movimentos suaves com o braço, idealmente não perdendo a trajetória na qual estão os anéis.

Figura 11-b: Nível 1;



Nível 2 - Objetivo: "Pesque 5 peixes"

Ao completar o nível anterior, é requerido ao paciente pescar 5 peixes no lago. Para pescar um peixe, o paciente deve aproximar-se o suficiente da água onde o peixe está, sem porém, mergulhar, o que faz o personagem perder vida. Neste nível também há carnes (ganha vida). Nesta fase, é trabalhado em especial os movimentos de flexão e extensão rápida do cotovelo, similar ao movimento feito por pescadores na vida real.

Figura 11-c: Nível 2;



Nível 3 - Objetivo: "Cace 5 carnes"

No nível 3, o paciente deve procurar e capturar 5 pedaços de carne pela floresta. Auxílio visual é habilitado pelo Painel de Controle e consiste em luzes azuis. Também há neste nível predadores e peixes.

Figura 11-d: Nível 3;



Nível 4 - Objetivo: "Construa um ninho"

Agora, o paciente deve conduzir o personagem de forma a encontrar 5 gravetos espalhados pela floresta e, ao final, levá-los até a árvore dourada, construindo o ninho. A partir deste nível, todos os animais e itens interativos estão disponíveis.

Figura 11-e: Nível 4;



Nível 5 - Objetivo: "Alimente seus filhotes"

Neste nível, a harpia deve coletar alimentos pela floresta (peixes, carne), fugir dos predadores e levar os alimentos até seu ninho, cuidando de seus filhotes. Nos três últimos níveis, o objetivo é trabalhar a precisão dos movimentos, já que há predadores dificultando a captura de alguns objetos, assim, o movimento deve ser certo para não perder vida.

Figura 11-f: Nível 5;



Modo livre

Após finalizado o nível 5, o ambiente é liberado para exploração livre, sem pontuação e objetivos.

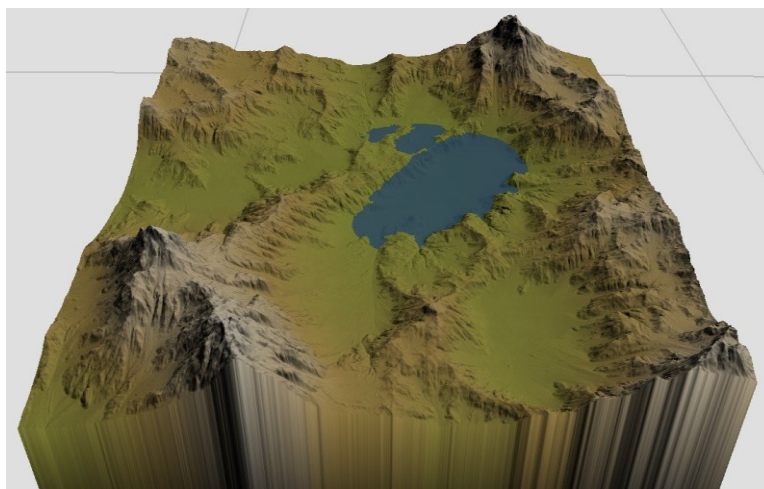
4.3 MODELAGEM GEOMÉTRICA DO AMBIENTE VIRTUAL

4.3.1 Composição da floresta

Em primeiro lugar, foi modelado o terreno montanhoso do ambiente virtual. Para isto, foi utilizado um software chamado World Machine. Ele possui um conjunto de ferramentas procedurais para criar terrenos, as quais simulam o mundo real. Seu fluxo de trabalho é gráfico e consiste na conexão de nós que calculam um algoritmo ou filtro e resultam em saídas na forma de mapas de altura (*heightmaps*), os quais são usados no Unreal Engine para geração de terreno e sua texturização. Disponibiliza uma licença de uso para projetos não comerciais apenas com limite de resolução do mapa de alturas (website World Machine: The Premier 3D Terrain Generator).

Para obter um relevo montanhoso básico, no World Machine foram conectados os nós das ferramentas que calculam ruído Perlin e adicionam terraços. A seguir, foi adicionada erosão de água através da subtração do *Flow Map*. O terreno foi então colorizado e nele simulado o nível de água, criando um lago. O resultado obtido é mostrado na Figura 12.

Figura 12: Ambiente modelado no software World Machine.



Fonte: Autoria própria.

Após isto, foi criado um terreno (landscape) no Unreal Engine, através dos mapas de altura gerados no World Machine. Por meio dos mapas de colorização e da criação de materiais de rocha e grama no Unreal Engine, o terreno foi texturizado.

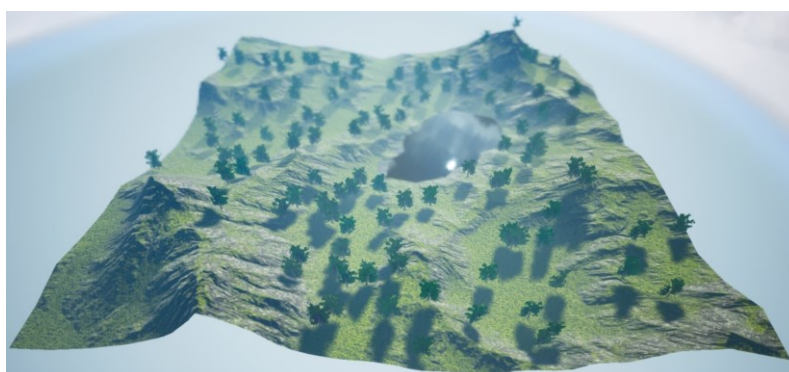
Em seguida, foi feita uma árvore no software SpeedTree for UE4, que possibilita gerar árvores proceduralmente. O modo export-only é disponível livremente para todos (website UE4

- SpeedTree). Adicionalmente, usando objetos 3D de uso livre obtidos nos projetos de demonstração do Unreal Engine (grama, flores e pedras), foi composta a vegetação da floresta. A vegetação foi disposta proceduralmente através das ferramentas de grama (*Grass Tools*) e de folhagem (*Foliage Tool*) do motor de jogos.

No Unreal Engine, foi, então, criado o lago da floresta, que é nada mais que um plano 2D com um material de água, feito através da conexão de nós de expressões e funções do motor de jogos. Para criar uma água realista, foram adicionadas três cores de água com transição entre elas, criada transição de opacidade ao entrar em contato com o terreno com uma cor branca para simular espuma, colocado o mesmo índice de refração da água, ajustada a aspereza, reflexos e cores até conseguir um resultado realista. Para criar a ilusão de que a água possui ondas em movimento sem que o custo computacional seja alto, foram usados dois *Normal Maps* (tipo de mapa usado para simular o relevo em uma superfície calculando o ângulo das sombras na textura) de ondas de água, obtidos pela Internet, e conectados ao nó "Panner" do material no Unreal Engine, que possibilita deslocar as texturas de ondas em direções e velocidades diferentes ao longo do tempo.

Em seguida, foram ajustados saturação, contraste, cor predominante, profundidade de campo (desfoque em objetos distantes), entre outros efeitos de pós-processamento do cenário, assim como posição e intensidade da luz do Sol. O resultado é mostrado na Figura 13.

Figura 13: Ambiente final composto no Unreal Engine.

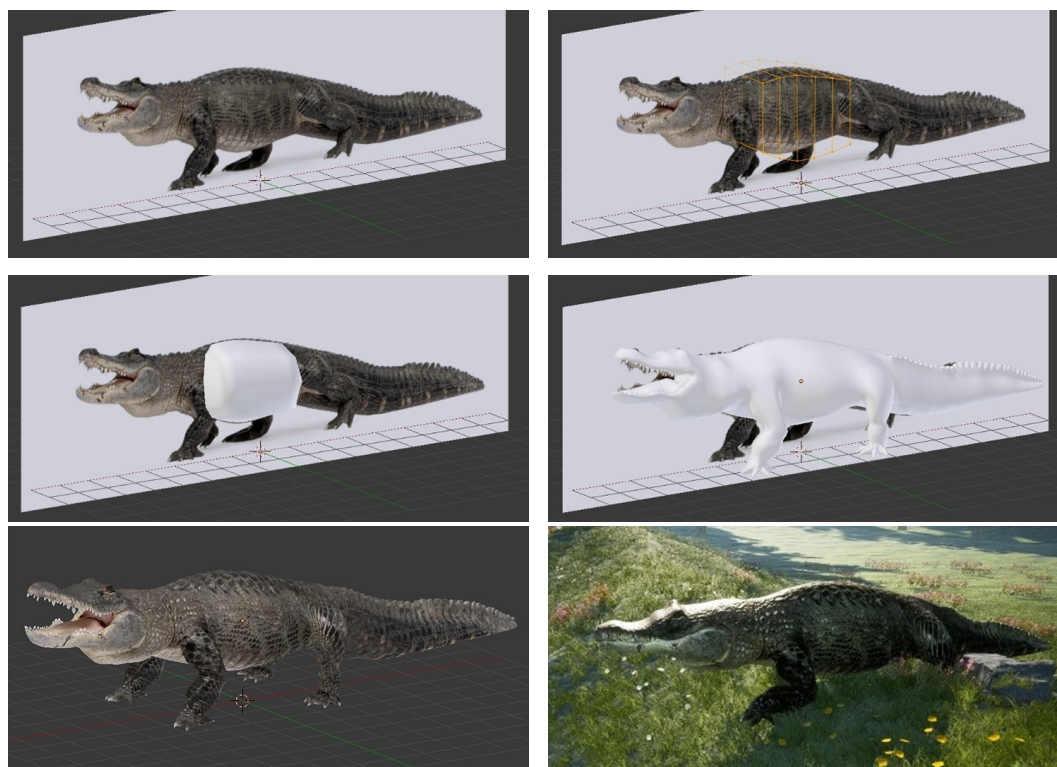


Fonte: Autoria própria.

4.3.2 Modelagem e texturização dos animais

Para fabricação dos animais e outros itens que integram o ambiente 3D, necessita-se de um software para modelagem, texturização e animação. Blender é um programa de computador de código aberto, totalmente livre e gratuito e foi o escolhido para este projeto. A Figura 14 mostra a fabricação de um dos animais.

Figura 14: Modelagem e texturização do crocodilo. Resultado final no ambiente.



Fonte: Autoria própria.

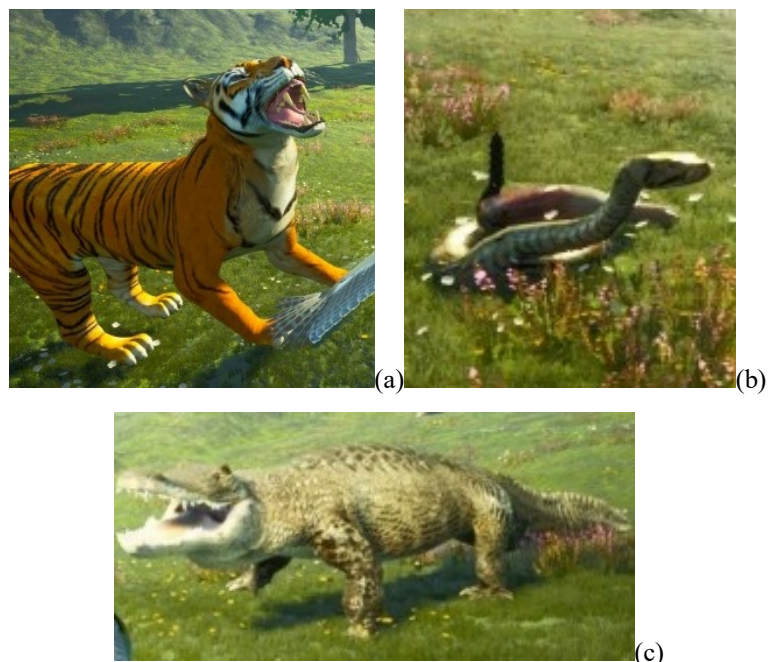
4.3.3 Modelagem comportamental

Após modelar os componentes geometricamente, foram adicionados o "esqueleto" do animal e as animações necessárias, como andar, nadar e atacar no Blender.

Seguem, portanto, as categorias de animais e seus comportamentos fabricados: predadores (cobra, crocodilo e tigre) — ao aproximar-se deles, é feita a transição para a animação de ataque do predador e a harpia perde vida; presas (peixes e carne crua) — ao aproximar-se, a harpia captura o item e soma pontos; e colecionáveis (gravetos) — ao aproximar-se, a harpia captura e soma os itens, para posteriormente construir um ninho para seus filhotes. Quando a harpia não está próxima deles, os animais mantêm animações ou de

andar pela floresta ou de nadar pelo lago, da mesma forma como se comporta o animal real. Os predadores, portanto, oferecerão dificuldade caso o paciente não seja preciso em seus movimentos. Por exemplo, a cobra rastejará ao redor da carne que deve ser coletada pela harpia.

Figura 15: Predadores na fase 3. (a) Tigre; (b) Cobra; (c) Crocodilo.



Fonte: Autoria própria.

Já para o comportamento da harpia, foi necessário fazer ajustes nas animações pré-definidas para que ela fosse controlada com o braço de uma forma suave e natural, possibilitando imersão no ambiente virtual.

Primeiramente, o dispositivo Myo foi integrado ao Unreal Engine através de um *plugin*. Ele permite captar os eixos X (esquerda-direita) e Y (cima-baixo) da movimentação do braço. Assim como um controle analógico, o dispositivo fornece valores reais que variam entre 0 e 1 ou entre -1 e 0, sendo (0,0; 0,0) a origem dos eixos. Por exemplo, se o paciente move o braço um pouco para a direita e para baixo, tem-se um valor do tipo (0,321; -0,254).

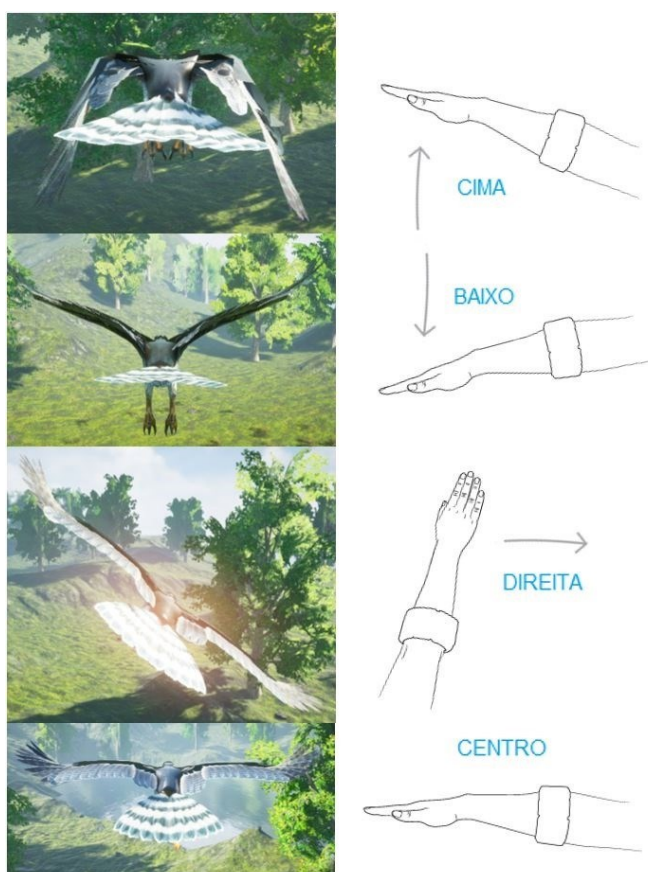
Essas variáveis são utilizadas para multiplicar a velocidade da harpia, o que fará, por exemplo, com que ela voe mais rápido para cima conforme o paciente move o braço mais para cima. As variáveis também são utilizadas para determinar as animações. Como tem-se valores negativos para baixo e positivos para cima, faz-se com que, quando o valor seja negativo, a

animação seja de cair; quando o valor seja positivo, a animação seja de bater asas; quando o valor for próximo de zero, a animação de planar é reproduzida, e assim por diante.

Para que a transição entre as animações fosse suave, é ajustado um tempo de transição de alguns segundos entre elas. Além disso, foram usados "Blend Spaces", uma ferramenta do Unreal Engine que permite que as animações mudem de um estado para o outro dependendo da velocidade e movimentação da personagem, de forma mais realista.

Além de voar, a harpia pode também andar pela floresta. Em ambos os modos, foi adicionada uma velocidade constante para a frente. Basta o animal tocar no chão que fecha as asas automaticamente e começa a caminhar. Já para o movimento inverso, foi definido que, se o braço for movido para cima, a harpia deve levantar voo.

Figura 16: Movimento do braço com Myo e correspondente animação da harpia.



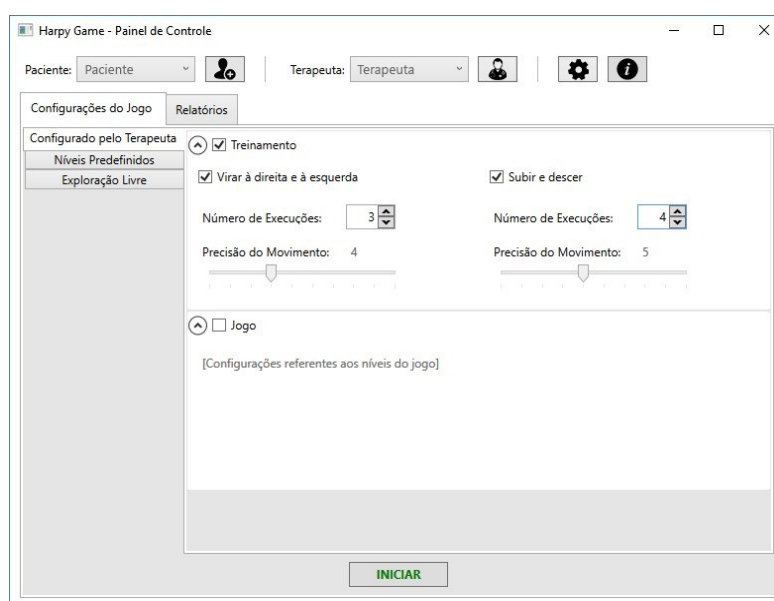
Fonte: Autoria própria.

4.4 PAINEL DE CONTROLE

Como as capacidades físicas e cognitivas dos pacientes com AVC variam amplamente, eles, conseqüentemente, recuperam a mobilidade de maneiras diferentes em taxas diferentes. O objetivo é que o terapeuta determine a dificuldade em todas as fases através de configurações personalizáveis, que depois podem ser usadas quando o paciente joga em casa. Por isso, foi desenvolvido pelo grupo um Painel de Controle. Trata-se de um software desenvolvido em C# que permite ao terapeuta cadastrar o paciente em uma base de dados e configurar opções do jogo, por exemplo, o número e diâmetro dos anéis, a quantidade de peixes disponível no lago, a presença de auxílio visual para facilitar a encontrar os itens coletáveis, etc.

Ao final da execução, todo o progresso do paciente é gravado no banco de dados para posterior análise pelo terapeuta.

Figura 17: Painel de Controle.



Fonte: Autoria própria.

4.5 SISTEMA DE AVALIAÇÃO DA ESPASTICIDADE

Para a fase de testes clínicos com pacientes, foi utilizado um aparelho para avaliar a espasticidade do paciente antes e depois do jogo. Este equipamento que tem o nome SpES (*Spasticity Evaluation System*), foi desenvolvido no Núcleo de Tecnologia Assistiva da Universidade Federal de Uberlândia.

Figura 18: Sistema de avaliação da espasticidade.



Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após seu desenvolvimento, o jogo foi testado com pacientes no Núcleo de Tecnologia Assistiva da Universidade Federal de Uberlândia.

Inicialmente, foram avaliados mais de 40 pacientes, dos quais 10 preencheram todos os requisitos necessários e participaram das sessões de teste. Todos os participantes do estudo foram avaliados antes do início do tratamento e ao final de 15 sessões, pelo mesmo profissional de saúde, no mesmo horário da primeira avaliação, a fim de minimizar eventuais oscilações da espasticidade ao longo do dia. Foram examinados os resultados antes e depois das sessões usando métodos de medição de algumas variáveis conhecidas por profissionais com experiência em reabilitação física.

O ambiente em que o Harpy Game foi construído obteve uma boa adesão dos voluntários, com resultados positivos em relação à usabilidade do sistema e à avaliação do ambiente virtual. Percebeu-se que os pacientes reagiram positivamente ao ambiente realista do jogo, ficando imersos na experiência. Apesar de alguns deles acharem o jogo difícil no começo do tratamento, no geral, ao final do mesmo, todos os pacientes ficaram confortáveis e completaram as fases em cada vez menor tempo. Houve uma baixa taxa de evasão dos voluntários, não relacionada à aspectos do jogo.

Os resultados da pesquisa confirmaram que o tipo de tratamento e a aplicação da terapia foram eficientes em promover o retorno neurológico da função motora (VII estágios de Brunnstrom), e a redução da espasticidade (medida pelo método Limiar do Reflexo de Estiramento Tônico (LRET)) do membro superior parético de indivíduos após Acidente Vascular Cerebral, com 99% de confiança para estes parâmetros, de acordo com testes estatísticos feitos pelos profissionais responsáveis por testá-los.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um jogo sério baseado em RV com possibilidade de auxiliar na reabilitação de pacientes que sofreram AVC e tiveram paresia dos membros superiores como sequela. Foi atingido um bom resultado quanto ao realismo do ambiente, o qual provavelmente contribuiu para a boa aceitação dos pacientes. O jogo provou-se agradável e efetivo, perceptível pela baixa taxa de evasão e retorno positivo dos pacientes. Ele gerou imersão em RV e liberdade de movimento, aspectos que mantiveram a motivação e o comprometimento dos participantes em todas as sessões de tratamento e conseqüente progresso em relação às variáveis avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALANKUS, G. et al. Towards Customizable Games for Stroke Rehabilitation. In CHI, 2010.
- AMERICAN HEART ASSOCIATION et al. American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*, v. 112, 2005.
- BARLETT, C. P.; RODEHEFFER, C. Effects of realism on extended violent and nonviolent video game play on aggressive thoughts, feelings, and physiological arousal. *Aggressive Behavior: Official Journal of the International Society for Research on Aggression*, 35(3):213–224, 2009.
- BÉJOT, Y. et al. Rising Stroke Incidence in Young Adults: More Epidemiological Evidence, More Questions to be Answered, 2016.
- BENJAMIN, Emelia J., et al. Heart disease and stroke statistics—2019 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 139.10 (2019): e56-e528.
- blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. Disponível em: <<https://www.blender.org/>>. Acesso em: 09 jan. 2019.
- BRYANTON, C. et al. Feasibility, motivation, and selective motor control: virtual reality compared to conventional home exercise in children with cerebral palsy. *Cyberpsychology & behavior*, 9(2):123–128, 2006.
- BURKE, J. W. et al. Augmented Reality Games for Upper-limb Stroke Rehabilitation. In *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*, 2010 Second International Conference on, pp. 75–78. IEEE, 2010.
- BURKE, J. W. et al. Optimising Engagement for Stroke Rehabilitation Using Serious Games. *The Visual Computer*, 25(12):1085, 2009.
- FLORES, E. et al. Improving patient motivation in game development for motor deficit rehabilitation. In *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pp. 381–384. ACM, 2008.
- FREITAS, E. D. Manual Prático de Reeducação Motora do Membro Superior na Hemiplegia - Fundamentado no Método Brunnstrom. São Paulo: Memnon, 2000.
- FUNABASHI, A. M. M. et al. AGaR: A VR Serious Game to Support the Recovery of Post-Stroke Patients. 2017 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), pp. 279–288, 2017.

G. SAPOSNIK et al. Virtual reality in stroke rehabilitation: a meta-analysis and implications for clinicians. *Stroke*, 42(5):1380–1386, 2011.

HUSSAIN, A. et al. Quantitative assessment of motor functions post-stroke: Responsiveness of upper-extremity robotic measures and its task dependence. 2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR) (2017): 1037-1042.

KIM G.; BIOCCA, F. Immersion in virtual reality can increase exercise motivation and physical performance. In *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*, pp. 94–102. Springer, 2018.

Kinect for Windows. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20140506004933/http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

KIPER, Pawel et al. Virtual reality for upper limb rehabilitation in subacute and chronic stroke: a randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, v. 99, n. 5, p. 834-842. e4, 2018.

KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC (2007): 5-11.

KWAKKEL, G. et al. Effects of Intensity of Rehabilitation After Stroke: a Research Synthesis. *Stroke*, 28(8):1550–1556, 1997.

LANGHORNE, P. et al. Motor Recovery After Stroke: a Systematic Review. *The Lancet Neurology*, 8(8):741–754, 2009.

LEVIN, M. F. et al. Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles. *Journal of the American Physical Therapy Association*, 95 (3), 415-425, March 2015.

MACHADO, Liliane S., et al. Serious games para saúde e treinamento imersivo. *Abordagens Práticas de Realidade Virtual e Aumentada 1* (2009): 31-60.

MARQUES, A. P. Ângulos articulares dos membros superiores. *Manual de goniometria*. 2ed. São Paulo: Manole, p. 18-20, 2003.

MERIANAS, Alma S. et al. Virtual Reality--Augmented Rehabilitation for Patients Following Stroke. *Physical therapy* 82.9, 2002.

MÓL, A. C. A. et al. Using a Game Engine for VR Simulations in Evacuation Planning. *IEEE computer graphics and applications*, 28(3):6–12, 2008.

MORAIS, G. D. et al. Application of Myo Armband System to Control a Robot Interface. In BIOSIGNALS, pp. 227–231, 2016.

Nintendo Wii – Hardware Information. Nintendo. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20080212080618/http://wii.nintendo.com/controller.jsp>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

O'SULLIVAN, Susan B.; SCHMITZ, Thomas J. Physical rehabilitation. FA Davis, 2007.

PARAS, B. Game, motivation, and effective learning: An integrated model for educational game design. 2005.

SALIBA, V. A. et al. Propriedades Psicométricas da Motor Activity Log: uma Revisão Sistemática da Literatura. Fisioterapia em Movimento, 21(3), 2017.

SHAUGHNESSY, M. et al. Testing a Model of Post-Stroke Exercise Behavior. Rehabilitation nursing, 31(1):15–21, 2006.

Tech Specs | Myo Battery Life, Dimensions, Compatibility, and More. Disponível em: <<https://www.myo.com/techspecs>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

Tech Specs | Myo Battery Life, Dimensions, Compatibility, and More. Disponível em: <<https://www.myo.com/techspecs>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

TEIXEIRA, É. et al. "Acidente vascular encefálico." Ares MJJ. Terapia ocupacional na reabilitação física. São Paulo: Roca (2003): 3-16.

UE4 - SpeedTree. Disponível em: <<https://store.speedtree.com/ue4/>>. Acesso em: 09 jan. 2019.

VAN DER LEE, J. H. et al. Forced Use of the Upper Extremity in Chronic Stroke Patients: Results from a Single-blind Randomized Clinical Trial. Stroke, 30(11):2369–2375, 1999.

What is Unreal Engine 4. Disponível em: <<https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>>. Acesso em: 09 jan. 2019.

World Machine: The Premier 3D Terrain Generator. Disponível em: <<https://www.world-machine.com/>>. Acesso em: 09 jan. 2019.