

Luiz Rogério Scudeletti

**KinesiOS: um sistema de captura de  
movimentos para avaliação motora e  
neurofuncional de pacientes em reabilitação  
pós-acidente vascular cerebral.**

Bauru, São Paulo, Brasil

Julho de 2021



Luiz Rogério Scudeletti

**KinesiOS: um sistema de captura de movimentos para  
avaliação motora e neurofuncional de pacientes em  
reabilitação pós-acidente vascular cerebral.**

Dissertação apresentada como requisito para  
a obtenção do título de Mestre em Ciência  
da Computação da Universidade Estadual  
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Orientador: Dr. José Remo Ferreira Brega

Bauru, São Paulo, Brasil

Julho de 2021



# Agradecimentos

Primeiramente e acima de tudo agradeço a Deus, por tudo o que ele tem me proporcionado. Aos meus pais, por sempre proverem ensinamentos para a vida e para todas as questões em meus momentos mais difíceis, sem que, para isso exigissem algo em troca.

A todos os meus professores e amigos e em especial ao Dr. José Remo Ferreira Brega, por me orientar no desenvolvimento desse projeto. Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, quer criticando, quer incentivando, gostaria de manifestar os meus sinceros agradecimentos.



# Resumo

O Acidente Vascular Cerebral, também conhecido como AVC, é uma das condições médicas que mais mata e incapacita pessoas no mundo, atingindo homens, mulheres e crianças de diversas faixas etárias. O processo de reabilitação pós-AVC, na maioria das vezes se torna longo e tedioso, fazendo com que os pacientes não realizem os exercícios com a atenção necessária ou desistam das sessões de tratamento, o que pode diminuir as chances de recuperação completa. Estudos têm sido apresentados nos últimos anos abordando o uso de sistemas para captura de movimentos na reabilitação pós-AVC, mostrando que essas ferramentas podem ser tão eficientes quanto os métodos mais tradicionais. Neste trabalho, apresentamos o KinesiOS, um sistema de captura de movimentos para avaliação motora e neurofuncional de pacientes em reabilitação. O sistema rastreia as articulações do corpo humano com base em suas respectivas coordenadas espaciais e, em seguida, usa os dados obtidos para construir um guia de movimentos na forma de um esqueleto virtual, enquanto mede e exibe em tempo real a amplitude dos movimentos de determinadas ações motoras que são realizadas pelo paciente. O rastreamento das articulações é realizado pelo sensor Microsoft Kinect v2, para o processamento dos dados é utilizada a linguagem de programação C#, as visualizações são criadas com a tecnologia Windows Presentation Foundation (WPF) e os dados são salvos em uma estrutura em nuvem, que utiliza a base de dados MongoDB. Testes preliminares realizados com seis voluntários saudáveis mostram a eficácia do sistema no cálculo da amplitude dos movimentos, possibilitando a análise dos dados em tempo real e via teleatendimento. O KinesiOS é uma ferramenta alternativa, portátil e de baixo custo, frente aos sistemas tradicionais baseados em rastreamento de articulações.

**Palavras-chave:** Reabilitação, Acidente Vascular Cerebral, Captura de Movimentos, Kinect v2



# Abstract

The stroke (also known as a Cerebrovascular Accident) is one of the medical conditions that most kills and incapacitates people in the world, affecting men, women and children of many different age brackets. The post-stroke rehabilitation process, most of the times, becomes long and tedious, causing patients not to perform the exercises with the necessary attention or to give up on treatment sessions, which can decrease to the chances of complete recovery. Studies have been presented in recent years addressing the use of systems for motion capture in post stroke rehabilitation, showing that these tools could be just as efficient as the more traditional methods. In this study, we shall present KinesiOS, a system for recognition of movements for the motor and neurofunctional assessment of patients who are undergoing rehabilitation. The system tracks the joints in the human body based on their respective spatial coordinates, and then using the obtained data to construct a guide to movements in the form of a virtual skeleton, while measuring the amplitude of the movements (also known as a Range of Motion) within a certain motor action and showing the results in real time. The tracking of the joints is carried out using a Microsoft Kinect sensor v2, while data processing, we used the C# programming language. We created the visualizations using the Windows Presentation Foundation technology, and the data was saved in a cloud structure using the MongoDB database. Preliminary tests performed on six healthy volunteers showed the efficiency of the system for the calculation of amplitude of movements, enabling data analysis in real time and through telemonitoring. KinesiOS is an alternative tool, portable and low-cost, compared with the traditional systems based on tracking of joints.

**Keywords:** Rehabilitation, Stroke, Motion Capture, Kinect v2



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Captura de movimentos de um voo de pássaro. . . . .	21
Figura 2 – Sistema de captura de movimentos com marcadores passivos. . . . .	23
Figura 3 – Sistema de captura de movimentos com marcadores ativos. . . . .	24
Figura 4 – Pontos infravermelhos projetados pelo Kinect. . . . .	25
Figura 5 – Sistema de captura de movimentos eletromagnético. . . . .	26
Figura 6 – Sistema mecânico para captura de movimentos. . . . .	27
Figura 7 – Sistema de captura de movimentos inercial. . . . .	28
Figura 8 – Fluxograma de triagem e avaliação dos estudos. . . . .	37
Figura 9 – Percentual de trabalhos aprovados e rejeitados. . . . .	38
Figura 10 – Percentual de tipos de aplicação desenvolvidas. . . . .	46
Figura 11 – Jogos criados por Lin et al. (A) e Pedraza et al. (B). . . . .	47
Figura 12 – Aplicações de Adams et al. (A) e de Lupu et al. (B). . . . .	48
Figura 13 – Percentual de tipos de membros trabalhados. . . . .	48
Figura 14 – Imagens dos projetos de Bai (A) e Gonzalez-Franco et al (B). . . . .	49
Figura 15 – Trabalhos de Swee et al. (A) e Lv et al. (B). . . . .	49
Figura 16 – Utilização dos dispositivos de captura de movimentos. . . . .	50
Figura 17 – Imagens do trabalho de Lichter et al. . . . .	51
Figura 18 – Uso do Leap Motion no trabalho de David et al. . . . .	52
Figura 19 – Exemplos de dispositivos criados nos trabalhos. . . . .	52
Figura 20 – Dispositivos de realidade virtual utilizados. . . . .	53
Figura 21 – Ferramentas de desenvolvimento utilizadas. . . . .	54
Figura 22 – Relacionamento das tecnologias de acordo com o ano. . . . .	57
Figura 23 – Trabalhos classificados por resultado. . . . .	58
Figura 24 – Visão frontal do dispositivo Kinect v2. . . . .	63
Figura 25 – Articulações reconhecidas pelo Kinect v2 . . . . .	64
Figura 26 – Tela de login do sistema KinesiOS. . . . .	65
Figura 27 – Tela de cadastro de paciente do sistema KinesiOS. . . . .	66
Figura 28 – Tela de cadastro de prontuários médicos do sistema KinesiOS. . . . .	67
Figura 29 – Tela de cadastro de exercícios do sistema KinesiOS. . . . .	67

Figura 30 – Visão geral de funcionamento do sistema KinesiOS. . . . .	73
Figura 31 – Tela de captura de movimento do sistema KinesiOS. O movimento de referência é exibido em um esqueleto verde, enquanto o esqueleto em vermelho representa o movimento realizado em tempo real pelo usuário. . . . .	74
Figura 32 – Fluxograma de uso do sistema KinesiOS. . . . .	75
Figura 33 – Programação para conexão e verificação de usuário no campo de visão. . . . .	76
Figura 34 – Definindo visualização para o modo profundidade. . . . .	76
Figura 35 – Seleção de membros do sistema KinesiOS, com duas pessoas em cena, mas com rastreamento apenas da pessoa mais próxima do dispositivo. . . . .	77
Figura 36 – Programação que desenha o Ellipse que representa o Ombro Direito. . . . .	77
Figura 37 – Programação de posicionamento do Ellipse do Ombro Direito. . . . .	78
Figura 38 – Rastreamento do Ombro Direito realizado pelo Kinect v2. . . . .	78
Figura 39 – Programação que faz a ligação entre os membros. . . . .	79
Figura 40 – Ligamento entre Ombro Direito e Cotovelo Direito . . . . .	79
Figura 41 – Programação que faz a ligação entre os membros. . . . .	80
Figura 42 – Exibição dos cálculos dos ângulos. . . . .	80
Figura 43 – Cálculo da amplitude de movimento do cotovelo direito. . . . .	82
Figura 44 – A - Painel de desenho livre. B - Navegação pelo Google Street View. . . . .	83
Figura 45 – Resultados da amplitude de movimentos do ombro esquerdo ao realizar o exercício de flexão. . . . .	86
Figura 46 – Resultados da amplitude de movimentos do ombro direito ao realizar a montagem de um quebra cabeça. . . . .	87

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Primeira estrutura de pesquisa elaborada. . . . .	34
Tabela 2 – Segunda estrutura de pesquisa elaborada. . . . .	35
Tabela 3 – Estrutura de pesquisa elaborada para o Portal de Periódicos da CAPES. . . . .	36
Tabela 4 – Total de artigos classificados por bases de dados. . . . .	36
Tabela 5 – Lista de artigos selecionados para pesquisa. . . . .	39
Tabela 6 – Combinações de tecnologias, membros trabalhados e tipos de aplicação. . . . .	56
Tabela 7 – Diagrama de caso de uso de cadastro de paciente. . . . .	68
Tabela 8 – Diagrama de caso de uso de cadastro de prontuários médicos. . . . .	69
Tabela 9 – Diagrama de caso de uso de gravação de exercício guia. . . . .	70
Tabela 10 – Diagrama de caso de uso de gravação de exercício de reabilitação. . . . .	71
Tabela 11 – Diagrama de caso de uso para exibição de exercício via telemonitoramento. . . . .	72



# Lista de abreviaturas e siglas

ACM	Association for Computing Machinery
API	Application Programming Interface
AVC	Acidente Vascular Cerebral
BRAINN	Brazilian Institute of Neuroscience and Neurotechnology
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CSS	Cascading Style Sheets
DCMs	Dispositivos de Captura de Movimentos
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
HTML5	Hypertext Markup Language, versão 5
HSRV	HeadSets para Realidade Virtual
IGI	Idea Group Incorporated
LINQ	Language Integrated Query
MDR	Medical Devices Regulation
ODBC	Open Database Connectivity
ROM	Range of Motion
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RV	Realidade Virtual
SBDCV	Sociedade Brasileira de Doenças Cerebrovasculares
SQL	Structured Query Language
UMI	Unidade de Medidas Inerciais
UNESP	Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
VRISE	Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects
WEB	World Wide Web
WHO	World Health Organization
WPF	Windows Presentation Foundation
WSO	World Stroke Organization
XAML	eXtensible Application Markup Language

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Considerações Iniciais	17
1.2	Objetivos	18
1.3	Organização do Trabalho	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>21</b>
2.1	Considerações Iniciais	21
2.2	Sistemas Ópticos	22
2.2.1	Marcadores Passivos	22
2.2.2	Marcadores Ativos	23
2.2.3	Sem Marcadores	24
2.3	Sistemas Não Ópticos	25
2.3.1	Sistemas Eletromagnéticos	25
2.3.2	Sistemas Mecânicos	27
2.3.3	Sistemas Inerciais	28
2.4	Considerações Finais	29
<b>3</b>	<b>REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA</b>	<b>31</b>
3.1	Considerações Iniciais	31
3.2	Objetivos e Questões	33
3.3	Bases de Dados Científicas	33
3.4	Métodos de Pesquisa	34
3.5	Triagem e Avaliação dos Estudos	36
3.6	Dados Extraídos	45
3.7	Análise e Discussão dos Resultados	46
3.7.1	Tipos de Aplicação	46
3.7.2	Membros Trabalhados	48
3.7.3	Dispositivos de Captura de Movimentos	50
3.7.4	Dispositivos de Realidade Virtual	53
3.7.5	Ferramentas de Desenvolvimento	54

3.7.6	Combinações de Tecnologias, Membros e Tipos de Aplicação . . . . .	55
<b>3.8</b>	<b>Resultados dos Testes . . . . .</b>	<b>57</b>
<b>3.9</b>	<b>Considerações Finais . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>KINESIOS . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>4.1</b>	<b>Considerações Iniciais . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Tecnologias e Ferramentas . . . . .</b>	<b>61</b>
4.2.1	C# . . . . .	61
4.2.2	Kinect SDK 2.0 . . . . .	61
4.2.3	MongoDB . . . . .	62
4.2.4	SQL Server 2019 Express . . . . .	62
4.2.5	Visual Studio 2019 . . . . .	62
4.2.6	Kinect v2 . . . . .	62
<b>4.3</b>	<b>Desenvolvimento . . . . .</b>	<b>64</b>
4.3.1	Controle de Acessos . . . . .	64
4.3.2	Cadastros Básicos . . . . .	66
4.3.3	Diagramas de casos de uso . . . . .	68
4.3.3.1	Cadastro de pacientes . . . . .	68
4.3.3.2	Cadastro de prontuário médicos . . . . .	69
4.3.3.3	Gravação de exercício guia . . . . .	70
4.3.3.4	Gravação de exercício de reabilitação . . . . .	71
4.3.3.5	Exibição de exercício via telemonitoramento . . . . .	72
4.3.4	Captura de Movimentos . . . . .	72
4.3.5	Cálculo da amplitude de movimento . . . . .	80
4.3.6	Telereabilitação . . . . .	82
4.3.7	Atividades . . . . .	83
<b>4.4</b>	<b>Segurança da informação . . . . .</b>	<b>83</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>91</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Considerações Iniciais

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é uma doença neurológica causada pela interrupção do suprimento de sangue que é enviado ao cérebro, geralmente ocorre devido ao rompimento de um vaso sanguíneo (Hemorrágico) ou bloqueio por um coágulo (Isquêmico). Dessa forma, o oxigênio e nutrientes que seriam levados ao cérebro são cortados, causando danos ao tecido cerebral, o que pode gerar alterações cognitivas, sensoriais e/ou motoras no paciente ([TORBEY; SELIM, 2013](#)).

Dados da World Stroke Organization (WSO), organização que é líder mundial no combate ao Acidente Vascular Cerebral, apontam que por ano no mundo, 13.7 milhões de pessoas sofrem um AVC, destes, cerca de 5.5 milhões vão a óbito e outros 5 milhões ficam com algum tipo de deficiência ([WORLD STROKE ORGANIZATION, 2019](#)). No Brasil em 2016, foram mais de 188 mil internações para o tratamento do AVC e mais de 40 mil óbitos registrados, sendo uma das doenças que mais mata e incapacita os brasileiros ([MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016](#)). As pesquisas estimam que 70% das pessoas que sobrevivem a essa doença, mas que ficam com sequelas, não conseguem retornar ao trabalho e 50% tornam-se incapacitadas, necessitando do auxílio de outras pessoas para a execução das atividades do dia a dia ([SBDCV, 2014](#)).

Apesar de ser mais comum em pessoas com idade acima de 60 anos, o AVC pode ocorrer em pessoas de qualquer idade, incluindo crianças. Sendo que essa doença vem crescendo cada vez mais entre os jovens, ocorrendo em pelo menos 10% de pacientes com idade menor que 55 anos. Além disso, a WSO estima que uma a cada seis pessoas no mundo terá um AVC ao decorrer de sua vida ([WORLD STROKE ORGANIZATION, 2019](#)).

Segundo [Langhammer \(2017\)](#), pesquisadora do departamento de fisioterapia da Universidade Metropolitana de Oslo na Noruega, as sessões de fisioterapia e terapia ocupacional são importantíssimas para o processo de reabilitação dos pacientes, pois auxiliam no fortalecimento dos músculos e articulações danificadas pela doença, promovendo melhores

chances de recuperação, ressaltando que as sequelas causadas pelo AVC podem se agravar devido ao tempo, ou seja, quanto mais rápido for aplicado o tratamento adequado, maiores serão as chances de recuperação completa.

Langhammer destaca ainda, dois dos principais desafios enfrentados pelos especialistas no processo de reabilitação, sendo o primeiro a dificuldade de se obter dados precisos sobre a evolução dos pacientes, a goniometria que é um método tradicional de avaliação muito utilizada na fisioterapia para medição da amplitude dos movimentos (ROM), tem algumas limitações: os ângulos articulares podem ser medidos apenas em poses estáticas, sendo necessário posicionamento preciso do goniômetro, além do processo ser demorado e exigir experiência do usuário. Já o segundo desafio está relacionado ao tédio das sessões de fisioterapia e terapia funcional, o que faz com que alguns pacientes desistam ou não realizem as sessões de reabilitação com a atenção necessária. (LANGHAMMER, 2017).

Devido a esses dados alarmantes e as dificuldades encontradas, é plausível o surgimento do interesse no desenvolvimento de novas aplicações que auxiliem no tratamento do AVC, visando apoiar os especialistas nas tomadas de decisões acerca do tratamento adequado, além de motivar os pacientes a frequentarem regularmente as sessões de reabilitação.

## 1.2 Objetivos

O objetivo desse trabalho é apresentar o desenvolvimento do sistema KinesiOS, que utiliza o Microsoft Kinect v2 para capturar os movimentos realizados pelo usuário durante as sessões de tratamento, além de contemplar as seguintes funcionalidades:

- Realizar a transposição, em tempo real, dos movimentos realizados pelo usuário para um esqueleto virtual;
- Gravar e reproduzir os movimentos realizados pelo usuário;
- Possibilitar ao especialista capturar apenas membros ou grupos de membros específicos;
- Mensurar a amplitude (ROM) dos movimentos realizados;

- Criar gráficos dos movimentos realizados pelo paciente para que o especialista possa analisar a amplitude desses movimentos; e
- Criar atividades de interação com o usuário, afim de motiva-lo na execução dos exercícios da reabilitação.

Dessa forma, esse projeto almeja apoiar o especialista na obtenção de informações sobre os movimentos realizados pelos usuários nas sessões de reabilitação, proporcionando dados mais precisos sobre os estágios de evolução dos pacientes, além de motivar os pacientes na execução dos exercícios, empregando desafios e objetivos as atividades que são realizadas.

## 1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado em mais 4 capítulos, além da presente Introdução. No Capítulo 2 serão apresentados conceitos que fundamentam o restante do trabalho. No Capítulo 3 será apresentada a Revisão Sistemática da Literatura com a análise dos trabalhos relacionados. O sistema desenvolvido será detalhado no Capítulo 4. No Capítulo 5 serão apresentados os testes preliminares realizados. Por fim, o Capítulo 6 contém as conclusões que foram obtidas até o momento acerca do projeto.



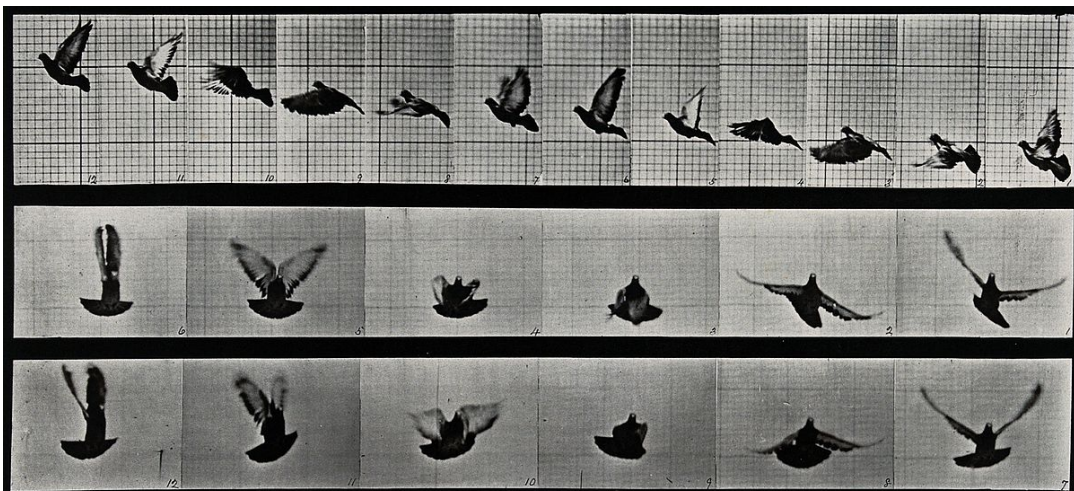
## 2 Fundamentação Teórica

Conforme discutido na Introdução, sistemas com foco em reabilitação de sequelas motoras causadas pelo AVC, geralmente utilizam dispositivos de captura de movimentos para obter os dados dos movimentos realizados pelos usuários. Dessa forma, nas seções que compõem o presente capítulo são apresentadas as principais características e definições acerca desses sistemas.

### 2.1 Considerações Iniciais

A captura de movimentos pode ser definida como um processo que visa capturar, acompanhar e obter informações sobre a orientação e posição de um objeto ou ser vivo, surgiu por volta do ano de 1860, mas passou a estar mais presente em nossas vidas a partir de 1970, quando foi utilizada pela primeira vez como ferramenta de análise fotogramétrica em pesquisas relacionadas à biomecânica. Alguns exemplos desses primeiros sistemas foram desenvolvidos por [Marey \(1873\)](#) e [Muybridge \(1878\)](#), que usavam técnicas fotográficas para quantificar padrões de movimento animal e pelos irmãos [Weber e Weber \(1936\)](#), que estabeleceram um modelo para estudos quantitativos de locomoção humana. Na [Figura 1](#) destaca-se a captura de movimentos de um voo de pássaro, realizada por Muybridge.

Figura 1 – Captura de movimentos de um voo de pássaro.



Fonte — [Muybridge \(1878\)](#)

Ao longo do século XX, a captura de movimentos passou por grande evolução, principalmente pelo uso na indústria do entretenimento, que desenvolveu tecnologias mais precisas, de menor custo e de fácil utilização. De forma simplificada, um sistema de captura de movimentos é composto por sensores de captura de dados e um servidor para processamento e análise desses dados. Colocam-se os sensores ou câmeras em pontos estratégicos ou até mesmo no corpo do “alvo” que terá os movimentos capturados, esses sensores registram os movimentos realizados e os enviam para um servidor, que faz a interpretação dos dados, permitindo a análise dos movimentos ou até mesmo a transposição dos movimentos capturados para personagens criados digitalmente (GOMIDE et al., 2011).

Os sistemas de captura de movimentos podem ser classificados em Sistemas Ópticos e Sistemas Não Ópticos, conforme destacado nas Seções 2.2 e 2.3 deste capítulo.

## 2.2 Sistemas Ópticos

A captura de movimentos por meio de sistemas ópticos é baseada em informações fornecidas por uma ou mais câmeras conectadas a um servidor e observando o objeto ou ser vivo que deve ser rastreado em uma área limitada. Essas câmeras precisam estar calibradas para obter informações corretas e correlacionadas a partir de sua posição para a posição do alvo. Dependendo dos elementos usados para acompanhar o alvo no espaço, esses sistemas podem ser classificados como: Marcadores Passivos, Marcadores Ativos e Sem Marcadores. (MULLER; WOLF, 2018).

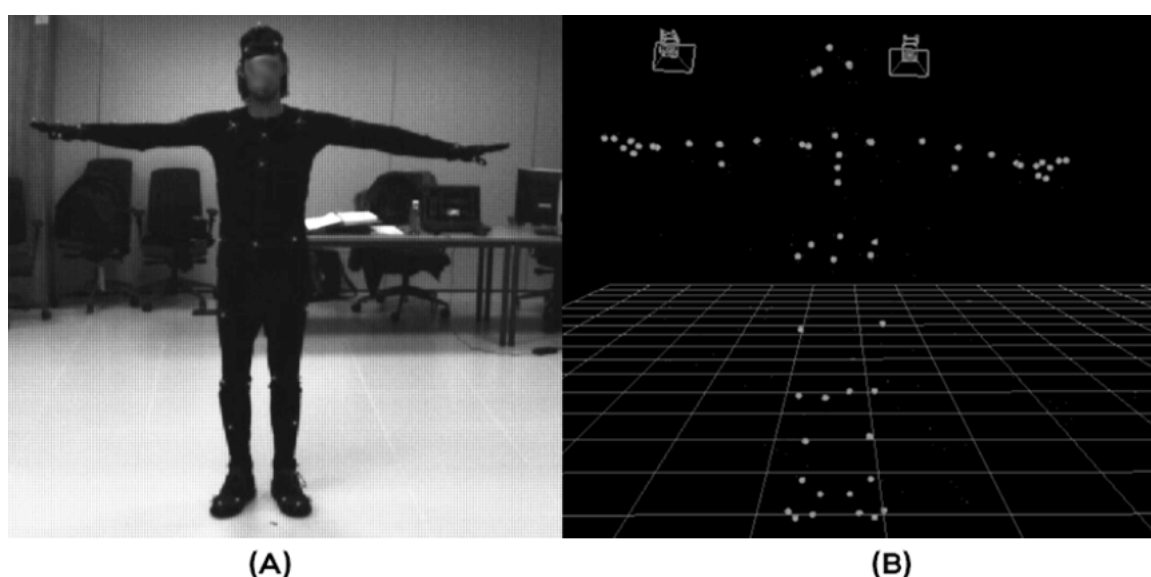
### 2.2.1 Marcadores Passivos

Esses sistemas de captura de movimentos são baseados em um conjunto de câmeras fixas e de alta velocidade, posicionadas em torno da área de gravação, permitindo a triangulação das posições através de marcadores. Nesse caso, o sistema utiliza marcadores passivos, que consistem em objetos (geralmente esferas) cobertas por um material refletivo, que pode ser reconhecido através da iluminação, geralmente por iluminação infravermelha.

Para uma operação correta, pelo menos duas câmeras devem capturar os marcadores ao mesmo tempo, caso contrário, poderá ocorrer problemas de oclusão, que é quando algo obstruí a visão da câmera para o marcador. Como os marcadores são todos iguais, o dispositivo fornecerá um conjunto de pontos não rotulados em um espaço de trabalho

tridimensional, sendo necessário um trabalho de pós-processamento para identificar, classificar e fornecer um significado aos pontos 3D no espaço. O principal problema desses sistemas é a possível oclusão dos marcadores, por outro lado, as informações que eles fornecem são bem precisas, apresentando uma taxa de erro na ordem do sub-milímetro (MULLER; WOLF, 2018). A Figura 2 exemplifica o uso dos marcadores passivos, no bloco A é apresentado o ator e os marcadores, já no B é exibido a representação virtual dos movimentos realizados pelo ator.

Figura 2 – Sistema de captura de movimentos com marcadores passivos.



(A)

(B)

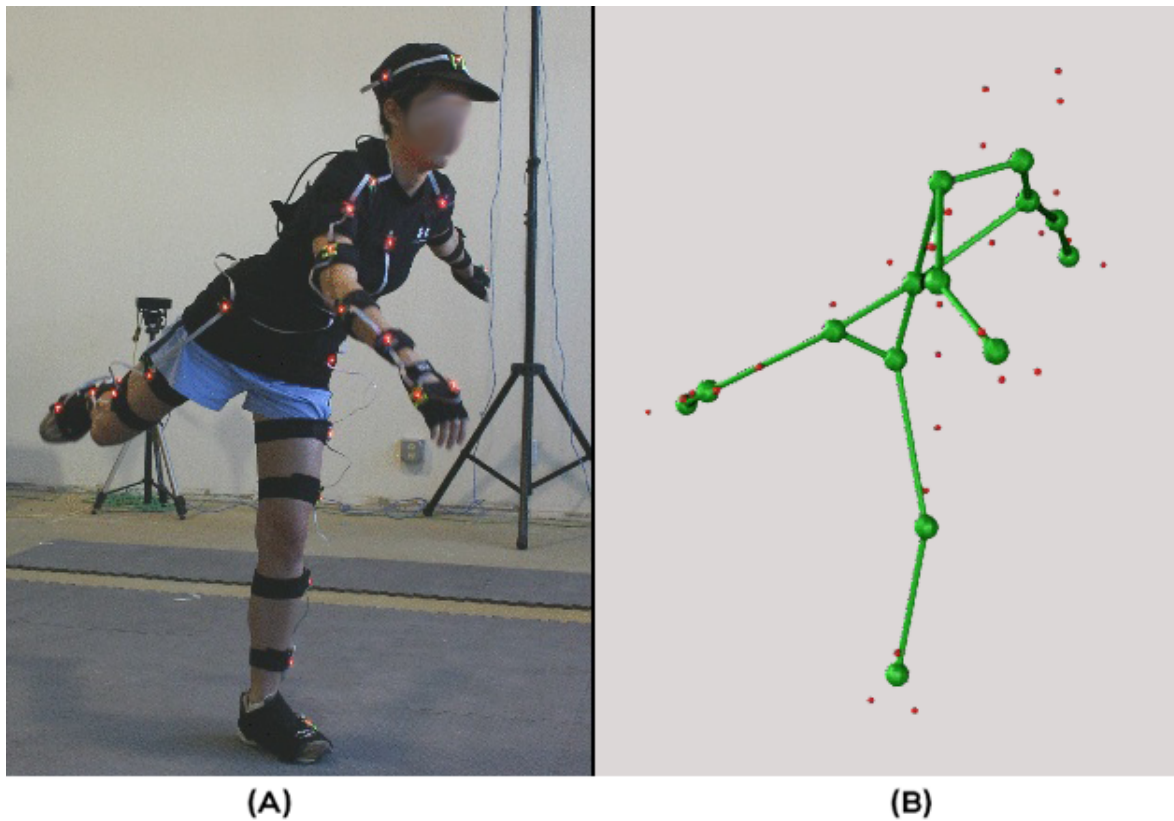
Fonte — Wojciechowski e Napieralski (2016)

### 2.2.2 Marcadores Ativos

Esses sistemas ópticos se assemelham aos anteriores, mas são chamados de marcadores ativos porque agem como uma fonte de luz ao invés de serem apenas um refletor. Geralmente são constituídos de diodos emissores de infravermelho, onde a luz emitida pelos marcadores é multiplexada para que a frequência da velocidade da câmera seja dividida pelo número de sensores que o sistema precisa detectar. Nesse caso, o sistema possui uma frequência de medição limitada, mas precisa de menos tempo de pós-processamento, pois é possível identificar cada marcador individualmente. Apesar disso, esses sistemas ópticos com marcadores ativos têm o mesmo problema do anterior, a possível oclusão dos marcadores e, portanto, a perda de informações em determinadas condições (MULLER; WOLF, 2018). A Figura 3 destaca um sistema com marcadores ativos, no bloco A é

apresentado o ator com os marcadores ativos conectados a roupa e no bloco B observa-se os pontos capturados pelo sistema junto ao esqueleto virtual gerado a partir dos dados obtidos.

Figura 3 – Sistema de captura de movimentos com marcadores ativos.



Fonte — [Kirk, O'Brien e Forsyth \(2004\)](#)

### 2.2.3 Sem Marcadores

A tecnologia de captura de movimentos sem marcadores não requer marcadores, sensores ou trajes especiais, sendo a tecnologia baseada totalmente em visão computacional. A silhueta do alvo é examinada por câmeras de diferentes ângulos e o rastreamento dos movimentos é realizado por algoritmos de reconhecimento de padrões. O alvo pode usar roupas comuns, o que permite realizar movimentos complexos, como cair ou pular, sem risco de danificar os sensores, porém, quanto mais complexo o movimento maior será o uso de recursos de hardware. ([MULLER; WOLF, 2018](#))

O Kinect v2, pode ser classificado como um dispositivo que não utiliza marcadores, pois projeta uma grade de pontos infravermelhos pelo espaço à sua frente e captura os reflexos desses pontos quando eles colidem com os objetos, calculando quanto tempo

cada ponto emitido leva para ser refletido de volta ao dispositivo, dessa forma, o Kinect v2 determina a distância entre os objetos e através de algoritmos de reconhecimento de padrões, mapeia o ambiente em 3D (RODRIGUES et al., 2016). Na Figura 4 destaca-se os pontos infravermelhos projetados pelo Kinect em uma mão humana.

Figura 4 – Pontos infravermelhos projetados pelo Kinect.



Fonte — Microsoft (2011)

## 2.3 Sistemas Não Ópticos

Os Sistemas Não Ópticos como o próprio nome já diz, não utilizam de câmeras ou sensores ópticos para realizar a captura dos movimentos, eles utilizam de dispositivos alternativos que são classificados de acordo com o seu método de rastreamento, sendo os mais comuns, os sistemas eletromagnéticos, mecânicos e inerciais (ROSENHAHN; KLETTE, 2010).

### 2.3.1 Sistemas Eletromagnéticos

Esses sistemas são baseados em teorias de eletromagnetismo, que descrevem a interação entre campos magnéticos e a eletricidade, onde qualquer fluxo de corrente gerado por uma queda de tensão através de um condutor gera um campo magnético. A partir das informações de rotação e posição enviados por um sensor, o sistema de rastreamento

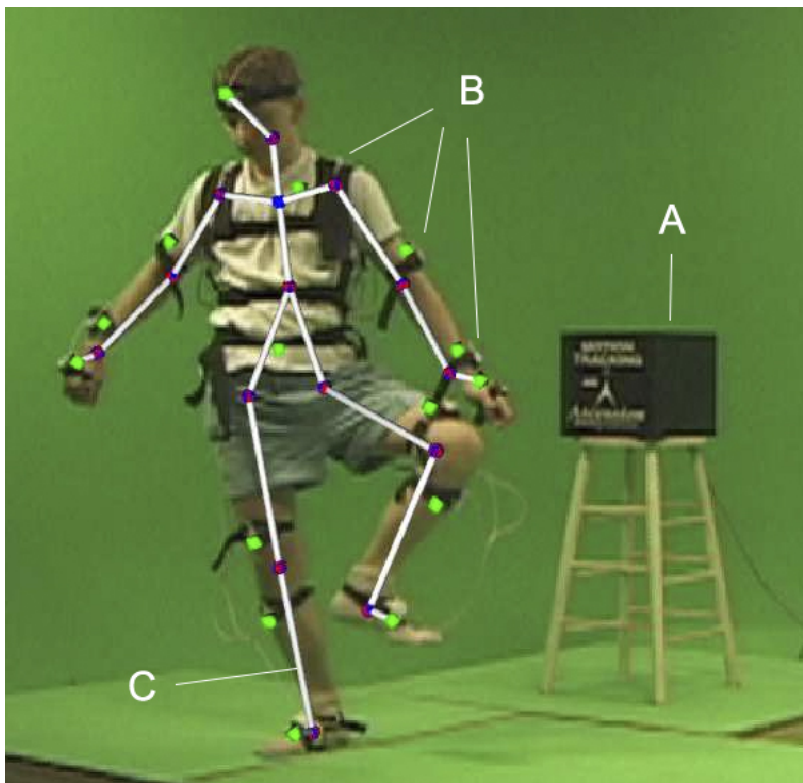
eletromagnético pode calcular com precisão e em tempo real a posição e orientação do objeto no ambiente, por meio de um sistema tridimensional.

Para um sistema de rastreamento eletromagnético funcionar, é necessária uma antena emissora para medir a distância entre o alvo e a base, além de um sensor de rastreamento posicionado no alvo.

Essa abordagem oferece vantagens graças à sua flexibilidade para localizar o sensor, porque não há problemas de oclusão e a portabilidade do sistema depende apenas do transmissor. Por outro lado, a área é limitada a uma pequena região ao redor do transmissor (estação base) e o local pode ficar distorcido se houver objetos metálicos no espaço circundante (ROSENHAHN; KLETTE, 2010).

A Figura 5 apresenta uma sessão de captura de movimentos utilizando um sistema eletromagnético, no ponto A observa-se a antena emissora, no ponto B, os sensores de rastreamento conectados ao ator e no ponto C, destaca-se o esqueleto virtual gerado a partir dos dados obtidos.

Figura 5 – Sistema de captura de movimentos eletromagnético.



Fonte — O'Brien et al. (2000)

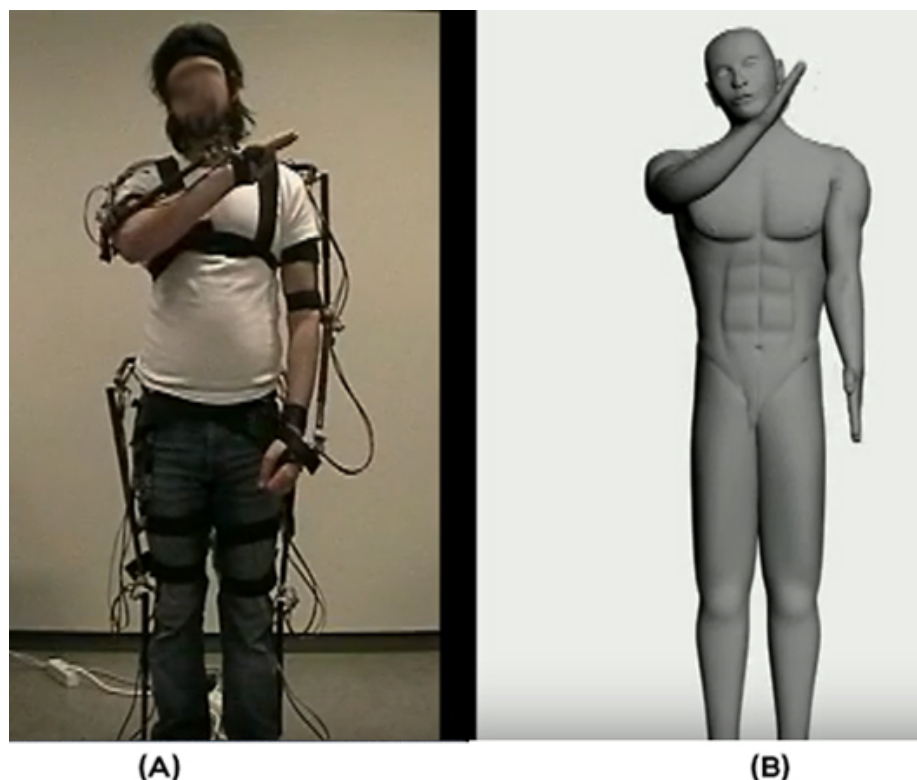
### 2.3.2 Sistemas Mecânicos

Os sistemas mecânicos estão entre os primeiros sistemas de captura de movimentos utilizados. Eles utilizam da medição direta da orientação do alvo e são compostos de componentes eletrônicos chamados potenciômetros, que são componentes que podem regular a passagem da corrente elétrica na medida em que seu eixo resistivo sofre uma rotação horária ou anti-horária. Esses sistemas não possuem problemas de oclusão, portanto, podem gerar resultados bem precisos e eficazes.

Uma grande desvantagem está relacionada às características dos dispositivos utilizados, que são invasivos e rígidos, por isso é mais difícil usá-los em qualquer cenário e controlar qualquer movimento (como o movimento do corpo), porque nesses dispositivos a mobilidade em alguns casos se torna limitada. (ROSENHAHN; KLETTE, 2010)

A Figura 6 destaca um dispositivo mecânico utilizado para captura de movimentos de membros humanos superiores e inferiores, no bloco A é exibido o ator que está vestindo um exoesqueleto mecânico e no bloco B destaca-se o avatar virtual que é construído a partir dos dados obtidos pelo exoesqueleto.

Figura 6 – Sistema mecânico para captura de movimentos.



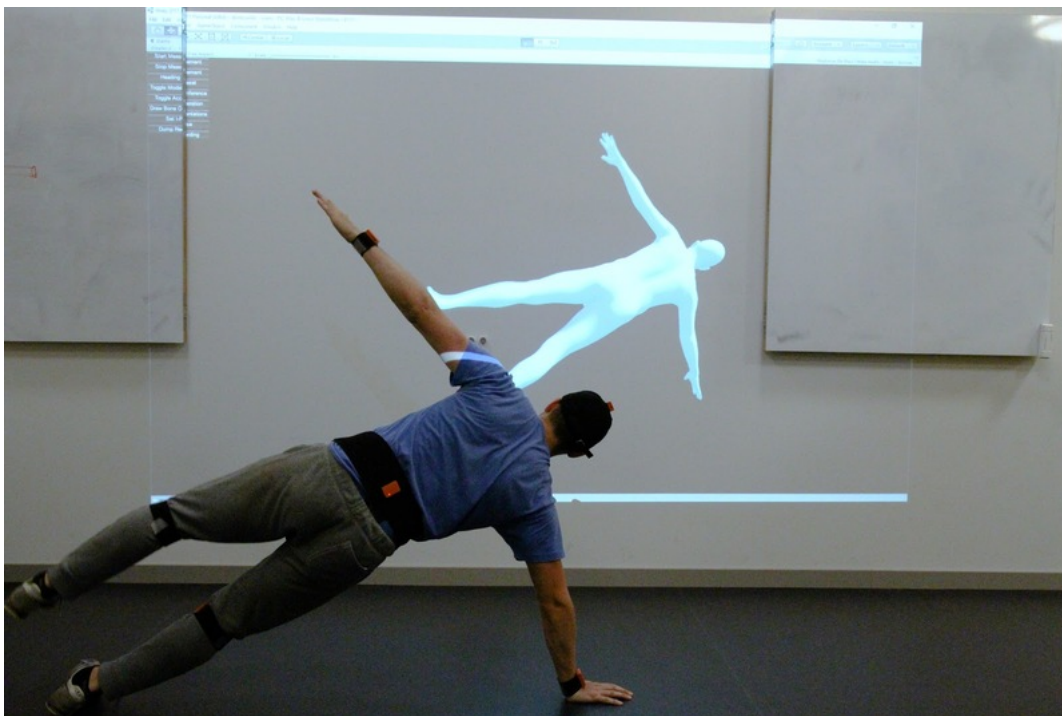
Fonte — Saidi e Åsard (2005)

### 2.3.3 Sistemas Inerciais

A captura de movimento inercial utiliza Unidade de Medidas Inerciais (UMI) com sensores integrados para detectar a posição e movimentos do alvo. Estes incluem tipicamente giroscópios, acelerômetros e, algumas vezes, magnetômetros. O giroscópio mede a taxa angular que é utilizada para determinar a orientação rotacional da UMI. O acelerômetro detecta a aceleração e a força gravitacional, sendo utilizado para calcular a mudança de posição em relação à gravidade (inclinação), bem como o movimento da UMI através da aceleração em qualquer direção. Já o magnetômetro mede o campo magnético da Terra ou um campo magnético criado artificialmente, que serve para orientar a UMI.

Cada sensor requer uma posição base para se mover. Isso permite que os movimentos detectados sejam traduzidos para dados significativos (movimento relativo a uma posição no espaço), porém a precisão da medição dos sistemas baseados em UMI é menor que o dos sistemas baseados em marcadores (ROSENHAHN; KLETTE, 2010). Na Figura 7 é exibido um sistema que utiliza dispositivos inerciais para captura dos movimentos. Os dispositivos são adicionados na cabeça, pulsos, cintura, joelhos e tornozelos do ator, que realiza os movimentos que são capturados e enviados para um servidor, que projeta o avatar virtual na tela.

Figura 7 – Sistema de captura de movimentos inercial.



Fonte — [Institute Max Planck for Intelligent Systems \(2019\)](#)

## 2.4 Considerações Finais

Conforme destacado neste capítulo, existem muitos tipos de sistemas e dispositivos de rastreamento utilizados para rastrear e acompanhar a posição de um alvo. Não existe uma solução perfeita e parâmetros como o espaço em que o alvo deve se mover e ser rastreado, portabilidade do sistema, presença de certos tipos de objetos no espaço rastreado, precisão, informações em tempo real, entre outros, devem ser considerados na seleção da melhor opção para cada aplicação.



## 3 Revisão Sistemática da Literatura

Nesse capítulo são apresentadas as estratégias de pesquisa utilizadas para a construção da Revisão Sistemática da Literatura, visando encontrar estudos que utilizam captura de movimentos na reabilitação de pacientes Pós-acidente Vascular Cerebral.

### 3.1 Considerações Iniciais

A Revisão Sistemática da Literatura ou RSL é considerada um estudo secundário, pois utiliza estudos primários para realização da análise, procurando identificar, confrontar e fornecer um resumo completo e relevante da literatura atual para uma questão de pesquisa, utilizando métodos transparentes e sistemáticos, que visam limitar o viés na seleção dos estudos (BOLAND; CHERRY; DICKSON, 2013). De acordo com Boland, Cherry e Dickson (2013), os métodos da RSL podem ser aplicados a uma variedade de questões, mas no geral possuem as seguintes etapas:

- Definição dos objetivos e questões – Como qualquer outra pesquisa científica, uma RSL requer finalidades e questões claras e bem formuladas, que devem ser alcançadas e respondidas pelo estudo a ser realizado;
- Pesquisa na literatura – Nessa etapa realizam-se buscas por autores que trabalharam com o tema proposto, seja em buscas online ou em bibliotecas físicas. Normalmente utiliza-se metodização por palavras-chave nos sistemas de busca das bases de dados científicas, catalogando essas obras e realizando um resumo com as citações importantes;
- Triagem de registros relevantes – Geralmente, as consultas em diversas bases de dados, geram um número maior de estudos do que realmente serão utilizados, dessa forma, é importante estabelecer critérios de inclusão e exclusão, que são definidos com base na questão que conduz a revisão, além de tempo de busca apropriado, público-alvo, idioma, tipo de estudo, critérios de metodologia, etc., para que nenhum trabalho importante fique de fora da RSL;

- Avaliação da qualidade dos estudos incluídos – É importante a utilização aprofundada de métodos de investigação e de análise estatística, visando identificar os estudos que não são adequados para o trabalho ou que são considerados fracos ou pobres de conteúdo. Além disso, devem ser consideradas todas as possíveis fontes de erros, que podem comprometer a relevância do estudo;
- Extração de dados de estudos incluídos – Coleta-se as informações que são importantes e que estejam de acordo com as questões abordadas no estudo. É importante analisar os dados obtidos, cruzando as informações e verificando se as ideias dos autores não se confundem ou se contradizem; e
- Síntese das evidências e apresentação dos dados – Utiliza-se de técnicas estatísticas para combinação dos dados, visando condensação do volume de evidências produzidas e permitindo a análise mais eficiente desses dados. Por último, apresenta-se os resultados obtidos, destacando as características que respondem aquilo que o estudo propõe, levando-se em conta a questão norteadora estabelecida.

É importante ressaltar, que apesar das etapas estarem cronologicamente estabelecidas, a RSL permite que uma ou todas as etapas da pesquisa sejam refeitas, seja para incorporar edições subsequentes, analisar sugestões e críticas ou ainda ser atualizada cada vez que surgirem novos estudos sobre o tema (BOLAND; CHERRY; DICKSON, 2013).

Portanto, a RSL é considerada um bom mecanismo para investigação de evidências científicas, pois é objetiva, permitindo a apresentação dos resultados em um formato fácil de ler e entender, é flexível, podendo ser adaptada a diferentes contextos e principalmente por incorporar uma estrutura transparente de pesquisa, o que reduz os riscos de vies (BOLAND; CHERRY; DICKSON, 2013).

Nas Seções 3.2 a 3.6 está sendo apresentado o planejamento utilizado no desenvolvimento desse trabalho, com as questões que serão respondidas, bases de dados científicas que foram utilizadas, critérios de inclusão e exclusão (triagem), métodos de avaliação e dados que foram extraídos e sintetizados no decorrer da RSL.

## 3.2 Objetivos e Questões

O objetivo dessa revisão sistemática é identificar trabalhos relevantes na literatura, onde os pesquisadores utilizam captura de movimentos na reabilitação de pacientes Pós-acidente Vascular Cerebral, identificando as técnicas, ferramentas, tecnologias e resultados que se mostram mais promissoras para o cenário, para que posteriormente seja avaliado a possibilidade de utilização dos mesmos na construção de um novo sistema.

Sendo assim, duas questões foram elaboradas a partir desses objetivos:

- Quais são as tecnologias, tipos de aplicações e dispositivos de captura de movimentos, que apresentam melhores resultados na reabilitação de pacientes Pós-acidente Vascular Cerebral?
- Quais são os tipos de membros que podem ser tratados com o uso de sistemas de captura de movimentos?

Na Seção 3.3 estão descritas as bases de dados científicas que foram utilizadas para realização das pesquisas que visam responder as questões citadas acima.

## 3.3 Bases de Dados Científicas

Para a realização das pesquisas utilizadas nesse trabalho foram consideradas quatro bibliotecas digitais, sendo elas, ACM Digital Library, Portal de Periódicos da CAPES, IEEE Xplore e Scopus.

A ACM Digital Library ou Association for Computing Machinery Digital Library é uma biblioteca de dados digitais utilizada para pesquisas e descobertas, que contém textos completos publicados pelos próprios pesquisadores da ACM Digital Library, incluindo revistas, anais de conferências, boletins informativos e livros, além de uma coleção de artigos publicados por editores selecionados, o ACM Guide to Computing Literature, que é um banco de dados bibliográfico abrangente e focado exclusivamente no campo da computação, com conexões interligadas entre autores, obras, instituições e comunidades especializadas ([ACM DIGITAL LIBRARY, 2019](#)).

O Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), é uma biblioteca digital que agrega e disponibiliza para instituições

de ensino e pesquisa brasileiras, estudos de produção científica. Ele conta com mais de 45 mil títulos, 130 bases de referência, 12 bases exclusivas para patentes, além de livros, enciclopédias, normas técnicas, estatísticas e conteúdos audiovisuais (CAPES, 2020).

O Institute of Electrical and Electronics Engineering Xplore, também conhecido como IEEE Xplore, é um banco de dados digital para descoberta de conteúdo científico e técnico, relacionados a ciência da computação, engenharia elétrica, eletrônica e áreas afins. Contém material de publicação própria e de editores parceiros, sendo que seu acervo digital inclui mais de 4 milhões de documentos, incluindo cerca de 195 periódicos revisados por especialistas, mais de 1.800 conferências globais, mais de 9 mil padrões técnicos, aproximadamente 2.400 livros e mais de 485 cursos on-line (IEEE, 2019).

A Scopus é uma biblioteca digital de resumos e citações da literatura com revisão por pares, incluindo revistas científicas, livros, processos de congressos e publicações do setor. Oferecendo um panorama abrangente da produção de pesquisas nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanas. Seu acervo inclui aproximadamente 22.000 títulos desenvolvidos por de mais de 5.000 pesquisadores, dos quais 20.000 são de revistas especializadas (ELSEVIER, 2019).

Na Seção 3.4 são abordados os métodos utilizados para triagem e avaliação dos estudos selecionados para esse trabalho.

### 3.4 Métodos de Pesquisa

Após definição das questões e bases de dados, foram selecionadas as seguintes palavras-chave para utilização nas pesquisas: “Rehabilitation”, “Stroke”, “Motion Capture”, “Virtual Reality” e “Wearable Devices”. A primeira estrutura de busca consistiu no agrupamento dessas palavras-chave utilizando os conectores lógicos AND e OR, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Primeira estrutura de pesquisa elaborada.

PALAVRAS-CHAVE	ESTRUTURA
Rehabilitation, Stroke, Motion Capture, Virtual Reality e Wearable Devices	Rehabilitation AND Stroke AND Motion Capture OR (Virtual Reality OR Wearable Devices)

As buscas foram realizadas entre os dias 10 e 15 de Maio de 2021, considerando um intervalo de oito anos (2014-2021). Foram utilizadas as bases de dados ACM Digital Library, IEEE Xplore e Scopus, o Portal de Periódicos da CAPES não foi utilizado nesse momento, devido a uma restrição do sistema que não permitiu a utilização de mais de duas palavras-chave por vez na pesquisa. No total foram encontrados 494 artigos, que foram catalogados e enviados para o processo de triagem.

Visando abranger mais estudos, foi desenvolvido uma segunda lógica de pesquisa, onde as palavras-chave foram divididas em duas estruturas, conforme destaca a Tabela 2. Isso foi necessário para que fosse possível encontrar trabalhos que utilizem RV ou DCMs, mas não necessariamente em conjunto, ou que utilize em conjunto, mas que o foco seja apenas uma das tecnologias.

Tabela 2 – Segunda estrutura de pesquisa elaborada.

<b>PALAVRAS-CHAVE</b>	<b>ESTRUTURA</b>
Rehabilitation, Stroke e Motion Capture	Rehabilitation AND Stroke AND Motion Capture
Rehabilitation, Stroke, Motion Capture e Virtual Reality	Rehabilitation AND Stroke AND Motion Capture AND Virtual Reality

Essas pesquisas foram realizadas entre os dias 16 e 17 de Maio de 2021, utilizando as mesmas bases e parâmetros da primeira pesquisa. Foram listados um total de 253 trabalhos, que foram catalogados para posterior triagem.

Por último, foi desenvolvida uma terceira estrutura de pesquisa para o Portal de Periódicos da CAPES, que por característica da plataforma, só permitiu a utilização de duas palavras-chave por vez nas pesquisas, o que gerou uma quantidade consideravelmente grande de estudos que não tinham relação com reabilitação do AVC, sendo assim, foram considerados apenas os duzentos primeiros registros ordenados por relevância de acordo com o índice da plataforma. Desses duzentos registros, foram eliminados os estudos que não possuíam no título, palavras-chave ou abstract o termo “Stroke”, as combinações podem ser vistas na Tabela 3.

Tabela 3 – Estrutura de pesquisa elaborada para o Portal de Periódicos da CAPES.

<b>PALAVRAS-CHAVE</b>	<b>ESTRUTURA</b>
Rehabilitation e Motion Capture	Rehabilitation AND Motion Capture
Rehabilitation e Virtual Reality	Rehabilitation AND Virtual Reality
Rehabilitation e Wearable Devices	Rehabilitation AND Wearable Devices

As pesquisas foram realizadas no dia 18 de Maio de 2021, considerando trabalhos dos anos de 2014 a 2021, resultando em 73 artigos selecionados pós filtro de termo. Sendo assim, chegou-se a um total de 820 artigos, que passarão para o processo de triagem. Na Tabela 4, temos o total de estudos classificados pelas bases de dados de que são provenientes.

Tabela 4 – Total de artigos classificados por bases de dados.

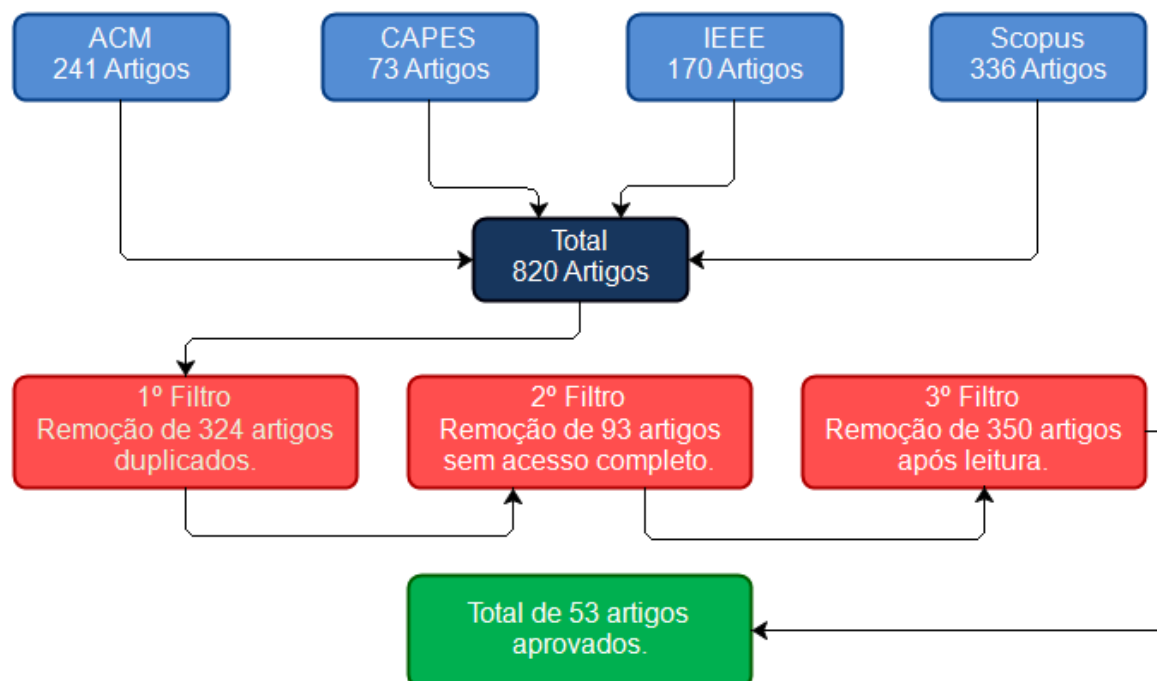
<b>BASE DE DADOS</b>	<b>ARTIGOS SELECIONADOS</b>
ACM Digital Library	241
CAPES – Portal de Periódicos	73
IEEE Xplore	170
Scopus	336
<b>Total</b>	<b>820</b>

Na Seção 3.5 está apresentada a lógica utilizada para inclusão e exclusão dos artigos que passaram para o processo de triagem.

### 3.5 Triagem e Avaliação dos Estudos

O processo de triagem e avaliação dos estudos foi dividido em três partes, remoção de duplicidades, identificação de trabalhos cujo conteúdo completo não está disponível e leitura dos artigos, conforme fluxograma da Figura 8.

Figura 8 – Fluxograma de triagem e avaliação dos estudos.



Fonte — Produzida pelo autor.

O primeiro filtro aplicado na triagem foi o de remoção de estudos duplicados, onde foi utilizado a opção Find Duplicates da ferramenta EndNote X9 da empresa Clarivate Analytics, que utiliza um algoritmo para análise dos títulos, palavras-chave, abstracts e autores dos trabalhos, identificando possíveis duplicidades (CLARIVATE ANALYTICS, 2018a), logo após, foi realizada uma análise manual nos trabalhos, visando detectar duplicidades que possam ter passado pela análise da ferramenta. No total foram removidos 324 artigos duplicados.

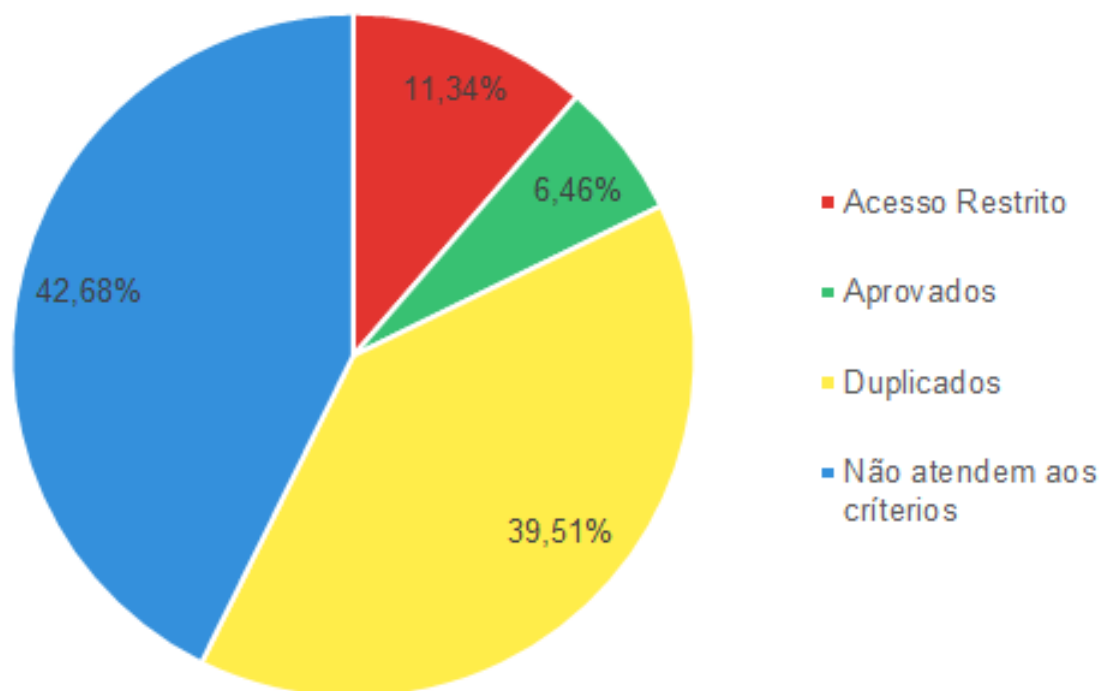
O segundo filtro aplicado corresponde a opção Find Full Text da ferramenta EndNote X9, que realiza o download dos artigos disponíveis para acesso e identifica os arquivos nos quais o texto completo não está disponível para acesso (CLARIVATE ANALYTICS, 2018b). Nessa etapa foram removidos 93 artigos, cujo o acesso ao texto completo estava restrito, é importante ressaltar que todos os arquivos removidos foram da base de dados Scopus, que listou os artigos na pesquisa, porém, direcionava o acesso a outras plataformas ao se tentar visualizar os mesmos, plataformas essas que não estão na lista de base de dados conveniadas com a UNESP, portanto, restringem o acesso ao conteúdo, por exemplo, Springer Link e IGI Global (UNESP, 2019).

Por último, foi realizada a avaliação dos estudos, iniciando pela leitura dos abstracts, sendo que, artigos que não tinham abstracts ou que o assunto não atendia aos critérios da pesquisa foram removidos, e finalmente foi realizada a leitura completa dos estudos. Para aprovação, os artigos deveriam apresentar aos seguintes pontos:

- Tipo de aplicação (jogo ou aplicativo);
- Informar quais membros estão sendo trabalhados;
- Informar o dispositivo de captura de movimentos utilizado;
- Informar o dispositivo de realidade virtual utilizado (se utilizar);
- Apresentar análise sobre os resultados obtidos.

Trabalhos que não atendiam a esses critérios foram removidos, gerando um total de 350 arquivos excluídos no processo. Após a triagem, o resultado de arquivos aprovados foi de 53 artigos, que correspondem a 6,4% dos trabalhados, conforme destaca a Figura 9.

Figura 9 – Percentual de trabalhos aprovados e rejeitados.



Fonte — Produzida pelo autor.

Os trabalhos selecionados foram publicados entre os anos de 2014 a 2019, sendo classificados em 19 artigos desenvolvidos na Europa (Alemanha, Espanha, França, Grécia, Inglaterra, Itália, Noruega, Portugal e Romênia), 17 na América do Norte (Estados Unidos e Canadá), 9 artigos na América do Sul (Argentina, Brasil e Equador) e 8 artigos no continente Asiático (China, Japão, Malásia, Taiwan e Vietnã). Segue na Tabela 5, relação completa dos estudos selecionados, incluindo ano de publicação, nome e país dos autores.

Tabela 5 – Lista de artigos selecionados para pesquisa.

<b>AUTORES</b>	<b>ARTIGO</b>	<b>PAÍS</b>
<a href="#">Adams et al. (2015)</a>	Assessing Upper Extremity Motor Function in Practice of Virtual Activities of Daily Living	EUA
<a href="#">Bai e Song (2019)</a>	Development of a Novel Home Based Multi-Scene Upper Limb Rehabilitation Training and Evaluation System for Post-Stroke Patients	China
<a href="#">Bortone et al. (2018)</a>	Wearable Haptics and Immersive Virtual Reality Rehabilitation Training in Children with Neuromotor Impairments	Itália
<a href="#">Brunner et al. (2014)</a>	Virtual reality training for upper extremity in subacute stroke (VIRTUES): Study protocol for a randomized controlled multicenter trial	Noruega
<a href="#">Chen, Liu e Ren (2018)</a>	Application of Wearable Device HTC VIVE in Upper Limb Rehabilitation Training	China
<a href="#">Chen et al. (2016)</a>	Development of an upper limb rehabilitation system using inertial movement units and kinect device	China
<a href="#">Covarrubias et al. (2015)</a>	VR system for rehabilitation based on hand gestural and olfactory interaction	Itália

Continua na próxima página

Tabela 5 – Lista de artigos selecionados para pesquisa.

AUTORES	ARTIGO	PAÍS
<a href="#">Crocetta et al. (2018)</a>	Virtual reality software package for implementing motor learning and rehabilitation experiments	Brasil
<a href="#">Nobrega et al. (2017)</a>	Terapia baseada em realidade virtual usando o Leap Motion Controller para reabilitação do membro superior após acidente vascular cerebral	Brasil
<a href="#">David, Bouyer e Otmane (2017)</a>	Towards an upper limb self-rehabilitation assistance system after stroke	França
<a href="#">Dias et al. (2018)</a>	eStreet: Virtual reality and wearable devices applied to rehabilitation	Brasil
<a href="#">Duarte, Postolache e Scharcanski (2014)</a>	KSGphysio-Kinect serious game for physiotherapy	Portugal
<a href="#">Ebert, Metsis e Makedon (2015)</a>	Development and evaluation of a unity-based, kinect-controlled avatar for physical rehabilitation	EUA
<a href="#">Elor, Teodorescu e Kurniawan (2018)</a>	Project Star Catcher: A Novel Immersive Virtual Reality Experience for Upper Limb Rehabilitation	EUA
<a href="#">Fazeli, Venkatesh e Peng (2018)</a>	A Virtual Environment for Hand Motion Analysis	Canadá
<a href="#">Ferreira et al. (2014)</a>	Gamification of stroke rehabilitation exercises using a smartphone	Portugal
<a href="#">Funabashi et al. (2017)</a>	AGaR: A VR serious game to support the recovery of post-stroke patients	Brasil

Continua na próxima página

**Tabela 5 – Lista de artigos selecionados para pesquisa.**

<b>AUTORES</b>	<b>ARTIGO</b>	<b>PAÍS</b>
Garzotto et al. (2018)	Exploiting the Integration of Wearable Virtual Reality and Bio-Sensors for Persons with Neurodevelopmental Disorders	Itália
Gonzalez-Franco, Gilroy e Moore (2014)	Empowering patients to perform physical therapy at home	EUA
Goršič, Cikajlo e Novak (2017)	Competitive and cooperative arm rehabilitation games played by a patient and unimpaired person: effects on motivation and exercise intensity	EUA
Hamzeheinejad et al. (2018)	Immersive Robot-Assisted Virtual Reality Therapy for Neurologically-Caused Gait Impairments	Alemanha
Hidalgo et al. (2018)	Serious game to improve fine motor skills using Leap Motion	Argentina
Hoda et al. (2014)	Cloud-based rehabilitation exergames system	China
Huber et al. (2014)	Validity and reliability of kinect for measuring shoulder joint angles	EUA
Ippolito e Massaro (2016)	A multi-sensor multi-rate algorithm for motor rehabilitation with Augmented Reality devices	Itália
Kato et al. (2016)	Trial operation of a cloud service-based three-dimensional virtual reality tele-rehabilitation system for stroke patients	Japão
Kontadakis et al. (2017)	Gamified 3D orthopaedic rehabilitation using low cost and portable inertial sensors	Grécia

Continua na próxima página

Tabela 5 – Lista de artigos selecionados para pesquisa.

AUTORES	ARTIGO	PAÍS
<a href="#">Kronbauer, Barreto e Neto (2015)</a>	Video Game to Help in Movement Rehabilitation	Brasil
<a href="#">Lichter et al. (2018)</a>	Virtual Activities of Daily Living for Recovery of Upper Extremity Motor Function	EUA
<a href="#">Lin et al. (2016)</a>	An Interactive Upper-Limb Post-Stroke Rehabilitation System Integrating BCI-based Attention Monitoring and Virtual Reality Feedback	Taiwan
<a href="#">Lugo et al. (2017)</a>	Virtual reality and hand tracking system as a medical tool to evaluate patients with parkinson's	Canadá
<a href="#">Lupu, Ungureanu e Stan (2016)</a>	A virtual reality system for post stroke recovery	Romênia
<a href="#">Lv et al. (2015)</a>	Intuitive Evaluation of Kinect2 based Balance Measurement Software	Espanha
<a href="#">Lydakis et al. (2017)</a>	A learning-based agent for home neurorehabilitation	EUA
<a href="#">Ma, Proffitt e Skubic (2018)</a>	Validation of a Kinect V2 based rehabilitation game	EUA
<a href="#">Matos, Santos e Vasconcelos (2014)</a>	Kinteract: a multi-sensor physical rehabilitation solution based on interactive games	Portugal
<a href="#">Metsis, Smith e Goibert (2017)</a>	Integration of virtual reality with an omnidirectional treadmill system for multidirectional balance skills intervention	EUA

Continua na próxima página

**Tabela 5 – Lista de artigos selecionados para pesquisa.**

<b>AUTORES</b>	<b>ARTIGO</b>	<b>PAÍS</b>
<a href="#">Ogaz et al. (2018)</a>	VRInsole: An unobtrusive and immersive mobility training system for stroke rehabilitation	EUA
<a href="#">Paolini et al. (2014)</a>	Validation of a Method for Real Time Foot Position and Orientation Tracking With Microsoft Kinect Technology for Use in Virtual Reality and Treadmill Based Gait Training Programs	Itália
<a href="#">Patel et al. (2015)</a>	Virtual reality-augmented rehabilitation in the acute phase post-stroke for individuals with flaccid upper extremities: A feasibility study	EUA
<a href="#">Pedraza-Hueso et al. (2015)</a>	Rehabilitation Using Kinect-based Games and Virtual Reality	Espanha
<a href="#">Postolache et al. (2016)</a>	Postural balance analysis using force platform for K-theragame users	Portugal
<a href="#">Semblantes et al. (2018)</a>	Visual feedback framework for rehabilitation of stroke patients	Equador
<a href="#">Shi e Peng (2018)</a>	A VR-based user interface for the upper limb rehabilitation	Canadá
<a href="#">Soares et al. (2017)</a>	Virtual reality therapy using the Leap Motion Controller for post-stroke upper limb rehabilitation	Brasil
<a href="#">Sousa et al. (2016)</a>	A Gesture Control System to Support Rehabilitation Exercises	Brasil

Continua na próxima página

Tabela 5 – Lista de artigos selecionados para pesquisa.

AUTORES	ARTIGO	PAÍS
Spicer et al. (2017)	REINVENT: A low-cost, virtual reality brain-computer interface for severe stroke upper limb motor recovery	EUA
Standen et al. (2015)	Patients' use of a home-based virtual reality system to provide rehabilitation of the upper limb following stroke	Inglaterra
Swee et al. (2017)	Development of rehabilitation system using virtual reality	Malásia
Tavares et al. (2016)	Virtual environment for instrumented glove	Portugal
TChien, Trang e Dung (2017)	Kinect-based virtual training system for rehabilitation	Vietnã
Tsoupikova et al. (2015)	Virtual Immersion for Post-Stroke Hand Rehabilitation Therapy	EUA
Tsuzuki e Nagamune (2017)	Comparison of real and virtual rehabilitation using hand measurement device based on six-axis inertial sensors	Itália

Na Seção 3.6 estão apresentados os dados que serão extraídos dos estudos selecionados.

## 3.6 Dados Extraídos

Após a seleção dos estudos, os seguintes dados foram extraídos para análise:

- Título do artigo;
- Nome dos autores;
- Ano de publicação;
- Base de dados;
- País dos autores;
- Membro(s) trabalhado(s);
- Tipo de aplicação;
- Dispositivo de captura de movimentos;
- Dispositivo de realidade virtual;
- Ferramentas de desenvolvimento;
- Resultados em âmbito emocional; e
- Resultados em âmbito físico.

Nesta Seção foi apresentada a metodologia desenvolvida para seleção dos trabalhos que proveram as informações utilizadas nas análises exibidas no Seção 3.7 desse estudo.

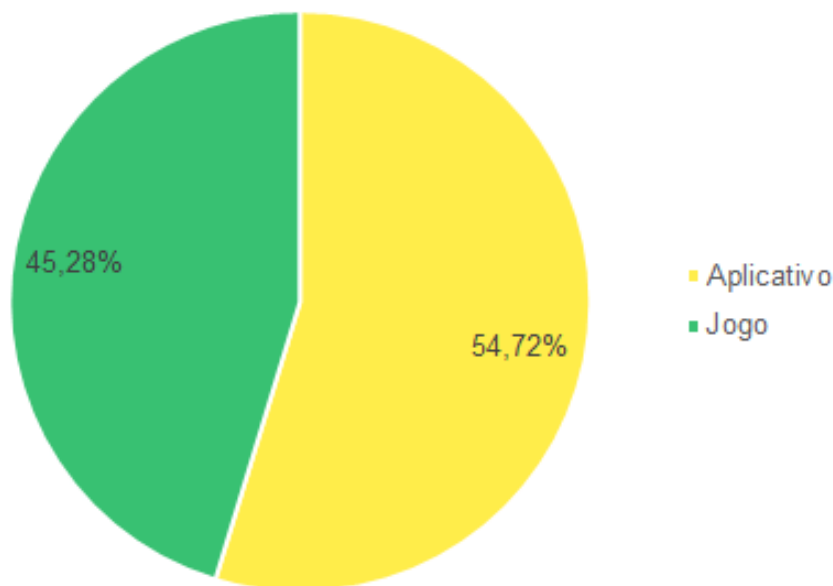
## 3.7 Análise e Discussão dos Resultados

Nessa Seção são apresentados os resultados obtidos através da investigação realizada nos estudos exibidos na Tabela 5, destacando os tipos de aplicações desenvolvidas, os membros que são trabalhados nas pesquisas, os dispositivos e ferramentas utilizados, além de uma visão sintetizada do desempenho das aplicações.

### 3.7.1 Tipos de Aplicação

Os sistemas desenvolvidos nos trabalhos foram classificados em dois tipos: Aplicativo ou Jogo. De acordo com o filósofo Suits, um jogo pode ser baseado em três conceitos: Objetivo Lúdico Pré-definido, Regras Constitutivas e Atitude Lúdica, fazendo com que o usuário se sinta motivado a seguir as regras do jogo, de maneira que ele tenha que superar de forma voluntária os obstáculos estabelecidos no sistema (SUITS, 2005). Dessa forma, para ser classificado como jogo nesse trabalho, era necessário que o sistema tivesse objetivos e regras distintas aos da reabilitação, seja alcançar uma determinada pontuação, alteração de fases ou aumento de níveis de dificuldades, de acordo com o desempenho do usuário. Segue na Figura 10 o percentual de aplicações desenvolvidas classificadas por tipo.

Figura 10 – Percentual de tipos de aplicação desenvolvidas.



Fonte — Produzida pelo autor.

Os resultados apontaram que 45,28% dos pesquisadores optaram por incluir elementos de jogos em seus sistemas, Segundo Wouters e Oostendorp, autores do livro *Instructional*

Techniques to Facilitate Learning and Motivation of Serious Games, esse tipo de aplicação, aumenta a motivação dos pacientes na execução dos exercícios, principalmente em pessoas jovens, por outro lado, pessoas idosas precisam de um tempo maior para entendimento da mecânica do jogo, mas se mostram mais motivadas na prática dos exercícios (WOUTERS; OOSTENDORP, 2018).

Como exemplo de aplicações que utilizam conceitos de jogo, podem ser citados os trabalhos de Lin et al. (2016) e Pedraza-Hueso et al. (2015), apresentados na Figura 11. No estudo de Lin o paciente precisa movimentar e disparar um canhão realizando movimentos com as mãos e braços, com o intuito de acertar os navios que são inseridos na cena. Já o estudo de Pedraza-Hueso permite que o paciente ande por cenários virtuais, coletando moedas com movimentos realizados pelo corpo e se esquivando de obstáculos, como galhos e pedras que surgem no caminho. Ressaltando que os movimentos realizados pelos pacientes durante a execução dos jogos são estratégicos para reabilitação dos membros afetados pelo AVC.

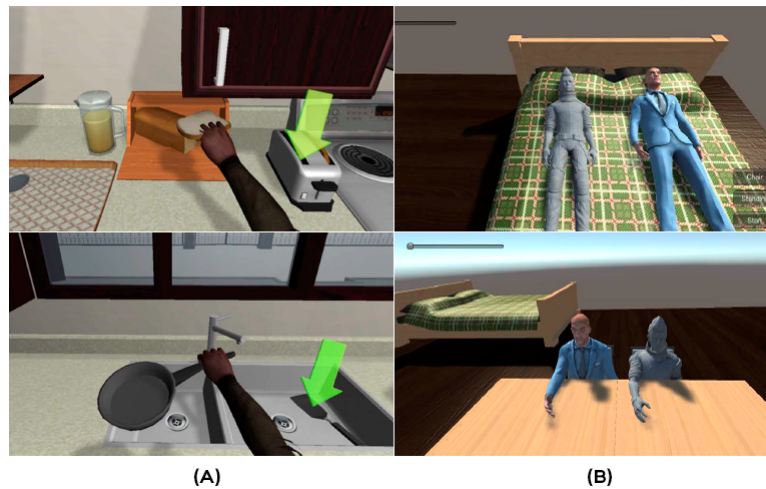
Figura 11 – Jogos criados por Lin et al. (A) e Pedraza et al. (B).



Fonte — Lin et al. (2016) e Pedraza-Hueso et al. (2015).

Os trabalhos de Adams et al. (2015) e Lupu, Ungureanu e Stan (2016) exemplificam os sistemas que foram classificados como aplicativos. O primeiro permite ao paciente simular atividades do dia a dia, como pegar e movimentar objetos virtuais de determinados cômodos de uma casa, já o segundo permite a simulação de atividades como deitar e sentar, onde o paciente precisa seguir as instruções do avatar virtual. Na Figura 12, temos algumas imagens das aplicações.

Figura 12 – Aplicações de Adams et al. (A) e de Lupu et al. (B).

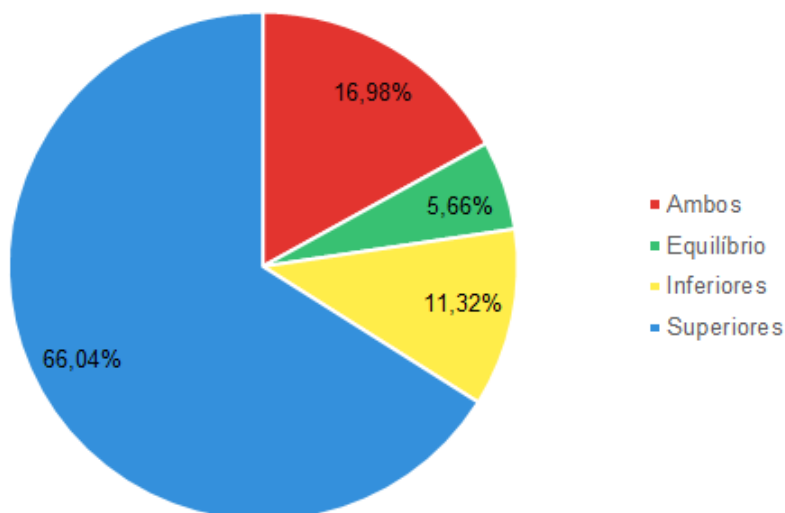


Fonte — Adams et al. (2015) e Lupu, Ungureanu e Stan (2016)

### 3.7.2 Membros Trabalhados

Nessa segunda análise, estão sendo destacados os tipos de membros que foram foco dos trabalhos realizados, classificando-os em Superiores (Mãos e Braços), Inferiores (Pés e Pernas), Equilíbrio e Ambos (Inferiores e Superiores). A Figura 13, destaca o percentual de cada tipo de membro pesquisado.

Figura 13 – Percentual de tipos de membros trabalhados.



Fonte — Produzida pelo autor.

De acordo com a World Health Organization (WHO), dentre as sequelas mais comuns causadas pelo AVC, estão as dificuldades para se realizar atividades com os

membros superiores, pegar objetos com as mãos por exemplo, e a dificuldade de realizar caminhadas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2014). Dessa forma, não é surpresa que os estudos apontem foco maior na reabilitação desses membros em relação aos demais. Para exemplificar os sistemas desenvolvidos, segue a Figura 14 com os trabalhos de Bai e Song (2019) e Gonzalez-Franco, Gilroy e Moore (2014), desenvolvidos para reabilitação de membros superiores e membros inferiores respectivamente.

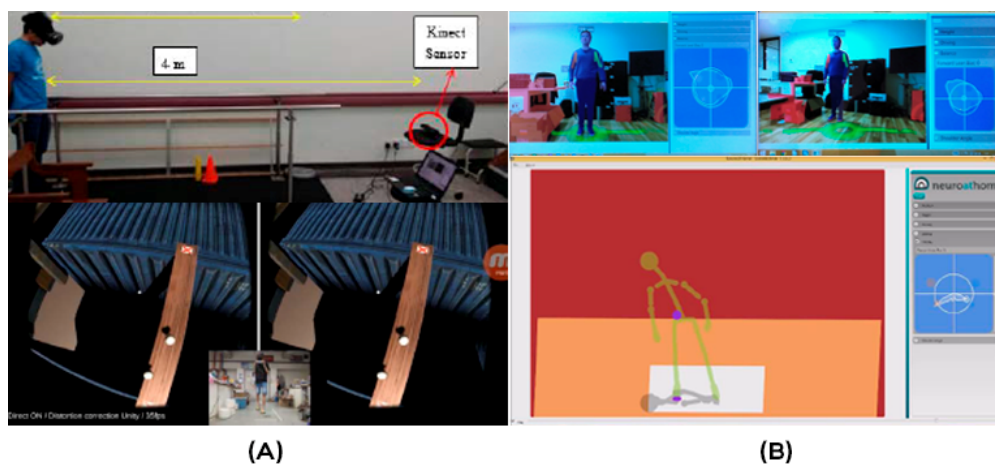
Figura 14 – Imagens dos projetos de Bai (A) e Gonzalez-Franco et al (B).



Fonte — Bai e Song (2019) e Gonzalez-Franco, Gilroy e Moore (2014).

Podem ser destacados ainda os trabalhos de Swee et al. (2017) e Lv et al. (2015), apresentados na Figura 15, que foram desenvolvidos para auxiliar os pacientes na reabilitação do equilíbrio, diminuindo a predisposição dos mesmos a quedas, devido ao desequilíbrio, que também é uma sequela comum em pessoas que sofreram AVC (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2014).

Figura 15 – Trabalhos de Swee et al. (A) e Lv et al. (B).

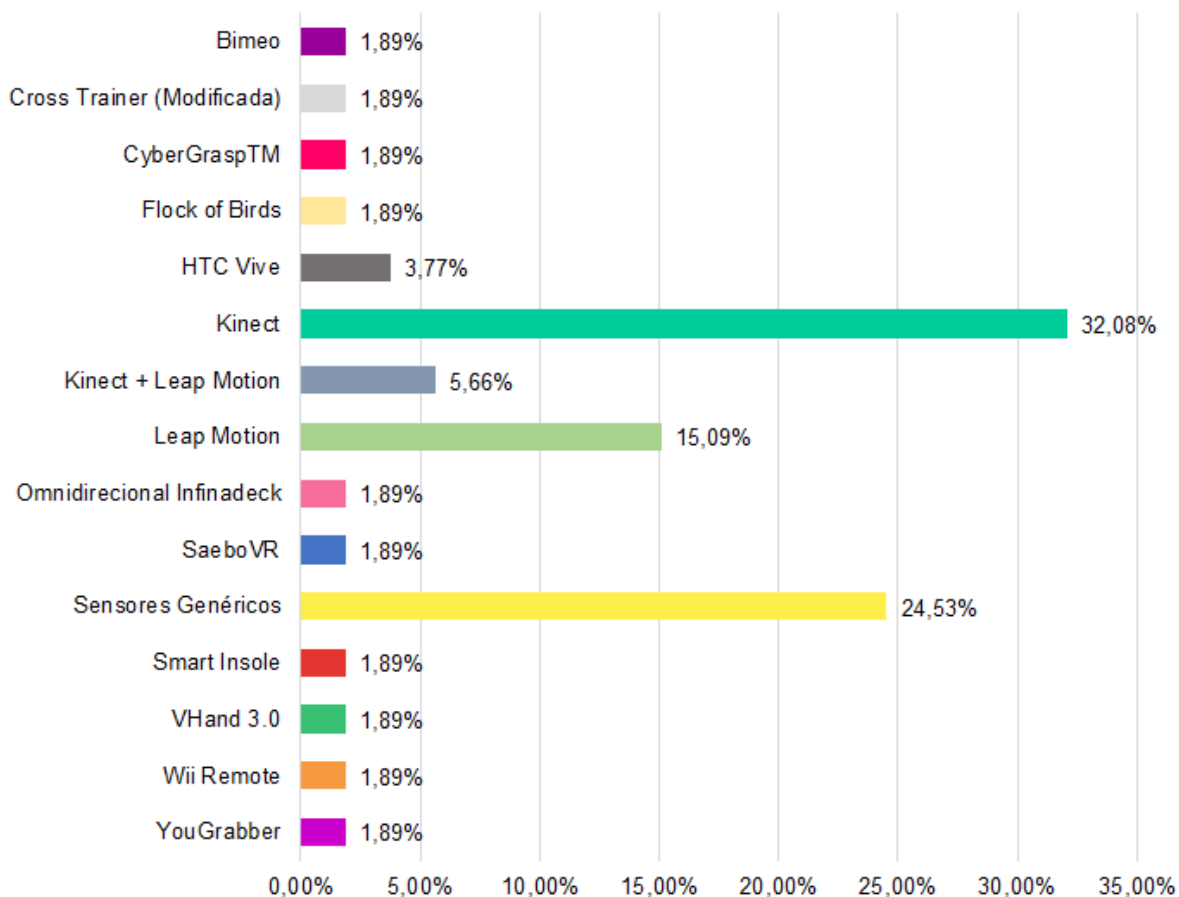


Fonte — Swee et al. (2017) e Lv et al. (2015)

### 3.7.3 Dispositivos de Captura de Movimentos

A captura de movimentos é uma técnica utilizada em diversas áreas, como biomecânica, entretenimento (animações de filmes e jogos), saúde (análises clínicas para estudos de movimentos), etc. Existem diversas opções de sensores disponíveis no mercado, por exemplo o Kinect, o Leap Motion, o Wii Remote, o Vive, etc., sendo que, nos estudos selecionados, destaca-se o Kinect, que está presente em 32,08% dos trabalhos, conforme pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 – Utilização dos dispositivos de captura de movimentos.



Fonte — Produzida pelo autor.

Segundo Rodrigues et al., a principal vantagem de se utilizar o Kinect está relacionada ao baixo custo e a precisão dos dados disponibilizados pelo dispositivo, já que ele está no mercado a um bom tempo e é foco de diversos estudos, não apenas na área da saúde, mas em diversas outras, o que contribuiu com o aperfeiçoamento da ferramenta. Já a desvantagem está relacionada ao uso da ferramenta em ambientes não controlados, onde os objetos presentes na cena, móveis de uma casa por exemplo, podem causar falhas na de-

teccão dos movimentos e até mesmo divergências na transmissão dos dados (RODRIGUES et al., 2016).

É importante ressaltar, que a Microsoft anunciou a descontinuidade do modelo original do Kinect, que passa agora a ser integrado ao Azure Kinect, que é um novo modelo de dispositivo restrito a empresas, o que pode ser considerado uma desvantagem, já que é possível que o sistema original deixe de receber atualizações (MICROSOFT, 2017).

Na Figura 17, destaca-se o trabalho de Lichter et al. (2018), que utiliza o Kinect na captura dos movimentos dos pacientes.

Figura 17 – Imagens do trabalho de Lichter et al.

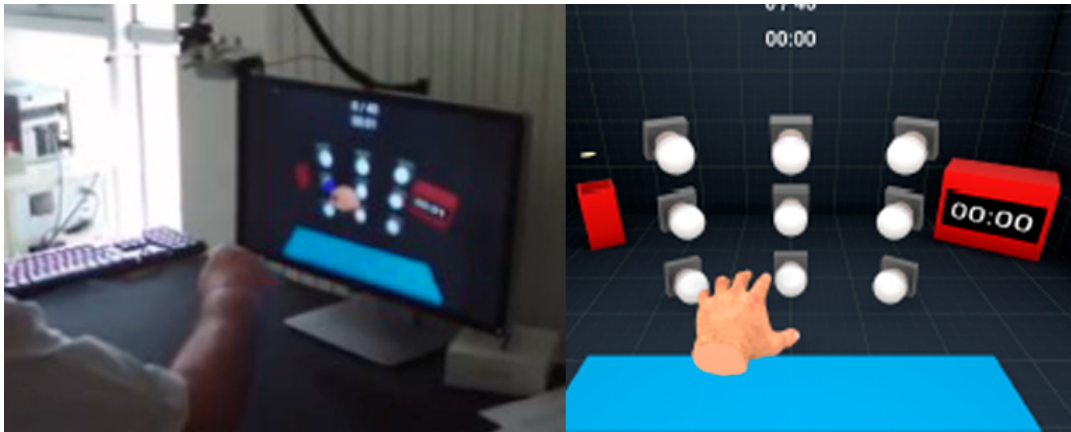


Fonte — Lichter et al. (2018).

Outro dispositivo que aparece com uma grande taxa de utilização nos trabalhos, é o Leap Motion da empresa de nome homônimo, ele utiliza luzes de led e sensores de câmera, para rastrear as duas mãos e todos os 10 dedos de uma pessoa, enquanto eles se movem pelo espaço aberto entre o usuário e o dispositivo, traduzindo os dados em informações para o computador (LEAP MOTION, 2019).

É apresentado na Figura 18, o projeto de David, Bouyer e Otmame (2017) que utilizou o Leap Motion como dispositivo para captura de movimentos.

Figura 18 – Uso do Leap Motion no trabalho de David et al.



Fonte — David, Bouyer e Otmane (2017)

Além dos sensores citados anteriormente, destacam-se também os sensores “genéricos”, que estão sendo classificados assim, pois são desenvolvidos pelos próprios pesquisadores, a partir da combinação de periféricos como giroscópio, acelerômetro, bússola, etc.

Esses sensores podem ser bem precisos e ter baixo custo de produção, tendo o diferencial em relação ao Kinect e ao Leap Motion, a possibilidade de serem alocados em vestuários, tornando-se os chamados dispositivos vestíveis, como pulseiras, camisetas e colares eletrônicos (TONG, 2018). Na Figura 19 são exibidos alguns exemplos de dispositivos utilizados nos trabalhos.

Figura 19 – Exemplos de dispositivos criados nos trabalhos.



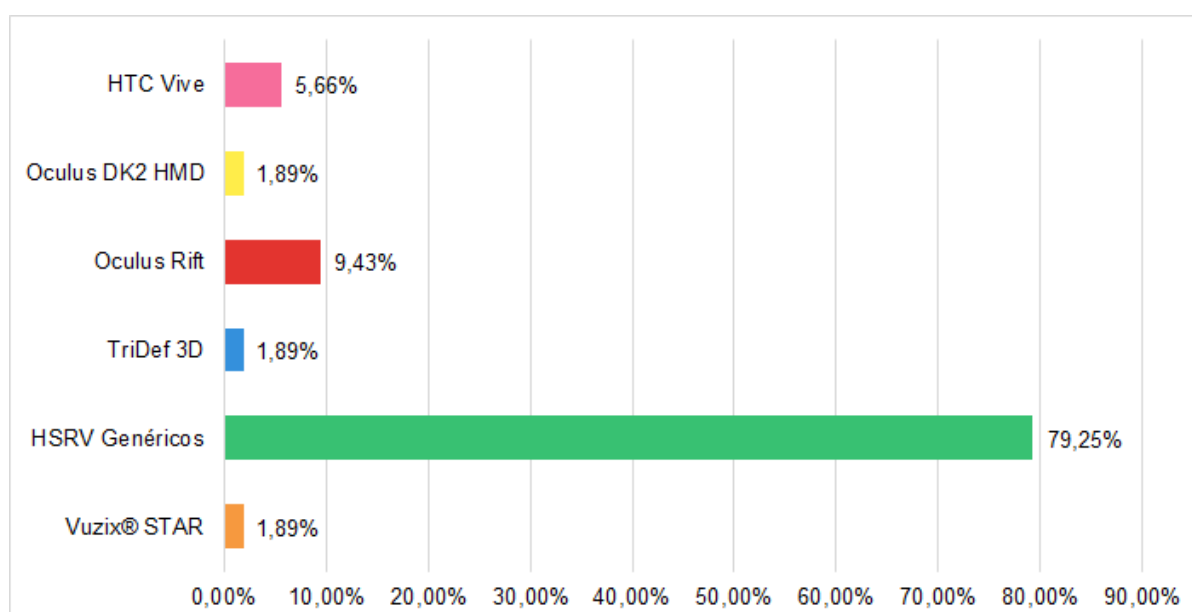
Fonte — Produzida pelo autor.

### 3.7.4 Dispositivos de Realidade Virtual

Durante a última década, a palavra virtual tornou-se comum no nosso vocabulário, tanto que hoje temos universidades virtuais, jogos virtuais, cidades virtuais, animais de estimação virtuais, etc. Essencialmente, a realidade virtual é uma interface avançada para aplicações computacionais, onde o usuário pode navegar e interagir, em tempo real, com um ambiente 3D gerado por computador, explorando pontos de vista que seriam impossíveis no mundo real, tendo a possibilidade de tocar, reposicionar e manipular objetos virtuais, criando configurações totalmente novas (VINCE, 2004). O campo da realidade virtual está se movendo muito rapidamente e na área da saúde surgiu como uma nova abordagem para fornecer terapia de reabilitação para pacientes que sofreram Acidente Vascular Cerebral.

São diversos os dispositivos de RV disponíveis no mercado atual, destacando-se nos trabalhos selecionados, os dispositivos classificados como HSRV Genéricos, que são dispositivos fabricados com o conceito de CardBoard, desenvolvidos muitas das vezes pelo próprio pesquisador, com materiais de baixo valor, como o papelão por exemplo, e que utilizam o display de um smartphone para fornecer as imagens (GOOGLE, 2014), tendo como principal vantagem o custo, que pode ser menor se comparado com os dispositivos Oculus Rift e HTC Vive, que são tidos como os mais populares do mercado. Na Figura 20 é exibido o percentual de utilização dos principais dispositivos.

Figura 20 – Dispositivos de realidade virtual utilizados.



Fonte — Produzida pelo autor.

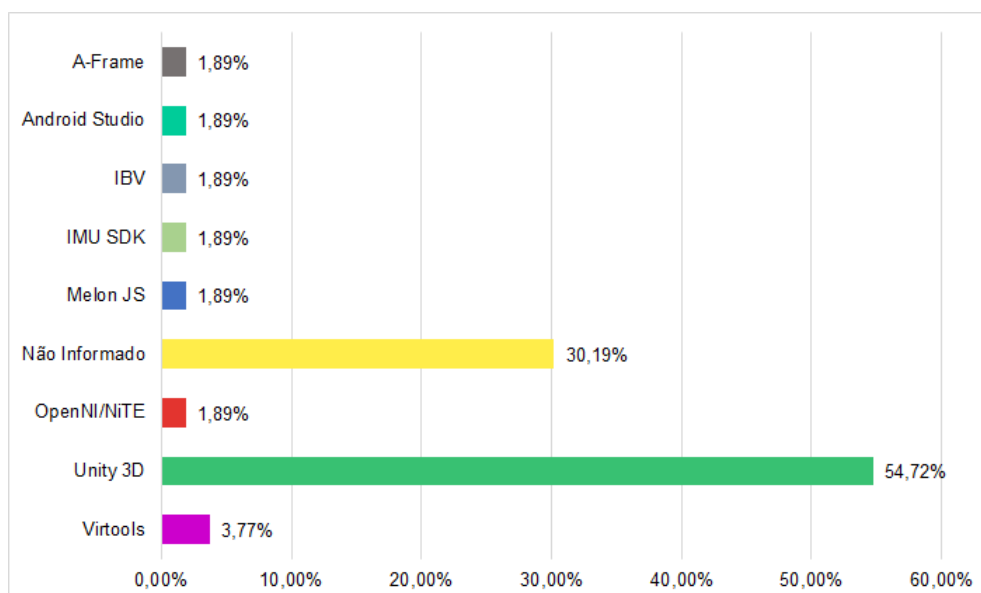
É importante ressaltar também, que segundo Sharples et al., algumas pessoas podem sentir tonturas ou enjoos ao ficarem imersas por muito tempo em realidade virtual (SHARPLES et al., 2008), por isso alguns trabalhos oferecem tanto a opção de utilização com RV, quanto a opção de visualização em telas comuns (monitores e telões), para contornar essa situação.

### 3.7.5 Ferramentas de Desenvolvimento

Dentre as ferramentas utilizadas nos trabalhos a que se destaca é o Unity 3D, estando presente em 54,72% dos trabalhos, ver Figura 21. O Unity 3D é um mecanismo de desenvolvimento multiplataforma, criado pela empresa Unity Technologies e utilizado para a produção de jogos em 2D e 3D, bem como simulações e visualizações interativas não relacionadas a jogos. Possui uma versão gratuita, comunidade ativa e documentação bem completa, sendo atualmente umas das principais ferramentas de desenvolvimento para realidade virtual (UNITY TECHNOLOGIES, 2019a).

Um ponto a ser ressaltado é o fato de o Unity 3D utilizar a linguagem de programação C#, desenvolvida pela Microsoft, mesma desenvolvedora do Kinect, uns dos sensores mais utilizados nos projetos, o que facilita o desenvolvimento, pois já existem diversos recursos disponibilizados para o Kinect e que são compatíveis com a plataforma Unity 3D (UNITY TECHNOLOGIES, 2019b).

Figura 21 – Ferramentas de desenvolvimento utilizadas.



Fonte — Produzida pelo autor.

Pode-se destacar ainda, o trabalho de [Kronbauer, Barreto e Neto \(2015\)](#), único projeto entre os selecionados que utilizou tecnologias WEB para desenvolvimento, onde foi utilizado o MelonJS, que é um framework HTML5 projetado para a construção de jogos ([MELONJS, 2019](#)). De acordo com os autores, os resultados foram animadores, com bom percentual de satisfação em todas as métricas analisadas.

### 3.7.6 Combinações de Tecnologias, Membros e Tipos de Aplicação

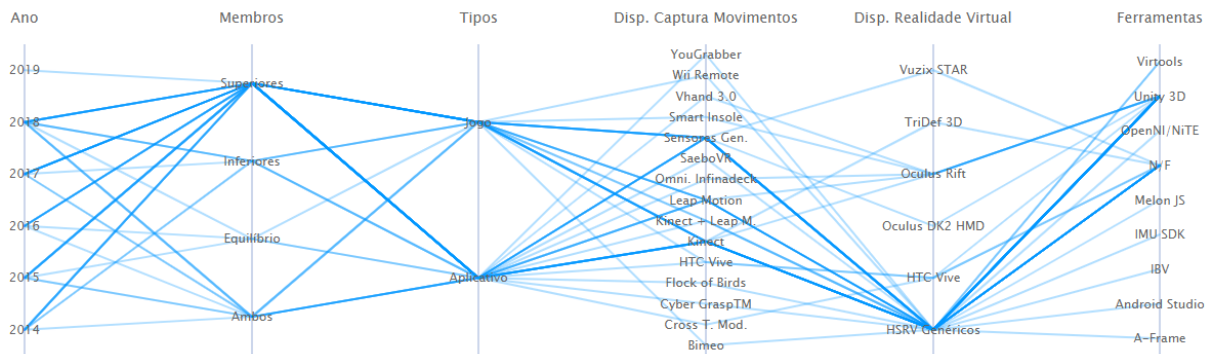
Os estudos investigados nessa Revisão Sistemática resultaram em 45 combinações diferentes entre as tecnologias utilizadas, membros trabalhados e tipos de aplicação, sendo que a combinação mais utilizada foi a Kinect, HSRV Genéricos e Unity 3D, utilizados para o desenvolvimento de jogos para tratamento de membros superiores, estando presente nos trabalhos de [Funabashi et al. \(2017\)](#), [Hoda et al. \(2014\)](#), [Bai e Song \(2019\)](#) e [Duarte, Postolache e Scharcanski \(2014\)](#).

É importante ressaltar, que das 45 combinações utilizadas nos estudos, 40 são específicas de cada trabalho, o que abre uma gama de possibilidades, não só na reabilitação de pacientes Pós-acidente Vascular Cerebral, mas também em pacientes com doenças que possuem características semelhantes ao AVC.

Na Tabela 6 são destacadas todas as combinações desenvolvidas, ordenadas por tipo e maior frequência de uso.



Figura 22 – Relacionamento das tecnologias de acordo com o ano.



Fonte — Produzida pelo autor.

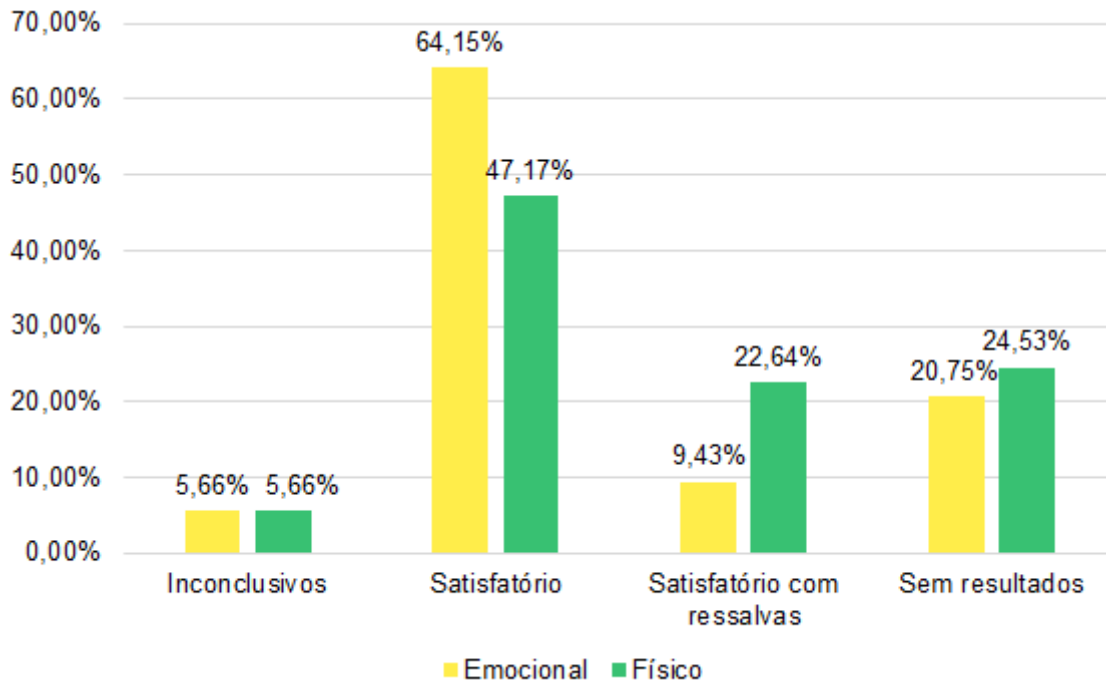
Na Seção 3.8 estão destacados os resultados obtidos pelos estudos, de acordo com as avaliações realizadas.

### 3.8 Resultados dos Testes

Os resultados apresentados nesses trabalhos mostraram-se em sua maioria promissores, tanto para os cenários de reabilitação em âmbito físico quanto no emocional. Na Figura 23 são apresentados os resultados dos trabalhos, classificados nas categorias de satisfatórios, com ressalvas, inconclusivos e sem resultados.

Satisfatório corresponde a trabalhos onde os autores realizaram testes e/ou questionários com os pacientes e obtiveram resultados considerados positivos. Não satisfatório corresponde a testes que precisam ser melhorados ou necessitam de mais pacientes, mas que se mostraram animadores. Inconclusivos são os cenários onde houveram testes em pacientes, mas não foi possível concluir se os resultados foram melhores ou piores em relação ao modelo convencional. Por último, está a categoria sem resultados, onde os testes não foram aplicados em pacientes, mas foram testados internamente pelos desenvolvedores e que posteriormente serão testados em pacientes para uma melhor análise.

Figura 23 – Trabalhos classificados por resultado.



Fonte — Produzida pelo autor.

Muitos pesquisadores destacam ainda, a importância da realização de mais investimentos nos estudos da realidade virtual com captura de movimentos para reabilitação de pacientes Pós-acidente Vascular Cerebral, pois apesar dos resultados serem promissores, ainda é cedo para se afirmar a efetividade das ferramentas nos mais diversos cenários que podem ocorrer, sendo necessário testes em uma amostragem maior de pacientes.

Na Seção 3.9 serão apresentadas as considerações finais acerca da Revisão Sistemática da Literatura.

### 3.9 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas as análises realizadas com base na Revisão Sistemática da Literatura elaborada a partir das questões: Quais são as tecnologias, tipos de aplicações e dispositivos de captura de movimentos, que apresentam melhores resultados na reabilitação de pacientes Pós-acidente Vascular Cerebral? E quais são os tipos de membros que podem ser tratados com o uso de sistemas de captura de movimentos??

Com base nos resultados, observa-se que os trabalhos apresentam um foco maior

em membros superiores, pelo fato de sequelas serem mais comuns nesses membros. Foi possível verificar que o Kinect e os dispositivos de HSRV Genéricos que utilizam o conceito de CardBoard são os mais utilizados entre os pesquisadores, por apresentarem bons resultados e um custo baixo. Foi avaliado que quase metade dos pesquisadores optaram por desenvolver jogos interativos, pois pesquisas apontam que eles auxiliam na motivação dos pacientes. Observa-se também que o Unity 3D é a ferramenta de desenvolvimento mais utilizada, devido as grandes quantidades de recursos disponíveis para mesma.

Além disso, foram analisados os resultados obtidos pelos trabalhos, que se mostraram promissores, porém, necessitam de mais pesquisas para se garantir a efetividade nos mais diversos cenários do Acidente Vascular Cerebral.

Com os dados levantados nessa RSL, foi possível observar algumas tendências e direções que estão sendo seguidas pelos pesquisadores, e que serão consideradas no desenvolvimento do sistema KinesiOS, conforme será abordado no Capítulo 4 a seguir.



## 4 KinesiOS

### 4.1 Considerações Iniciais

Neste Capítulo são abordadas as tecnologias e ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do sistema KinesiOS, além de, especificar as funcionalidades desenvolvidas até o momento.

### 4.2 Tecnologias e Ferramentas

A seguir serão introduzidas as tecnologias e ferramentas escolhidas para desenvolvimento do projeto.

#### 4.2.1 C#

O C# é uma linguagem de programação multiplataforma e de tipos protegidos, orientada a objetos e que permite aos desenvolvedores construir uma variedade de aplicações seguras e robustas, compatíveis com o .NET Framework. É a mesma linguagem utilizada no desenvolvimento do SDK do Kinect v2, o que garante uma compatibilidade maior com o dispositivo.

Um outro diferencial da linguagem é a tecnologia Windows Presentation Foundation (WPF), que oferece recursos gráficos para as aplicações, além de possibilitar a divisão da interface da regra de negócios da aplicação. Assim é possível o desenvolvimento de um sistema com design moderno, responsivo e de boa usabilidade, facilitando o uso de formas geométricas virtuais, que serão utilizadas para construção dos esqueletos virtuais desse projeto ([MICROSOFT, 2018](#)).

#### 4.2.2 Kinect SDK 2.0

O Kinect SDK 2.0 é uma coleção de software, com métodos, classes e objetos pré-programados, que fornecem aos desenvolvedores exemplos de programas e bibliotecas que auxiliam e facilitam a construção de aplicativos compatíveis com reconhecimento de

gestos e voz, utilizando a tecnologia dos sensores Kinect v2 em computadores executando o sistema operacional Windows (MICROSOFT, 2017).

### 4.2.3 MongoDB

O MongoDB, é um banco de dados não relacional, orientado a documentos e de alta performance, ideal para se trabalhar com as grandes massas de dados que serão geradas pelo sistema (BRADSHAW; BRAZIL; CHODOROW, 2019). A base de dados das sessões de reabilitação do KinesiOS está disponível na nuvem, permitindo o acesso as informações a qualquer momento e lugar, sendo necessário apenas que o especialista esteja cadastrado no sistema.

### 4.2.4 SQL Server 2019 Express

O SQL Server 2019 Express é um SGBD, sistema de gerenciamento de banco de dados relacional, pertencente a Microsoft Corporation e executado em T-SQL (Transact - SQL), um conjunto de programas de extensões da Sybase e Microsoft, que adicionam vários recursos para o SQL padrão, incluindo controle de transação, exceção, tratamento de erros, processamento de linha, e declaração de variáveis (CARTER, 2019). Essa base de dados será utilizada para gravar dados básicos, como cadastros de pacientes, cadastros de especialistas e prontuários médicos. Além de salvar dados de autenticação dos usuários do sistema.

### 4.2.5 Visual Studio 2019

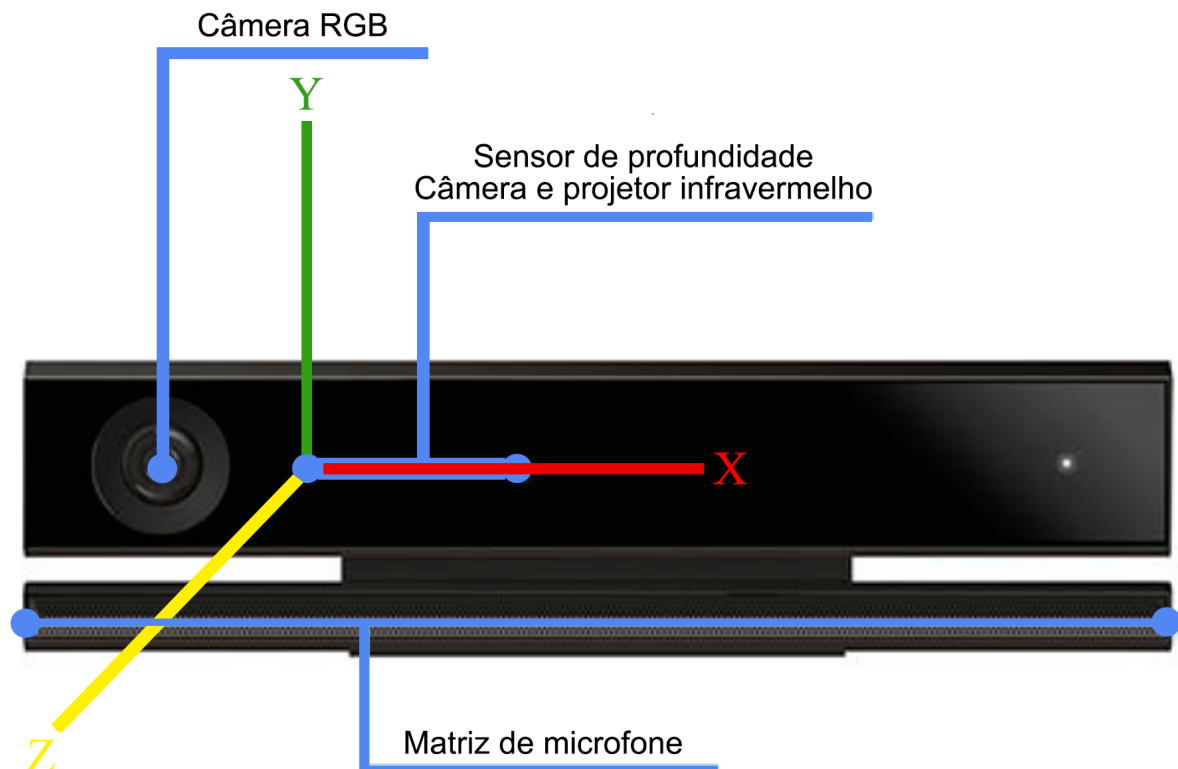
O Visual Studio 2019 é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) criado pela Microsoft Corporation. Ele é utilizado para desenvolver programas multiplataformas, bem como sites, aplicações e serviços web. Ele utiliza diversos tipos de APIs como: Windows Forms, Windows Presentation Foundation, Windows Store e Silverlight, produzindo códigos nativos e códigos gerenciados.

### 4.2.6 Kinect v2

O sensor Kinect v2, desenvolvido pela Microsoft Corporation, é uma barra horizontal conectada a uma pequena base com um pivô regulável e foi projetado para ser posicionado

longitudinalmente acima ou abaixo da exibição do vídeo. O dispositivo possui uma câmera RGB, sensor de profundidade e microfones de matriz múltipla, responsáveis pela captura de movimento 3D de corpo inteiro, reconhecimento facial e habilidades de reconhecimento de voz (RODRIGUES et al., 2016). Na figura 24 é destacado o posicionamento dos sensores no dispositivo.

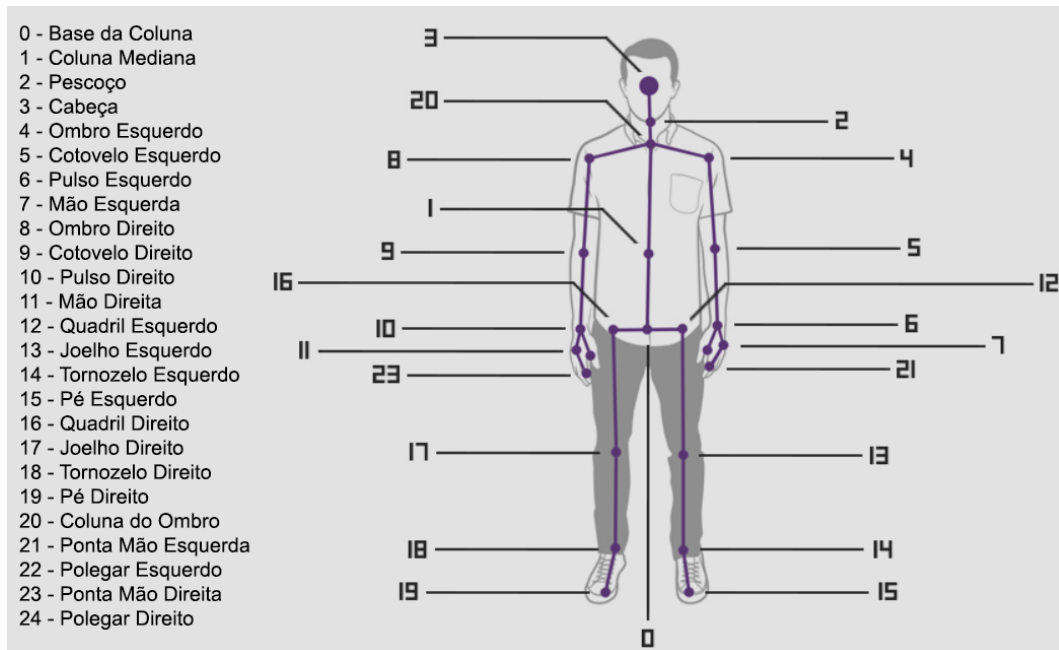
Figura 24 – Visão frontal do dispositivo Kinect v2.



Fonte — Produzido pelo autor.

A câmera RGB permite que o Kinect v2 reconheça até 6 pessoas e rastreie até duas pessoas ao mesmo tempo. O rastreamento esquelético permite que os usuários sejam rastreados enquanto estão sentados ou em pé, sendo necessário apenas ficar na frente do Kinect v2 com a cabeça e os membros superiores visíveis para serem reconhecidos, nenhuma calibração específica precisa ser feita para que o alvo seja rastreado. O modo de rastreamento esquelético permite que o sensor rastreie até 25 coordenadas de articulação no espaço 3D (RODRIGUES et al., 2016), conforme destaca a Figura 25.

Figura 25 – Articulações reconhecidas pelo Kinect v2



Fonte - Adaptado de [Zare et al. \(2018\)](#)

O Kinect v2 é um dos dispositivos que oferece aos desenvolvedores as maiores oportunidades para criação de sistemas de rastreamento inovadores, pois possui baixo custo de aquisição e oferece uma gama de recursos precisos e de qualidade e embora ele tenha sido desenvolvido para jogos, a tecnologia evoluiu e agora é aplicada a diversos aplicativos do mundo real, que variam de compras virtuais, educação, saúde e outras áreas da tecnologia ([MICROSOFT, 2017](#)).

## 4.3 Desenvolvimento

O desenvolvimento do KinesiOS foi dividido em três partes, a primeira referente ao controle de acessos, a segunda referente aos processos de cadastros básicos e a última referente ao processo de captura de movimentos, conforme descritos nas seções a seguir.

### 4.3.1 Controle de Acessos

Um controle de acesso é uma ferramenta utilizada para se realizar a autenticação das pessoas que poderão utilizar o sistema, garantindo que não ocorra nenhum acesso indevido as informações que estão guardadas na base de dados.

Para utilizar o sistema KinesiOS, é necessário realizar um pré-cadastro para solicitação de acesso, informando alguns dados básicos como nome, endereço, email, usuário e senha. Essas informações serão enviadas para aprovação de um administrador do sistema, que valida as informações e libera ou recusa o acesso. Os dados dos usuários ficam salvos em uma base de dados online, que utiliza o SQL Server como SGBD, sendo que a senha do usuário é criptografada no formato HMACSHA512, que é um dos algoritmos mais seguros da atualidade, pois combina uma chave secreta com a senha do usuário e gera um hash como resultado. O valor do hash é misturado com a chave secreta novamente e, em seguida, é feito um hash pela segunda vez, gerando uma saída de 512 bits de comprimento.

Com o acesso liberado, o usuário informa seus dados e realiza o login no sistema, conforme Figura 26. A aplicação envia os dados de acesso para uma API (Application Programming Interface), através de um endpoint de autenticação. Se os dados forem válidos será gerado um token de permissão de acesso para o usuário, caso contrário será gerado um erro na aplicação.

O token gerado é programado para expirar em duas horas, até lá ele é salvo temporariamente em uma variável ambiente da aplicação e será utilizado para validar todos os endpoints de cadastros, ou seja, sem o token, todos os acessos aos cadastros de pacientes, prontuários e sessões de reabilitação serão bloqueados, evitando acessos externos que não estejam autenticados.

Figura 26 – Tela de login do sistema KinesiOS.



Fonte - Produzido pelo autor.

### 4.3.2 Cadastros Básicos

Para gerenciar os pacientes, prontuários médicos e sessões de tratamento que são realizados pelo profissional da saúde, o KinesiOS fornece uma ferramenta de gerenciamento de dados própria, que utiliza uma base de dados para registrar todos os cadastros realizados. Como essa base de dados é online, o profissional possuirá acesso a essas informações de qualquer lugar, o que facilita o uso de profissionais que atendem a domicílio ou que trabalham em mais de uma clínica.

O cadastro de paciente é composto de algumas informações básicas, como nome e endereço. Através dela é possível inserir, alterar, excluir ou consultar dados do paciente, conforme destaca a Figura 27.

Figura 27 – Tela de cadastro de paciente do sistema KinesiOS.

A interface do sistema KinesiOS é dividida em duas seções principais: 'Novo Paciente' e 'Pacientes Registrados'.

**Novo Paciente:** Possui campos de entrada para CPF (12925522475), Nome (Roger Waters), Endereço (Travessa das Flores, 875), Bairro (Vila Ribeiro), Cidade (Araguaína), Estado (Tocantins), Telefone (6336440217) e E-mail (roger@kinesios.com). Abaixo dos campos, há uma nota: '\* Campos obrigatórios'. Na base da seção, há três botões: 'Salvar' (verde), 'Remover' (vermelho) e 'Limpar' (azul).

**Pacientes Registrados:** Apresenta uma tabela com os seguintes dados:

CPF	Nome	Endereço	Bairro
12925522475	Roger Waters	Travessa das Flores, 875	Vila Ribeiro
35957112895	Mick Jagger	Rua Voluntários da Pátria, 809	Costeira do Pirajuba
53190904391	Jane Joplin	Rua Dona Leopoldina, 411	Piçarra

Fonte - Produzido pelo autor.

Após cadastrar o paciente, será necessário associa-lo a um prontuário médico, onde serão informados os dados sobre as sequelas que o mesmo possui, ou qualquer outra informação que seja relevante para o tratamento. O paciente poderá ter um ou mais prontuários, que servirão como um histórico médico dos tratamentos que já foram ou estão sendo realizados.

Através da tela de prontuários médicos é possível inserir, alterar, excluir ou consultar dados do prontuário, conforme destaca a Figura 28.

Figura 28 – Tela de cadastro de prontuários médicos do sistema KinesiOS.

The screenshot shows the 'Cadastro de Prontuários' window. On the left, the 'Novo Prontuário' form includes fields for 'CPF \*' (12925522475), 'Nome' (Roger Waters), 'Descrição \*' (Reabilitação dos braços), and a 'Detalhes' text area containing 'Paciente sofreu um AVC e perdeu parte dos movimentos dos braços.' At the bottom are 'Salvar', 'Remover', and 'Limpar' buttons. On the right, the 'Prontuários Registrados' section shows a table of records grouped by name.

Agrupados por: Nome			
Prontuário	CPF	Nome	Descrição
Jane Joplin			
3	53190904391	Jane Joplin	Reabilitação da perna direita
Mick Jagger			
4	35957112895	Mick Jagger	Reabilitação do ombro esquerdo
Roger Waters			
1	12925522475	Roger Waters	Reabilitação dos braços
2	12925522475	Roger Waters	Reabilitação do joelho esquerdo

Fonte - Produzido pelo autor.

Por último, deverão ser cadastrados os exercícios que serão executados durante a sessão de reabilitação, conforme destaca a tela da Figura 29.

Figura 29 – Tela de cadastro de exercícios do sistema KinesiOS.

The screenshot shows the 'Opções de Gravação' window. It features a form with the following fields: 'Prontuário \*' (1), 'Descrição' (Reabilitação dos braços), 'Nome do Exercício \*' (Reabilitação do ombro esquerdo), and 'Tipo de Usuário \*' (Paciente (Reabilitação)). At the bottom are 'Salvar' and 'Cancelar' buttons.

Fonte - Produzido pelo autor.

### 4.3.3 Diagramas de casos de uso

Os diagramas de casos de uso tem como objetivo, descrever as principais atores e eventos de cada tipo de cadastro, de maneira que se entenda a sequência de eventos de uso para completar o processo de captura dos movimentos.

#### 4.3.3.1 Cadastro de pacientes

Tabela 7 – Diagrama de caso de uso de cadastro de paciente.

<b>CAMPO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Objetivo	Gravar um novo exercício guia.
Ator primário:	Especialista.
Ator secundário:	Paciente.
Pré-condição:	O especialista deve estar logado no sistema.
Pós-condição:	Dados do paciente serão inseridos no banco de dados.
Sequência típica de Eventos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O especialista seleciona o cadastro de pacientes no menu principal.</li> <li>2. Sistema carrega a tela de cadastro e aguarda o preenchimento das informações.</li> <li>3. O especialista clica no botão salvar e os dados são gravados no banco de dados.</li> </ol>
Sequência alternativa:	<p>Linha 2(1): Se o paciente já existir, exibe uma mensagem de paciente existente. Linha 2(2): Caso aconteça um erro inesperado, o sistema exibe uma mensagem informando erro.</p>

## 4.3.3.2 Cadastro de prontuário médicos

Tabela 8 – Diagrama de caso de uso de cadastro de prontuários médicos.

CAMPO	DESCRIÇÃO
Objetivo:	Cadastrar um novo prontuário médico.
Ator primário:	Especialista.
Ator secundário:	
Pré-condição:	O especialista deve estar logado no sistema. O paciente deve estar cadastrado no sistema.
Pós-condição:	Dados do prontuário serão inseridos no banco de dados.
Sequência típica de Eventos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O especialista seleciona o cadastro de prontuários no menu principal.</li> <li>2. Sistema carrega a tela de cadastro e aguarda o preenchimento das informações.</li> <li>3. O especialista vincula o prontuário ao paciente.</li> <li>4. O especialista clica no botão salvar e os dados são gravados no banco de dados.</li> </ol>
Sequência alternativa:	<p>Linha 2(1): Se o paciente não existir, exibe uma mensagem de paciente não existente.</p> <p>Linha 2(2): Caso aconteça um erro inesperado, o sistema exibe uma mensagem informando erro.</p>

## 4.3.3.3 Gravação de exercício guia

Tabela 9 – Diagrama de caso de uso de gravação de exercício guia.

CAMPO	DESCRIÇÃO
Objetivo:	Gravar um novo exercício guia.
Ator primário:	Especialista.
Ator secundário:	
Pré-condição:	O especialista deve estar logado no sistema.
Pós-condição:	Dados do exercício serão inseridos no banco de dados.
Sequência típica de Eventos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O especialista seleciona a opção sessão de reabilitação.</li> <li>2. Sistema carrega a tela de captura de movimentos.</li> <li>3. O especialista seleciona o tipo de visualização e os membros que serão rastreados.</li> <li>4. O especialista clica no botão iniciar gravação, vincula o prontuário médico, informa o nome do exercício e seleciona o tipo “Especialista (Demonstração)”.</li> <li>5. O especialista clica no botão salvar e os dados são gravados no banco de dados.</li> </ol>
Sequência alternativa:	<p>Linha 2(1): Se nenhum corpo for reconhecido, exibe uma mensagem de falha de rastreamento.</p> <p>Linha 2(2): Caso aconteça um erro inesperado, o sistema exibe uma mensagem informando erro.</p>

## 4.3.3.4 Gravação de exercício de reabilitação

Tabela 10 – Diagrama de caso de uso de gravação de exercício de reabilitação.

CAMPO	DESCRIÇÃO
Objetivo:	Gravar um novo exercício de reabilitação.
Ator primário:	Especialista.
Ator secundário:	Paciente.
Pré-condição:	O especialista deve estar logado no sistema.
Pós-condição:	Dados do exercício serão inseridos no banco de dados.
Sequência típica de Eventos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O especialista seleciona a opção sessão de reabilitação.</li> <li>2. Sistema carrega a tela de captura de movimentos.</li> <li>3. O especialista seleciona o tipo de visualização e os membros que serão rastreados.</li> <li>4. O especialista clica na opção “Selecionar exercício” e carrega o exercício guia.</li> <li>5. O especialista clica no botão iniciar gravação, vincula o prontuário médico, informa o nome do exercício e seleciona o tipo “Paciente (Reabilitação)”.</li> <li>6. O especialista clica no botão salvar e os dados são gravados no banco de dados.</li> </ol>
Sequência alternativa:	<p>Linha 2(1): Se nenhum corpo for reconhecido, exibe uma mensagem de falha de rastreamento.</p> <p>Linha 2(2): Se não houver conexão com a internet, exibe uma mensagem de falha de conexão.</p> <p>Linha 2(3): Caso aconteça um erro inesperado, o sistema exibe uma mensagem informando erro.</p>

#### 4.3.3.5 Exibição de exercício via telemonitoramento

Tabela 11 – Diagrama de caso de uso para exibição de exercício via telemonitoramento.

CAMPO	DESCRIÇÃO
Objetivo:	Liberar acesso ao telemonitoramento.
Ator primário:	Paciente.
Ator secundário:	Especialista.
Pré-condição:	O paciente deve estar logado no sistema.
Pós-condição:	O especialista visualizará a tela do paciente.
Sequência típica de Eventos:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O paciente seleciona a opção sessão de reabilitação.</li> <li>2. Sistema carrega a tela de captura de movimentos.</li> <li>3. O paciente seleciona o tipo de visualização e os membros que serão rastreados.</li> <li>4. O paciente clica na opção “Telemonitoramento” e envia o link de acesso ao especialista.</li> </ol>
Sequência alternativa:	<p>Linha 2(1): Se nenhum corpo for reconhecido, exibe uma mensagem de falha de rastreamento.</p> <p>Linha 2(2): Se não houver conexão com a internet, exibe uma mensagem de falha de conexão.</p> <p>Linha 2(3): Caso aconteça um erro inesperado, o sistema exibe uma mensagem informando erro.</p>

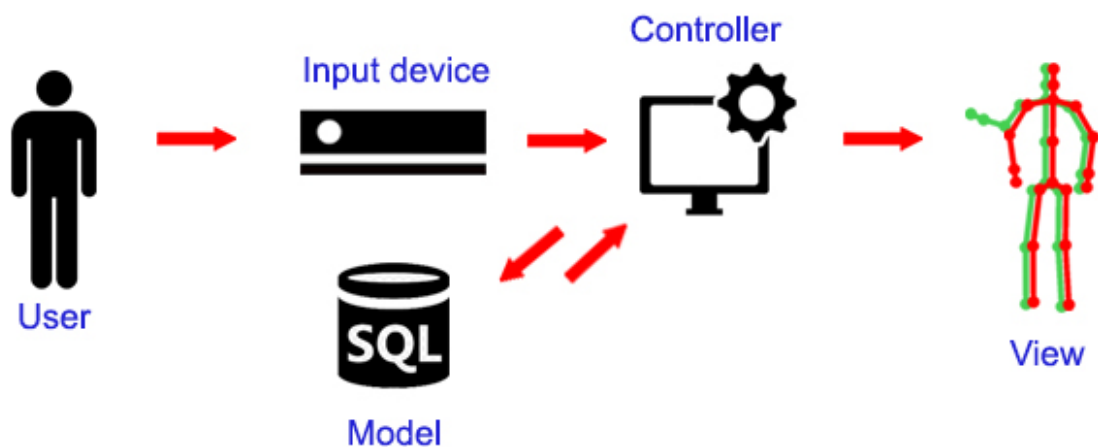
#### 4.3.4 Captura de Movimentos

A visão geral de funcionamento da ferramenta de captura de movimentos do sistema KinesiOS é apresentado na Figura 30. O usuário, que está posicionado a uma distância horizontal entre 1.8m e 2.5m do dispositivo de entrada, realiza os exercícios, o dispositivo de entrada, que fica posicionado entre 0.6m a 1.2m de altura da superfície, rastreia as articulações do usuário e envia as coordenadas para o sistema.

Este projeto utiliza a estrutura MVC (Model, View e Controller), que é um padrão

de arquitetura de software, usado para o desenvolvimento de interfaces de usuário, que separa a lógica do programa em três camadas interconectadas. Sendo assim, as coordenadas são recebidas primeiramente no Controller, onde essas informações são processadas e os ângulos entre os segmentos são calculados. Esses dados são enviados para o Model, que salva as coordenadas e seus respectivos ângulos em uma base de dados, quando necessário, o Model recupera as informações da base de dados e as envia para o Controller novamente, atualizando as coordenadas e gerando um feedback visual em tempo real ao usuário.

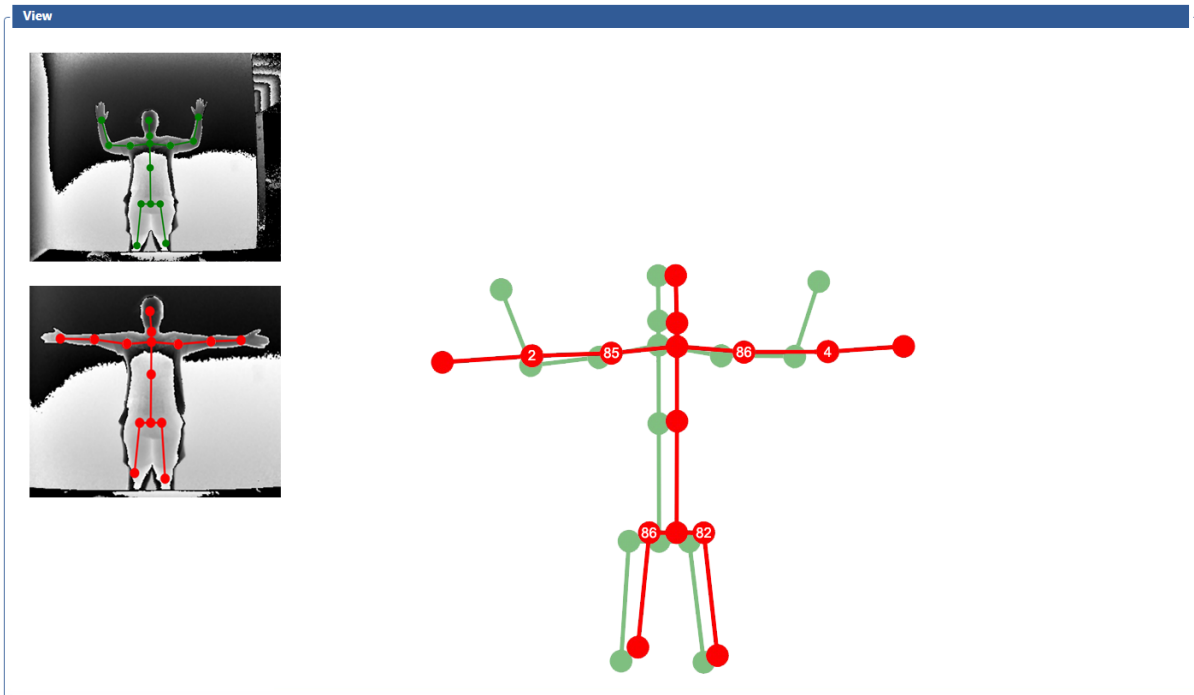
Figura 30 – Visão geral de funcionamento do sistema KinesiOS.



Fonte — Produzido pelo autor.

A View da aplicação consiste na reprodução dos dados gerados para os esqueletos virtuais, sendo um esqueleto virtual na cor verde, que utiliza as coordenadas gravadas pelo especialista e que atua como um guia de referência do exercício a ser executado pelo paciente. E um esqueleto virtual exibido em cor vermelha, que ilustra os movimentos do paciente que estão sendo realizados em tempo real, durante os exercícios da reabilitação. A Figura 31 exemplifica a View da aplicação, onde estão sendo exibidos os esqueletos virtuais gerados pelo sistema.

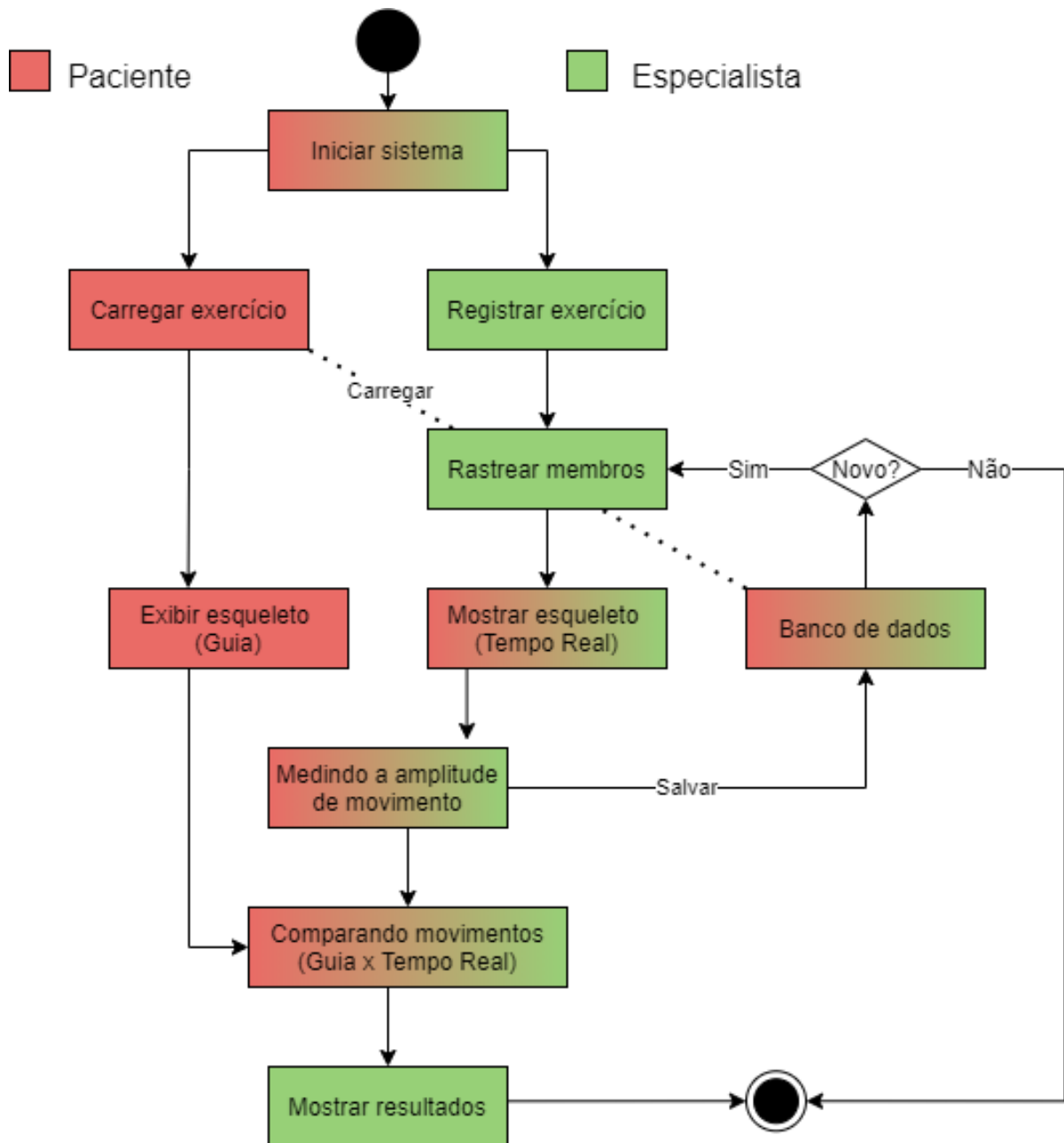
Figura 31 – Tela de captura de movimento do sistema KinesiOS. O movimento de referência é exibido em um esqueleto verde, enquanto o esqueleto em vermelho representa o movimento realizado em tempo real pelo usuário.



Fonte — Produzido pelo autor.

O sistema é classificado em dois módulos principais, conforme destaca a Figura 32, o módulo do especialista e o módulo do paciente. O módulo do especialista é utilizado pelo profissional da saúde para seleção de membros, gravação dos exercícios e análise dos dados que foram capturados durante as sessões de reabilitação. O módulo do paciente é similar ao módulo do especialista, a diferença é que o profissional tem a opção de exibir o esqueleto virtual gravado anteriormente junto ao esqueleto virtual que é gerado em tempo real, servindo de guia e auxiliando o paciente na execução correta do movimento, além disso, o módulo do paciente permite realizar atividades de desenho virtual e navegação com o Google Street View, conforme destacado na Sessão 4.3.7 deste trabalho.

Figura 32 – Fluxograma de uso do sistema KinesiOS.



Fonte — Produzido pelo autor.

O Kinect v2 gera um fluxo de dados do esqueleto a 30 quadros por segundo, onde cada quadro consiste em 25 listas de dados que são utilizados para identificar as articulações em um ponto de referência do corpo 3D. Cada articulação é representada por uma lista de coordenadas X, Y e Z no espaço de coordenadas da câmera, onde X representa a distância horizontal, Y a distância vertical e Z profundidade da articulação em relação a câmera.

Dessa forma, para realizar a captura de movimentos, primeiramente é verificado se o sensor está conectado a um servidor e se existe algum corpo posicionado na frente do

dispositivo. Utiliza-se o código destacado na Figura 33 para isso.

Figura 33 – Programação para conexão e verificação de usuário no campo de visão.

---

```
// Verificando se o dispositivo está conectado
KinectSensor _kinectSensor;

_kinectSensor = KinectSensor.Default();

if (_kinectSensor == null) return;
_kinectSensor.Open();

// Iniciando o player
PlayersController _playersController;
_playersController = new PlayersController();
_playersController.Start();
```

---

Fonte - Produzido pelo Autor.

Logo após observa-se o tipo de visualização selecionado na guia Câmera e Gravação e passa-se o parâmetro para o objeto MultiSourceFrameReader do Kinect SDK 2.0, que é responsável por alterar a visualização entre os modos Profundidade ou Sem Vídeo, no exemplo exibido na Figura 34, a visualização é definida para o modo de Profundidade.

Figura 34 – Definindo visualização para o modo profundidade.

---

```
MultiSourceFrameReader _frame;
_frame = _kinectSensor.OpenMultiSourceFrameReader(FrameSourceTypes.Depth);
```

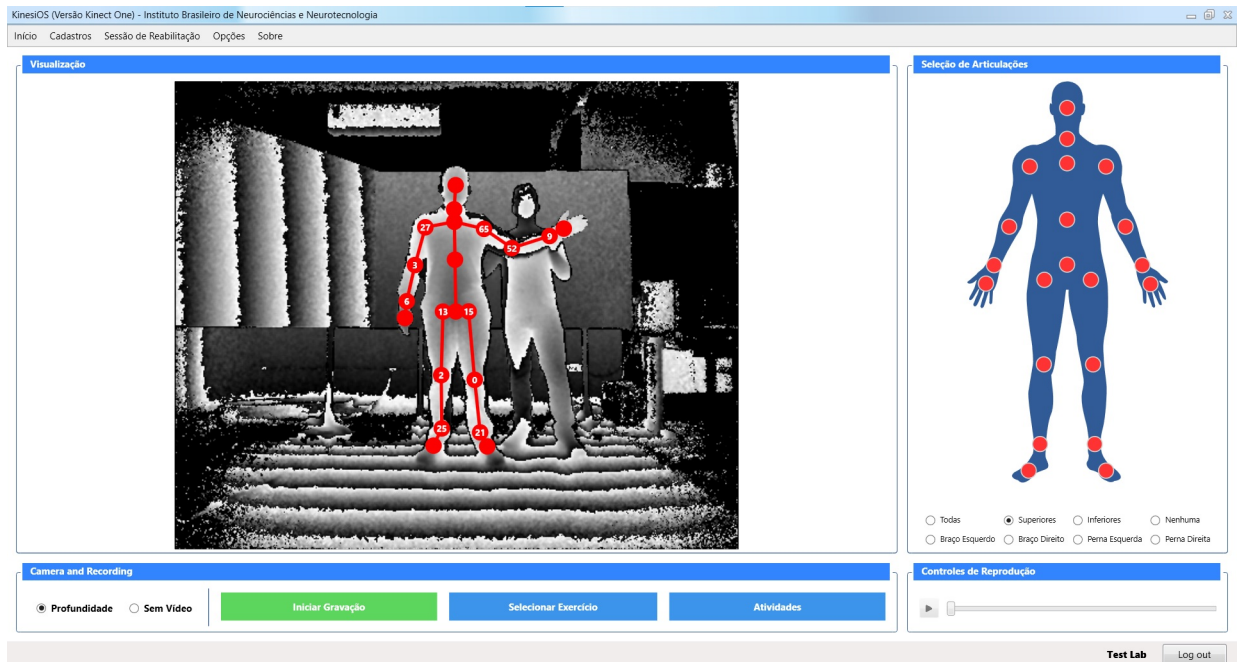
---

Fonte - Produzido pelo Autor.

A partir do momento que a conexão com o dispositivo é aberta, o Kinect v2 passa a obter os dados de todas as articulações visíveis em seu campo de visão. Como um dos objetivos do projeto é possibilitar ao especialista selecionar membros de forma específica, os membros do esqueleto virtual são desenhados de forma individual, conforme os membros selecionados na guia Seleção de Articulações, destacados em vermelho na Figura 35. É importante ressaltar, que quando mais de um corpo é detectado em cena, o sistema fixa a

captura dos movimentos do corpo mais próximo ao dispositivo, dessa forma, o especialista pode auxiliar o paciente a realizar o exercício e continuar rastreando os movimentos do paciente.

Figura 35 – Seleção de membros do sistema KinesiOS, com duas pessoas em cena, mas com rastreo apenas da pessoa mais próxima do dispositivo.



Fonte - Produzido pelo Autor.

Cada articulação é representada por um objeto do tipo Ellipse que recebe as coordenadas X, Y e Z da lista que representa o membro rastreado. Como essa lista é atualizada constantemente com a posição do membro, o Ellipse sempre estará visível na posição do membro que está configurado para exibição. A Figura 36 exhibe a programação utilizada para desenhar a articulação do Ombro Direito.

Figura 36 – Programação que desenha o Ellipse que representa o Ombro Direito.

```
<Ellipse Name="ellipseOD"
    Fill="Red"
    Width="15"
    Height="15" />
```

Fonte - Produzido pelo Autor.

Após desenhar o Ellipse na tela é necessário ligar o posicionamento do mesmo com as coordenadas obtidas pelo dispositivo. O método utilizado é destacado na Figura 37.

Figura 37 – Programação de posicionamento do Ellipse do Ombro Direito.

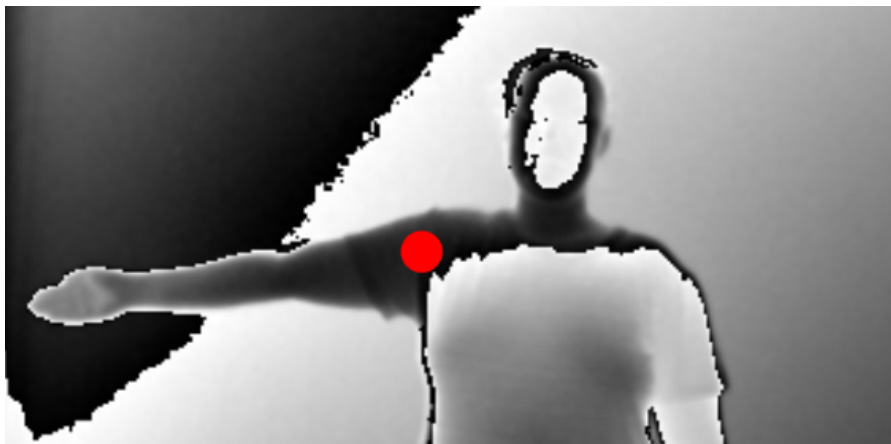
```
// Recupera as coordenadas do Ombro Direito que são fornecidas pelo Kinect
var ombroDireito = body.Joints[_jtombroDireito].Position.ToPoint();

// Verifica se as coordenadas são válidas
if (!float.IsInfinity(ombroDireito.X) && !float.IsInfinity(ombroDireito.Y))
{
    // Seta a posição do Ellipse de acordo com as coordenadas obtidas
    Canvas.SetLeft(ellipseOD, ombroDireito.X - ellipseOD.Width / 2);
    Canvas.SetTop(ellipseOD, ombroDireito.Y - ellipseOD.Height / 2);
}
```

Fonte - Produzido pelo Autor.

Após a execução dos códigos, será exibido na tela da aplicação, um círculo em vermelho, que representa o ombro rastreado, conforme destaca a Figura 38.

Figura 38 – Rastreo do Ombro Direito realizado pelo Kinect v2.



Fonte - Produzido pelo Autor.

Sempre que duas articulações interligadas, por exemplo Ombro Direito e Cotovelo Direito, são selecionadas para exibição, faz-se necessário desenhar a linha que liga os dois membros, para isso, é utilizado um objeto do tipo Line, que tem suas coordenadas X1 - Y1 e X2 e Y2 ligadas aos membros selecionados, conforme apresentado na Figura 39

Figura 39 – Programação que faz a ligação entre os membros.

```
if (_ombroDireito)
{
    // Faz a ligação da linha com o Cotovelo Direito
    ligamento.X2 = cotoveloDireito.X;
    ligamento.Y2 = cotoveloDireito.Y;
}
if (_cotoveloDireito)
{
    // Faz a ligação da linha com o Ombro Direito
    ligamento.X1 = ombroDireito.X;
    ligamento.Y1 = ombroDireito.Y;
}
```

Fonte - Produzido pelo Autor.

Na Figura 40 é apresentado o resultado obtido após a execução do código completo de ligamento entre o Ombro Direito e Cotovelo Direito.

Figura 40 – Ligamento entre Ombro Direito e Cotovelo Direito



Fonte - Produzido pelo Autor.

Quando ocorrer uma ligação completa entre três membros relacionados, por exemplo Ombro Direito, Cotovelo Direito e Pulso direito, é ativado o método para cálculo do ângulo dos membros, que é uma combinação entre duas linhas. O Kinect SDK 2.0 fornece o método DEPTHSPACEPOINT que possibilita o cálculo do ângulo, sendo necessário apenas

fornecer 3 pontos no espaço: um ponto inicial, um ponto intermediário e um ponto final, conforme exemplificado na Figura 41.

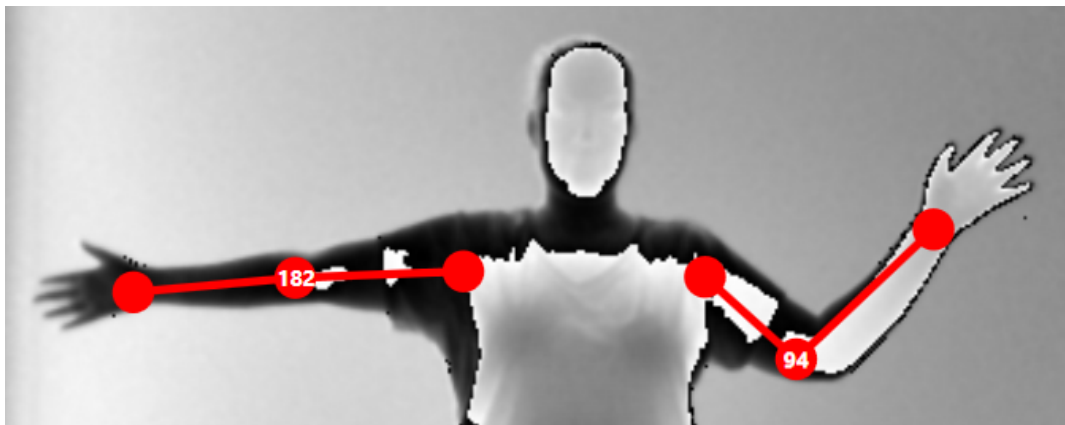
Figura 41 – Programação que faz a ligação entre os membros.

```
if (_ombroDireito && _CotoveloDireito && _PulsoDireito)
{
    // Passa a posição do membro inicial, intermediário e final
    angulo.Update(_body.Joints[_jtPulsoDireito],
                 _body.Joints[_jtCotoveloDireito],
                 _body.Joints[_OmbroDireito], 50);
    label.Text = ((int)angulo.Angle).ToString();
}
```

Fonte - Produzido pelo Autor.

Por último, os ângulos calculados são apresentados na tela em tempo real, tendo seus valores alterados de acordo com os movimentos realizados pelo usuário, conforme exemplificado na Figura 42

Figura 42 – Exibição dos cálculos dos ângulos.



Fonte - Produzido pelo Autor.

#### 4.3.5 Cálculo da amplitude de movimento

A amplitude de movimento (também conhecida como Range of Motion ou ROM) é um termo usado para definir o grau de alongamento ou extensão que uma articulação consegue atingir em um ou mais planos de movimento (dependendo do tipo de articulação a ser estudada). O método tradicional utilizado para avaliar a amplitude de um movimento

é denominado goniometria, e normalmente é aplicado por meio de um goniômetro, uma espécie de régua com dois braços unidos centralmente por um eixo, que permite o movimento do mesmo. No centro do dispositivo há uma inscrição em graus e conforme as extremidades da articulação se movem, marcações paralelas às inscrições indicam uma amplitude de movimento. Para o cálculo dessa amplitude de movimento, o sistema KinesiOS sempre considera as três articulações do corpo monitoradas pelo Kinect v2. Por exemplo, para calcular a amplitude de movimento do cotovelo, o parâmetro utilizado é um vetor com a posição do cotovelo; da articulação distal a ela, que é o punho; e a articulação proximal a ela, que é o ombro. Após as coordenadas serem fornecidas, a amplitude entre os pontos é calculada, usando a fórmula a seguir:

$$\textit{ShoulderElbow} = \textit{Elbow}(X_E, Y_E, Z_E) - \textit{Shoulder}(X_S, Y_S, Z_S) \quad (4.1)$$

$$\textit{ElbowWrist} = \textit{Wrist}(X_W, Y_W, Z_W) - \textit{Elbow}(X_E, Y_E, Z_E) \quad (4.2)$$

$$\textit{Cos}\theta = (\textit{ShoulderElbow} * \textit{ElbowWrist}) / (|\textit{ShoulderElbow}| * |\textit{ElbowWrist}|) \quad (4.3)$$

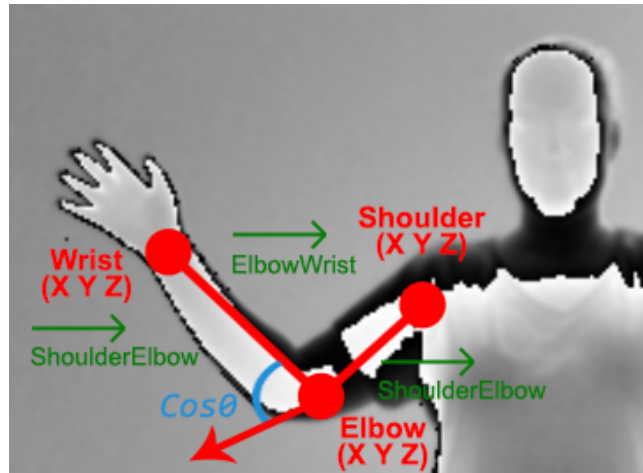
$$\theta = \textit{Cos}^{-1}(\textit{Cos}\theta) \quad (4.4)$$

A Figura 43 ilustra o cálculo da amplitude de movimento do cotovelo direito do usuário.

Para identificar se um exercício foi realizado de forma correta, o especialista recebe um feedback visual em tempo real e em formato de gráfico de linha, para que ele possa analisar os movimentos realizados e orientar o paciente em possíveis correções de postura. A execução do exercício será considerada correta se os resultados dos ângulos dos membros do paciente forem iguais ao do exercício de referência ou se estiverem dentro do percentual de erro tolerável, que é determinado pelo especialista.

Além do feedback visual, caso seja necessário, o especialista poderá exportar as coordenadas e os ângulos calculados de todos os membros rastreados para um arquivo no formato .xls, possibilitando a análise dos dados em ferramentas externas.

Figura 43 – Cálculo da amplitude de movimento do cotovelo direito.



Fonte - Produzido pelo Autor.

#### 4.3.6 Telereabilitação

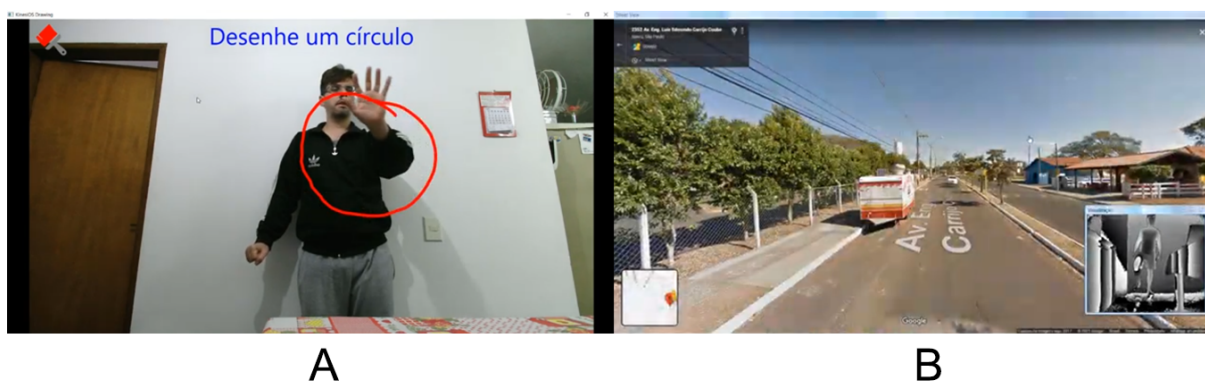
A telereabilitação é a entrega de serviços de reabilitação por meio de redes de telecomunicações ou da internet, permitindo que os especialistas interajam com os pacientes remotamente e em tempo real, avaliando e administrando os exercícios que são executados (KUMAR; COHN, 2013). Dentre as vantagens dessa tecnologia, destaca-se o não deslocamento do paciente até o centro de reabilitação e a possibilidade de executar os exercícios em lugares mais confortáveis para o paciente, o que pode ser um fator de motivação e também uma ferramenta poderosa nestes tempos de isolamento social, devido à pandemia de Covid-19.

O sistema proposto utiliza uma estrutura de banco de dados em nuvem, que recebe os dados gerados pelo paciente em tempo real, possibilitando a transposição desses dados para um esqueleto virtual, que exemplifica o movimento que está sendo realizado pelo paciente. O especialista e o paciente podem se comunicar através de áudio, pois o sistema utiliza uma tecnologia denominada sockets, que cria uma ligação entre as máquinas e permite o envio e recebimento de áudio, necessitando apenas que os computadores tenham microfones e caixas de som instaladas (MAKOFKSKE; DONAHOO; CALVERT, 2005). Dessa forma, o especialista pode orientar e corrigir os movimentos que são realizados pelo paciente, da mesma forma que o paciente pode tirar dúvidas que surgem durante as sessões de reabilitação.

### 4.3.7 Atividades

A fim de motivar os pacientes na execução dos exercícios, o KinesiOS fornece duas opções de interação com o sistema, uma opção de desenho livre e uma opção de navegação com o Google Street View, que é uma tecnologia que fornece imagens panorâmicas e interativas de diversas ruas e locais do mundo. Para a atividade de desenho livre utiliza-se as mãos para realizar desenhos em um painel virtual, onde a mão direita é utilizada para realizar os desenhos e a mão esquerda utilizada para apagar os desenhos (caso necessário, o especialista pode inverter os comandos, ou seja, desenhar com a mão esquerda e apagar os desenhos com a mão direita). Já para o controle do Google Street View, utiliza-se a marcha estacionária (simulação de caminhada sem sair do lugar) para mover a cena para frente e os mãos para mover a cena para os lados. Dessa forma, o especialista pode acompanhar a amplitude dos movimentos realizados pelo paciente durante a interação com essas ferramentas. A Figura 44 destaca as atividades em execução.

Figura 44 – A - Painel de desenho livre. B - Navegação pelo Google Street View.



Fonte - Produzido pelo Autor.

## 4.4 Segurança da informação

Para garantir a segurança das informações, foi desenvolvido um sistema de verificação de usuário e senha, onde os usuários possuem identificadores únicos e as senhas são criptografadas, utilizando-se a tecnologia MD5.

A criptografia é uma técnica de segurança, que consiste em "embaralhar" ou "transformar" as informações, com o objetivo de deixá-las sem sentido a certos usuários, afim de proteger as mesmas do acesso indevido.

Segundo Rivest (2014) da empresa RSA Data Security, Inc. e um dos criadores do MD5, o algoritmo tem como função, transformar uma mensagem de entrada arbitrária em uma "Message Digest", que é uma mensagem de saída de 128 bits. Acredita-se que é computacionalmente inviável a produção de duas mensagens tendo o a mesma saída. Segue abaixo um exemplo de uma mensagem de entrada e uma Message Digest:

**Entrada:** senhadeteste

**Message Digest:** 97d3b7b38e306f4a3ac787333a02e5df

Estima-se que para se quebrar uma mensagem com criptografia de 128 bits com "força bruta", que é na base da tentativa e erro, levaria cerca de 100.000 anos utilizando-se um computador comum. Isso deve-se a quantidade de combinações que esses números de bits possibilitam, por exemplo, uma mensagem de 2 bits terá 4 combinações possíveis, uma mensagem de 4 bits, terá 16 combinações possíveis, já uma chave de apenas 8 bits terá 65.356 combinações possíveis e, em uma chave de 32 bits existem mais de 4 bilhões de combinações possíveis e assim por diante. (CONKLIN; WHITE, 2021).

Além de criptografar os dados, o sistema possui um controle de alterações que registra as ações executadas pelos usuários, como por exemplo, edições ou exclusões de informações que acontecem na base de dados, garantindo assim que o administrador do sistema, saiba quais foram e quando foram feitas as ações e qual usuário as realizou.

O KinesiOS também utiliza uma técnica de backup, que duplica os dados gerados e os salva em um lugar diferente do original, afim de garantir a recuperação das informações em caso de perda ou corrompimento do arquivo original. O backup é executado de forma automática através de um "serviço" do sistema. Os serviços podem ser iniciados junto ao sistema operacional, podem ser pausados e reiniciados, mas não apresentam interface do usuário, ideal para a utilização de aplicações com execuções automáticas, pois elimina a necessidade de uma execução manual do usuário.

## 5 Resultados

Para validar o sistema, foram realizados testes preliminares com seis participantes, com idade entre 25 e 57 anos, sendo eles homens de peso e altura diferentes e sem nenhuma limitação para realizar os movimentos escolhidos.

Os testes foram realizados em um notebook com processador Intel Core i7 8550U de 1.8ghz, 8GB de memória RAM, placa de vídeo GeForce MX150 com 2GB dedicados GDDR5 e sistema operacional Windows 10 Pro.

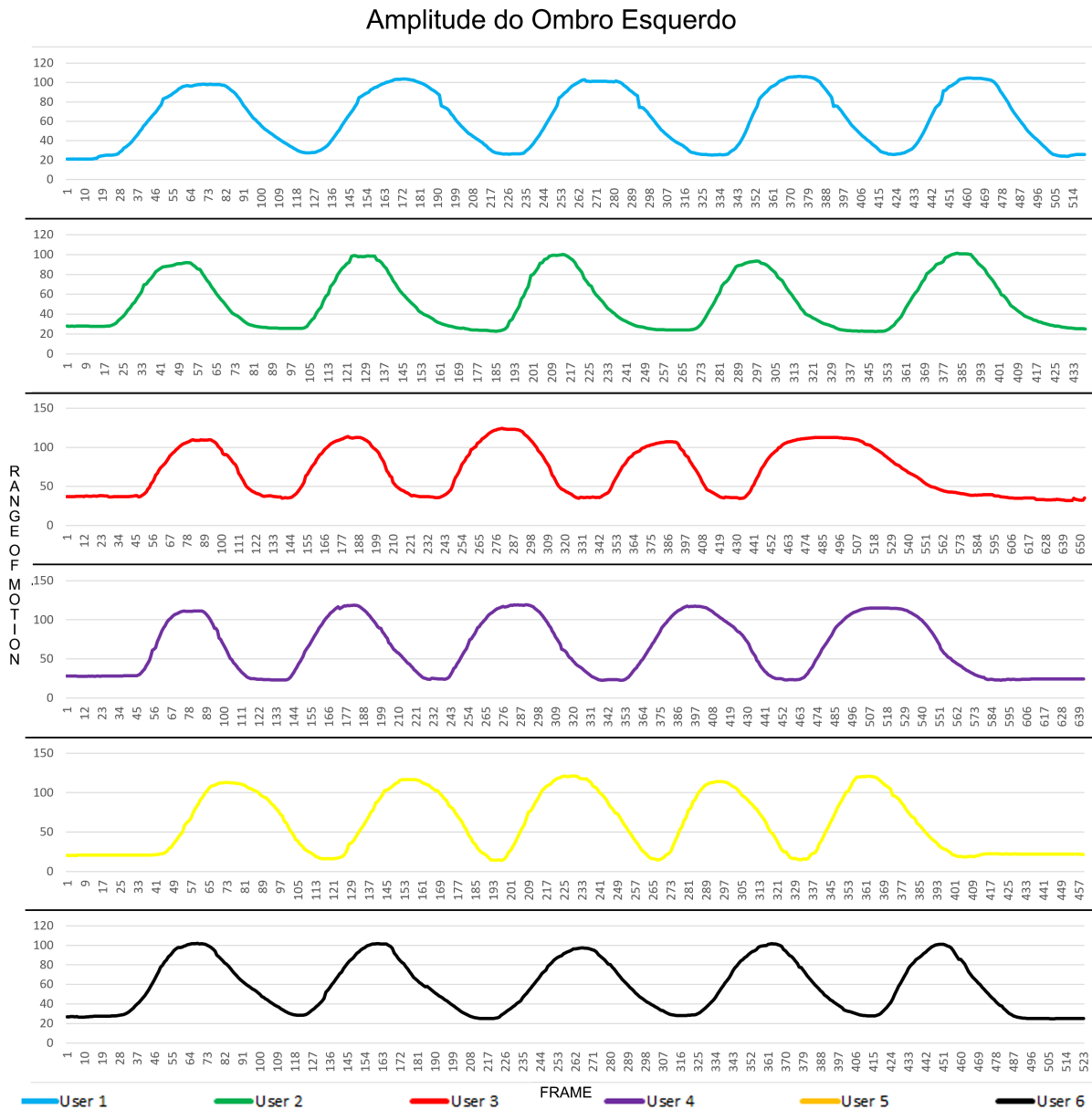
As sessões de testes foram conduzidas em um ambiente controlado: iluminado e sem objetos obstruindo o campo de visão do dispositivo de entrada. O fluxo de teste foi composto de demonstração, treinamento e execução.

- Demonstração: o funcionamento do sistema é apresentado aos usuários, que são instruídos sobre como interagir com o sistema;
- Treinamento: a execução dos exercícios é demonstrada para os usuários; e
- Execução: os usuários realizam novamente o exercício, sem nenhum tipo de ajuda.

A Figura 45 demonstra os resultados obtidos ao se realizar o exercício de abdução do ombro esquerdo ao se realizar desenhos virtuais, no qual o movimento inicia-se com o braço próximo ao corpo e termina com o braço flexionado na altura dos ombros. A amplitude inicial de todos os usuários ficou próxima de 20°, já a amplitude final ficou na faixa de 100°, estando dentro dos parâmetros considerados como corretos de acordo com o manual de goniometria (NORKIN; WHITE, 2016).

Para um segundo teste, foram coletados os dados de amplitude do movimento de um usuário durante a interação com um aplicativo, que permite a montagem das peças de um quebra-cabeças virtual a partir de interação com os membros superiores. O exercício realizado na montagem deste quebra-cabeça necessita de movimentos de abdução e adução horizontal do braço direito, e os dados de amplitude do movimento foram registrados em relação à articulação do ombro.

Figura 45 – Resultados da amplitude de movimentos do ombro esquerdo ao realizar o exercício de flexão.

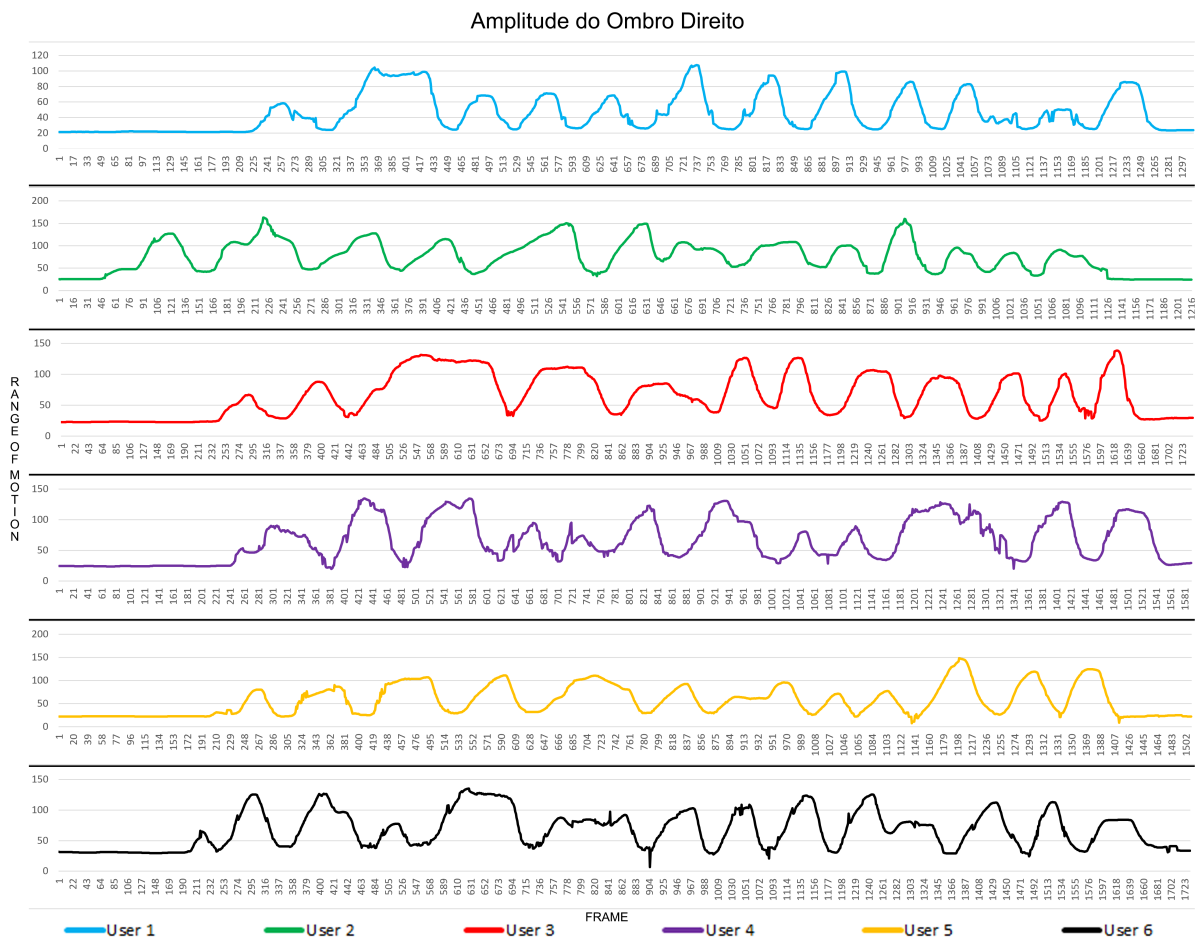


Fonte — Produzido pelo autor.

No gráfico destacado na Figura 46 é possível identificar o momento em que cada peça do quebra-cabeça é montada. As peças estavam separadas em doze partes, inicialmente posicionadas no lado direito da interface do aplicativo, de modo que eram controladas a partir de uma mão virtual (que, após o rastreamento gestual, respondia aos movimentos da mão real do usuário). Assim, quando o usuário realizava o movimento de abdução horizontal com o braço direito (para pegar uma das peças), a amplitude do movimento era maior, e quando o usuário realizava o movimento de adução horizontal (para encaixar a

peça na matriz), a amplitude do movimento era menor (próximo de  $20^\circ$ ), pois o ponto de referência para o início do cálculo de amplitude do movimento está posicionado na linha mediana do corpo do usuário (NORKIN; WHITE, 2016).

Figura 46 – Resultados da amplitude de movimentos do ombro direito ao realizar a montagem de um quebra cabeça.



Fonte — Produzido pelo autor.

Dentre as limitações do sistema, pode-se destacar a imprecisão na captura das articulações das mãos e pés, que quando estão muito longe do dispositivo de entrada, não são rastreados corretamente e a oclusão de articulações, que faz com os dados gerados fiquem divergentes sempre que um membro rastreado é obstruído por outro membro ou algum objeto da cena.

Além disso, caso o usuário esteja com a barba grande, na altura do pescoço e esteja utilizando uma camisa de cor semelhante a barba, o dispositivo pode gerar divergências no reconhecimento da articulação do pescoço, sendo necessário utilizar uma camisa de cor diferente a da barba.



## 6 Conclusão

Aplicações de captura de movimentos baseadas em dispositivos com sensores infravermelhos, sem marcadores, têm sido muito utilizadas no apoio à reabilitação de pacientes que sofreram AVC. Contudo o processo de reconhecimento ainda é bastante complexo, principalmente quando todos os quadros de um exercício complexo necessitam de análise, pois é necessário alto custo de processamento para gerar resultados em tempo real.

Neste trabalho, visamos auxiliar o paciente a corrigir a própria postura, com o feedback visual em tempo real por amplitude de movimento da articulação, que demonstrou ser uma alternativa interessante, simples e útil para suporte à correção da postura durante a realização do exercício. Testes iniciais com usuários saudáveis foram conduzidos com sucesso, mostrando que a aplicação é efetiva, simples de usar, flexível, pois ajusta-se automaticamente a estruturas anatômicas de tamanhos variados e de baixo custo, o que torna o projeto viável.

As próximas etapas do projeto incluirão testes com movimentos mais complexos e com outros tipos de membros, visando avaliar se os resultados apresentados continuarão consistentes e se possibilitarão medir a evolução dos pacientes. Também será avaliado o comportamento do sistema em diversos ambientes, com diferentes iluminações, objetos em cena e movimentos com oclusão de membros, a fim de mensurar as limitações da aplicação. Adicionalmente, outras formas de feedback em tempo real, como velocidade do movimento e tempo de execução do exercício, poderão ser implementadas para fornecer mais informações ao especialista, apoiando-o nas tomadas de decisões.

Por último, será explorado a viabilidade do uso da realidade virtual na aplicação, trazendo objetos e ambientes virtuais para as sessões, de forma que o uso do sistema se torne mais empolgante para os pacientes.



# Referências

ACM DIGITAL LIBRARY. *About the ACM Digital Library*. 2019. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://dlnext.acm.org/about>>. Citado na página 33.

ADAMS, R. J. et al. Assessing upper extremity motor function in practice of virtual activities of daily living. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 23, n. 2, p. 287–296, 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/7333/7055201/06909063.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 39, 47 e 48.

BAI, J.; SONG, A. Development of a novel home based multi-scene upper limb rehabilitation training and evaluation system for post-stroke patients. *IEEE Access*, v. 7, p. 9667–9677, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/6287639/8600701/08606913.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 39, 49 e 55.

BOLAND, A.; CHERRY, G.; DICKSON, R. *Doing a systematic review: A student's guide*. 1. ed. Liverpool: Sage Publications Ltd., 2013. 240 p. ISBN 978-1446269688. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

BORTONE, I. et al. Wearable haptics and immersive virtual reality rehabilitation training in children with neuromotor impairments. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 26, n. 7, p. 1469–1478, 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8384290/>>. Citado na página 39.

BRADSHAW, S.; BRAZIL, E.; CHODOROW, K. *MongoDB: The Definitive Guide: Powerful and Scalable Data Storage*. 3rd edn. [S.l.]: O'Reilly Media, 2019. 33–34 p. ISBN 9788372838148. Citado na página 62.

BRUNNER, I. et al. Virtual reality training for upper extremity in subacute stroke (virtues): Study protocol for a randomized controlled multicenter trial. *BMC Neurology*, v. 14, n. 1, 2014. Disponível em: <<https://bmcneurol.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12883-014-0186-z>>. Citado na página 39.

CAPES. *O Portal de Periódicos da Capes - Missão e Objetivos*. 2020. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/capes/pt-br>>. Citado na página 34.

CARTER, P. A. *Pro SQL Server 2019 Administration: A Guide for the Modern DBA*, 2nd ed. London: Apress, 2019. ISBN 978-1484250884. Citado na página 62.

CHEN, D.; LIU, H.; REN, Z. Application of wearable device htc vive in upper limb rehabilitation training. In: *Proceedings of 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference, IMCEC 2018*. [s.n.], 2018. p. 1460–1464. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8469540/>>. Citado na página 39.

CHEN, P. et al. Development of an upper limb rehabilitation system using inertial movement units and kinect device. In: *2016 International Conference on Advanced*

- Materials for Science and Engineering (ICAMSE)*. [s.n.], 2016. p. 275–278. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7840309/>>. Citado na página 39.
- CLARIVATE ANALYTICS. *EndNote X9 Support - Find duplicates*. 2018. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <[https://support.clarivate.com/Endnote/s/article/EndNote-X3-and-later-Steps-to-remove-duplicates-from-your-EndNote-library?language=en\\_US](https://support.clarivate.com/Endnote/s/article/EndNote-X3-and-later-Steps-to-remove-duplicates-from-your-EndNote-library?language=en_US)>. Citado na página 37.
- CLARIVATE ANALYTICS. *EndNote X9 Support - Finding full text articles*. 2018. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://support.clarivate.com/Endnote/s/article/EndNote-Optimizing-Find-Full-Text-results-with-X2-and-later>>. Citado na página 37.
- CONKLIN, A.; WHITE, G. *CompTIA Security+ All-in-One Exam Guide, Sixth Edition*. 6. ed. Texas: McGraw-Hill Education, 2021. 784 p. ISBN 978-1260464009. Citado na página 84.
- COVARRUBIAS, M. et al. Conference Paper, *VR system for rehabilitation based on hand gestural and olfactory interaction*. 2015. 117-120 p. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2821592.2821619>>. Citado na página 39.
- CROCETTA, T. B. et al. Virtual reality software package for implementing motor learning and rehabilitation experiments. *Virtual Reality*, v. 22, n. 3, p. 199–209, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10055-017-0323-2>>. Citado na página 40.
- DAVID, L.; BOUYER, G.; OTMANE, S. Conference Paper, *Towards an upper limb self-rehabilitation assistance system after stroke*. 2017. 1-4 p. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3110292.3110313>>. Citado 3 vezes nas páginas 40, 51 e 52.
- DIAS, D. R. C. et al. estreet: Virtual reality and wearable devices applied to rehabilitation. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. [s.n.], 2018. v. 10963 LNCS, p. 775–789. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-95171-3\\_60](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-95171-3_60)>. Citado na página 40.
- DUARTE, N.; POSTOLACHE, O.; SCHARCANSKI, J. Ksgphysio-kinect serious game for physiotherapy. In: *EPE 2014 - Proceedings of the 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*. [s.n.], 2014. p. 606–611. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6969981/>>. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 55.
- EBERT, D.; METSIS, V.; MAKEDON, F. Conference Paper, *Development and evaluation of a unity-based, kinect-controlled avatar for physical rehabilitation*. 2015. 1-2 p. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2769493.2769556>>. Citado na página 40.
- ELOR, A.; TEODORESCU, M.; KURNIAWAN, S. Project star catcher: A novel immersive virtual reality experience for upper limb rehabilitation. *ACM Trans. Access. Comput.*, v. 11, n. 4, p. 1–25, 2018. ISSN 1936-7228. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3292527.3265755>>. Citado na página 40.
- ELSEVIER. *What is Scopus?* 2019. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/solutions/scopus>>. Citado na página 34.

- FAZELI, H. R.; VENKATESH, S. K.; PENG, Q. A virtual environment for hand motion analysis. In: *Procedia CIRP*. [s.n.], 2018. v. 78, p. 127–132. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118312356?via%3Dihub>>. Citado na página 40.
- FERREIRA, C. et al. Gamification of stroke rehabilitation exercises using a smartphone. In: *Proceedings - REHAB 2014*. [s.n.], 2014. p. 282–285. Disponível em: <<http://eudl.eu/pdf/10.4108/icst.pervasivehealth.2014.255326>>. Citado na página 40.
- FUNABASHI, A. M. M. et al. Agar: A vr serious game to support the recovery of post-stroke patients. In: *Proceedings - 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality, SVR 2017*. [s.n.], 2017. v. 2017-November, p. 279–288. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8114449/>>. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 55.
- GARZOTTO, F. et al. Exploiting the integration of wearable virtual reality and bio-sensors for persons with neurodevelopmental disorders. In: *2018 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*. [s.n.], 2018. p. 149–152. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8613650/>>. Citado na página 41.
- GOMIDE, J. V. B. et al. Captura de movimento e animação de personagens em jogos. In: *VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–15. Citado na página 22.
- GONZALEZ-FRANCO, M.; GILROY, S.; MOORE, J. O. Empowering patients to perform physical therapy at home. In: *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014*. [s.n.], 2014. p. 6308–6311. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6945071/>>. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 49.
- GOOGLE. *Manufacture CardBoard*. 2014. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://vr.google.com/cardboard/manufacturers>>. Citado na página 53.
- GORŠIČ, M.; CIKAJLO, I.; NOVAK, D. Competitive and cooperative arm rehabilitation games played by a patient and unimpaired person: effects on motivation and exercise intensity. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 14, n. 1, p. 1–18, 2017. Disponível em: <<https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12984-017-0231-4>>. Citado na página 41.
- HAMZEHEINEJAD, N. et al. Immersive robot-assisted virtual reality therapy for neurologically-caused gait impairments. In: *25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings*. [s.n.], 2018. p. 565–566. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8446125/>>. Citado na página 41.
- HIDALGO, J. et al. Serious game to improve fine motor skills using leap motion. In: *2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI)*. [s.n.], 2018. p. 1–5. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8584370/>>. Citado na página 41.
- HODA, M. et al. Cloud-based rehabilitation exergames system. In: *2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops, ICMEW 2014*. [s.n.], 2014. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6890660/>>. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 55.

HUBER, M. E. et al. Validity and reliability of kinect for measuring shoulder joint angles. In: *Proceedings of the IEEE Annual Northeast Bioengineering Conference, NEBEC*. [s.n.], 2014. v. 2014-December. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6972818/>>. Citado na página 41.

IEEE. *About IEEE Xplore*. 2019. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/Xplorehelp/#/overview-of-ieee-xplore/about-ieee-xplore>>. Citado na página 34.

Institute Max Planck for Intelligent Systems. *Computer Vision Research at the Max Planck Institute for Intelligent Systems*. 2019. Data de acesso: 30 de Novembro de 2019. Disponível em: <<https://ps.is.tuebingen.mpg.de/pages/inertial-motion-capture>>. Citado na página 28.

IPPOLITO, F. D.; MASSARO, M. A multi-sensor multi-rate algorithm for motor rehabilitation with augmented reality devices. In: *2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*. [s.n.], 2016. p. 759–765. ISBN 2155-1782. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7523718/>>. Citado na página 41.

KATO, N. et al. Trial operation of a cloud service-based three-dimensional virtual reality tele-rehabilitation system for stroke patients. In: *ICCSE 2016 - 11th International Conference on Computer Science and Education*. [s.n.], 2016. p. 285–290. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7581595/>>. Citado na página 41.

KIRK, A. G.; O'BRIEN, J. F.; FORSYTH, D. A. *Skeletal Parameter Estimation from Optical Motion Capture Data*. [S.l.]: ACM SIGGRAPH, 2004. 782–788 p. ISBN 9788372838148. Citado na página 24.

KONTADAKIS, G. et al. Gamified 3d orthopaedic rehabilitation using low cost and portable inertial sensors. In: *2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications, VS-Games 2017 - Proceedings*. [s.n.], 2017. p. 165–168. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8056590/>>. Citado na página 41.

KRONBAUER, A.; BARRETO, S.; NETO, J. Conference Paper, *Video Game to Help in Movement Rehabilitation*. 2015. 165-172 p. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2820426.2823510>>. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 55.

KUMAR, S.; COHN, E. R. *Telerehabilitation (Health Informatics)*. New York, United States of America: Springer, 2013. 1-11 p. Citado na página 82.

LANGHAMMER, B. *Physiotherapy after stroke - A lifetime endeavour: why and how*. 1. ed. Oslo: VDM Verlag, 2017. 88 p. ISBN 978-3639071337. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

LEAP MOTION. *Leap Motion's software and hardware platform brings your bare hands directly into virtual and augmented reality*. 2019. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://www.leapmotion.com>>. Citado na página 51.

LICHTER, M. D. et al. Virtual activities of daily living for recovery of upper extremity motor function. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 26, n. 1, p. 252–260, 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/7333/8249505/08101490.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 51.

- LIN, B. et al. An interactive upper-limb post-stroke rehabilitation system integrating bci-based attention monitoring and virtual reality feedback. In: *2016 Third International Conference on Computing Measurement Control and Sensor Network (CMCSN)*. [s.n.], 2016. p. 44–47. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8008636/>>. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 47.
- LUGO, L. et al. Conference Paper, *Virtual reality and hand tracking system as a medical tool to evaluate patients with parkinson's*. 2017. 405-408 p. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?doi=3154862.3154924>>. Citado na página 42.
- LUPU, R. G.; UNGUREANU, F.; STAN, A. A virtual reality system for post stroke recovery. In: *2016 20th International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2016 - Joint Conference of SINTES 20, SACCS 16, SIMSIS 20 - Proceedings*. [s.n.], 2016. p. 300–305. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7790682/>>. Citado 3 vezes nas páginas 42, 47 e 48.
- LV, Z. et al. Intuitive evaluation of kinect2 based balance measurement software. In: *ACM International Conference Proceeding Series*. [s.n.], 2015. v. 01-02-October-2015, p. 62–65. Disponível em: <<https://dl.acm.org/citation.cfm?doi=2838944.2838960>>. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 49.
- LYDAKIS, A. et al. A learning-based agent for home neurorehabilitation. In: *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*. [s.n.], 2017. p. 1233–1238. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8009418/>>. Citado na página 42.
- MA, M.; PROFFITT, R.; SKUBIC, M. Validation of a kinect v2 based rehabilitation game. *PLoS ONE*, v. 13, n. 8, 2018. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0202338&type=printable>>. Citado na página 42.
- MAKOFKSKE, D.; DONAHOO, M. J.; CALVERT, K. L. *TCP-IP Sockets in C# - Practical Guide for Programmers*. California, United States of America: Morgan Kaufmann Publishers, 2005. 15-37 p. Citado na página 82.
- MAREY, E. *Animal Mechanism: A Treatise on Terrestrial and Aerial Locomotion*. London: King Co., 1873. Citado na página 21.
- MATOS, N.; SANTOS, A.; VASCONCELOS, A. Conference Paper, *Kinteract: A Multi-sensor Physical Rehabilitation Solution based on Interactive Games*. 2014. 350-353 p. Disponível em: <<http://eudl.eu/pdf/10.4108/icst.pervasivehealth.2014.255325>>. Citado na página 42.
- MELONJS. *TA fresh and lightweight HTML5 game engine*. 2019. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<http://melonjs.org/>>. Citado na página 55.
- METSIS, V.; SMITH, K. S.; GOBERT, D. Integration of virtual reality with an omnidirectional treadmill system for multi-directional balance skills intervention. In: *2017 International Symposium on Wearable Robotics and Rehabilitation (WeRob)*. [s.n.], 2017. p. 1–2. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8383831/>>. Citado na página 42.
- MICROSOFT. *Kinect for Robotics*. 2011. Data de acesso: 18 de Dezembro de 2019. Disponível em: <<https://blogs.msdn.microsoft.com/msroboticsstudio/2011/11/29/kinect-for-robotics/>>. Citado na página 25.

- MICROSOFT. *Kinect para Windows*. 2017. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://developer.microsoft.com/pt-br/windows/kinect>>. Citado 3 vezes nas páginas 51, 62 e 64.
- MICROSOFT. *Guia da linguagem C#*. 2018. Data de acesso: 16 de Novembro de 2019. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/csharp/>>. Citado na página 61.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Brasil e mais onze países assinam documento para prevenção e enfrentamento do AVC*. 2016. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/ministerio-da-saude-e-signatario-da-carta-de-gramado-para-prevencao-e-enfrentamento-do-avcministerio-da-saude-e-signatario-da-carta-de-gramado-para-prevencao-e-enfrentamento-do-avc>>. Citado na página 17.
- MULLER, B.; WOLF, S. *Handbook of Human Motion*. 1. ed. [S.l.]: Springer International Publishing, 2018. 2543 p. ISBN 978-3319308081. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 24.
- MUYBRIDGE, E. *Animal locomotion*. Philadelphia: Lippincott Company, 1878. Citado na página 21.
- NOBREGA, R. D. et al. Virtual reality therapy using the leap motion controller for post-stroke upper limb rehabilitation. In: *Scientia Medica*. [s.n.], 2017. p. 1–7. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/scientiamedica/article/view/25935/15592>>. Citado na página 40.
- NORKIN, C. C.; WHITE, D. J. *Measurement of Joint Motion - A Guide to Goniometry*. Pennsylvania, United States of America: F. A. Davis Company, 2016. 66-91 p. Citado 2 vezes nas páginas 85 e 87.
- OAGAZ, H. et al. Vrinsole: An unobtrusive and immersive mobility training system for stroke rehabilitation. In: *2018 IEEE 15th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*. [s.n.], 2018. p. 5–8. ISBN 2376-8894. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8329645/>>. Citado na página 43.
- O'BRIEN, J. F. et al. Automatic joint parameter estimation from magnetic motion capture data. In: . [S.l.: s.n.], 2000. p. 53–60. Citado na página 26.
- PAOLINI, G. et al. Validation of a method for real time foot position and orientation tracking with microsoft kinect technology for use in virtual reality and treadmill based gait training programs. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 22, n. 5, p. 997–1002, 2014. ISSN 1534-4320. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6626570/>>. Citado na página 43.
- PATEL, J. et al. Virtual reality-augmented rehabilitation in the acute phase post-stroke for individuals with flaccid upper extremities: A feasibility study. In: *International Conference on Virtual Rehabilitation, ICVR*. [s.n.], 2015. p. 215–223. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7358583/>>. Citado na página 43.
- PEDRAZA-HUESO, M. et al. Rehabilitation using kinect-based games and virtual reality. In: *Procedia Computer Science*. [s.n.], 2015. v. 75, p. 161–168. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915036947>>. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 47.

- POSTOLACHE, O. et al. Postural balance analysis using force platform for k-theragame users. In: *2016 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*. [s.n.], 2016. p. 1–6. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7533705/>>. Citado na página 43.
- RIVEST, R. *The MD5 Message-Digest Algorithm*. 2014. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://www.ietf.org/rfc/rfc1321.txt>>. Citado na página 84.
- RODRIGUES, J. et al. *Handbook of Research on Human-Computer Interfaces, Developments, and Applications*. 1. ed. Faro: IGI Global, 2016. 663 p. ISBN 9781522504351. Citado 3 vezes nas páginas 25, 51 e 63.
- ROSENHAHN, B.; KLETTE, R. *Human Motion: Understanding, Modelling, Capture, and Animation (Computational Imaging and Vision)*. 1. ed. [S.l.]: Springer, 2010. 648 p. ISBN 978-9048177004. Citado 4 vezes nas páginas 25, 26, 27 e 28.
- SAIDI, D.; ÅSARD, M. *Motion capture to the people: A high quality, low budget approach to real time motion capture*. [S.l.]: Linköpings Universitet, 2005. Citado na página 27.
- SBDCV. *Acidente Vascular Cerebral*. 2014. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <[http://www.sbdcv.org.br/publica\\_avc.asp](http://www.sbdcv.org.br/publica_avc.asp)>. Citado na página 17.
- SEMBLANTES, P. A. et al. Visual feedback framework for rehabilitation of stroke patients. *Informatics in Medicine Unlocked*, v. 13, p. 41–50, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235291481830114x>>. Citado na página 43.
- SHARPLES, S. et al. Virtual reality induced symptoms and effects (vrise): Comparison of head mounted display (hmd), desktop and projection display systems. v. 28, n. 2, p. 58–69, 2008. Citado na página 54.
- SHI, Y.; PENG, Q. A vr-based user interface for the upper limb rehabilitation. In: *Procedia CIRP*. [s.n.], 2018. v. 78, p. 115–120. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118312174>>. Citado na página 43.
- SOARES, N. M. et al. Virtual reality therapy using the leap motion controller for post-stroke upper limb rehabilitation. *Scientia Medica*, v. 27, n. 2, 2017. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/scientiamedica/article/download/25935/15592>>. Citado na página 43.
- SOUSA, K. A. et al. A gesture control system to support rehabilitation exercises. In: *2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*. [s.n.], 2016. p. 170–177. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7517271/>>. Citado na página 43.
- SPICER, R. et al. Reinvent: A low-cost, virtual reality brain-computer interface for severe stroke upper limb motor recovery. In: *Proceedings - IEEE Virtual Reality*. [s.n.], 2017. p. 385–386. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7892338/>>. Citado na página 44.
- STANDEN, P. J. et al. Patients' use of a home-based virtual reality system to provide rehabilitation of the upper limb following stroke. *Physical therapy*, v. 95, n. 3, p. 350, 2015. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25212521/>>. Citado na página 44.

SUITS, B. *The Grasshopper: Games, Life and Utopia*. 2. ed. Waterloo: Broadview Press, 2005. 179 p. ISBN 978-1551117720. Citado na página 46.

SWEE, S. K. et al. Development of rehabilitation system using virtual reality. In: *Proceeding of 2017 International Conference on Robotics, Automation and Sciences, ICORAS 2017*. [s.n.], 2017. v. 2018-March, p. 1–6. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8308045/>>. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 49.

TAVARES, R. et al. Virtual environment for instrumented glove. In: *Proceedings of 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV 2016*. [s.n.], 2016. p. 311–312. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7444488/>>. Citado na página 44.

TCHIEN, H.; TRANG, D. H.; DUNG, N. V. Kinect-based virtual training system for rehabilitation. In: *2017 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*. [s.n.], 2017. p. 53–56. ISBN 2325-0925. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8030836/>>. Citado na página 44.

TONG, R. *Wearable Technology in Medicine and Health Care*. 1. ed. Glasgow: Academic Press, 2018. 340 p. ISBN 978-0128118108. Citado na página 52.

TORBEY, M. T.; SELIM, M. H. *The Stroke Book*. 2. ed. Cambridge: University Press, 2013. 391 p. ISBN 978-1107634725. Citado na página 17.

TSOUPIKOVA, D. et al. Virtual immersion for post-stroke hand rehabilitation therapy. *Annals of Biomedical Engineering*, v. 43, n. 2, p. 467–477, 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10439-014-1218-y>>. Citado na página 44.

TSUZUKI, Y.; NAGAMUNE, K. Comparison of real and virtual rehabilitation using hand measurement device based on six-axis inertial sensors. In: *2017 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*. [s.n.], 2017. p. 1–4. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8325120/>>. Citado na página 44.

UNESP. *Bases de Dados - CGB Coordenadoria Geral de Bibliotecas*. 2019. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://www2.unesp.br/portal#!/cgb/acervo/bases-de-dados/>>. Citado na página 37.

UNITY TECHNOLOGIES. *Codificação com C# em Unity para iniciantes*. 2019. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/learning-c-sharp-in-unity-for-beginners>>. Citado na página 54.

UNITY TECHNOLOGIES. *The world's leading real-time creation platform*. 2019. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/unity>>. Citado na página 54.

VINCE, J. *Introduction to Virtual Reality*. 1. ed. Boston: Springer, 2004. 188 p. ISBN 978-3790819618. Citado na página 53.

WEBER, W.; WEBER, E. *Mechanik der menschlichen Gewerkezeuge*. Göttingen: Wentworth Press, 1936. Citado na página 21.

WOJCIECHOWSKI, A.; NAPIERALSKI, P. *Computer Game Innovations*. [S.l.: s.n.], 2016. ISBN 9788372838148. Citado na página 23.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global status report on noncommunicable diseases*. 2014. Data de acesso: 02 de Junho de 2021. Disponível em: <[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/148114/9789241564854\\_eng.pdf?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/148114/9789241564854_eng.pdf?sequence=1)>. Citado na página 49.

WORLD STROKE ORGANIZATION. *WSO Annual Report*. 2019. Data de acesso: 25 de Junho de 2021. Disponível em: <<https://www.world-stroke.org/about-wso/annual-reports>>. Citado na página 17.

WOUTERS, P.; OOSTENDORP, H. V. *Instructional Techniques to Facilitate Learning and Motivation of Serious Games*. 1. ed. Utrecht: Springer Press, 2018. 218 p. ISBN 978-3-319-39298-1. Citado na página 47.

ZARE, M. et al. *Virtual Reality Serious Game for Musculoskeletal Disorder Prevention*. Otranto: Springer, 2018. Citado na página 64.