

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**VIVIANNE FLAVIA CARDOSO**

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE REABILITAÇÃO PARA MEMBROS  
SUPERIORES UTILIZANDO AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL  
BASEADO EM KINECT E sEMG**

VITÓRIA

2016

**VIVIANNE FLAVIA CARDOSO**

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE REABILITAÇÃO PARA MEMBROS  
SUPERIORES UTILIZANDO AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL  
BASEADO EM KINECT E sEMG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho

Coorientador: Prof Dr. Anselmo Frizera Neto

VITÓRIA  
2016

**VIVIANNE FLAVIA CARDOSO**

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE REABILITAÇÃO PARA MEMBROS  
SUPERIORES UTILIZANDO AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL  
BASEADO EM KINECT E sEMG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, comorequisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Apresentada em 29 de fevereiro de 2016.

**Prof. Dr. Teodiano Freire Bastos Filho**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Orientador**

**Prof. Dr. Anselmo Frizera Neto**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Coorientador**

**Prof. Dr. Breno Valentim Nogueira**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**

**Prof. Dr. André Ferreira**  
**Universidade Federal do Espírito Santo**

**Prof. Dr. Adriano de Oliveira Andrade**  
**Universidade Federal de Uberlândia**

VITÓRIA  
2016

## Folha de aprovação

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial do Centro de Ciências da Saúde da Universidade  
Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

C268a Cardoso, Vivianne Flavia, 1978 -  
Análise de um sistema de reabilitação para membros superiores utilizando ambiente de realidade virtual baseado em kinect e sEMG / Vivianne Flavia Cardoso – 2016.  
96 f. : il.

Orientador: Teodiano Freire Bastos-Filho.  
Coorientador: Anselmo Frizera Neto.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências da Saúde.

1. Acidente Vascular Cerebral. 2. Reabilitação.  
3. Biofeedback (Psicologia). 4. Eletromiografia. I. Bastos-Filho, Teodiano Freire. II. Frizera Neto, Anselmo. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências da Saúde. IV. Título.

CDU: 61

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por esta oportunidade ímpar, e a vida, por me instigar a ser curiosa o bastante para transformar dificuldades em oportunidades.

Agradeço a minha família, que sempre me apoiou em todos os momentos, e que entendeu as minhas ausências nos finais de semana.

Agradeço em especial ao Antônio, meu marido, que foi um grande incentivador, e a Maria Antônia, por iluminar a minha vida e por sua generosidade cooperando com a mamãe nos seus primeiros seis meses de vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Teodiano pela oportunidade, orientação aprendido, e ao meu coorientador, Prof. Dr. Anselmo, pelos ensinamentos durante este período.

Agradeço aos meus colegas e amigos, Flávia, Mariana, Alexandre, Christiane, John Jairo, Alan, Arlindo e Nicolás que me auxiliaram diretamente na realização deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas e amigos do LAI e afins, que sempre estiveram dispostos a ajudar. Vocês tornaram esta jornada bem mais leve.

Agradeço aos pacientes, estudantes e profissionais da Casa 5 do Hucam pela ajuda no levantamento de requisitos para a realização deste trabalho.

E, por fim, agradeço a todos que, apesar de não terem sido mencionados aqui, fizeram parte da minha história em algum momento e me ajudaram das mais diversas maneiras a me tornar o que eu sou.

## RESUMO

A função motora prejudicada aparece como um dos sintomas mais comuns após o Acidente Vascular Cerebral (AVC). Quando os membros superiores são afetados, a realização de atividades da vida diária fica comprometida. Um desenvolvimento recente no campo da reabilitação são exercícios em ambiente de realidade virtual (RV). Outro método utilizado para a reabilitação dos membros superiores de pacientes pós-AVC é o biofeedback EMG. Através deste biofeedback, os sinais mioelétricos são convertidos em informações visuais e sonoras permitindo ao paciente controlar a atividade muscular. O objetivo deste trabalho é conceber e avaliar uma nova forma de reabilitação por biofeedback usando RV e eletromiografia de superfície (sEMG) para complementar terapia convencional dos membros superiores pacientes pós-AVC. O sistema foi desenvolvido em base nos requisitos levantados na fase de concepção e projeto considerando as limitações funcionais do paciente, habilidades residuais, um ambiente motivador e facilidade de uso. Ele é capaz de fornecer feedback de sEMG, o resultado (através da pontuação no jogo) e o ângulo descrito. Os três jogos desenvolvidos, baseados nos princípios da aprendizagem motora, têm o objetivo de motivar o paciente para realizar movimentos de extensão do cotovelo. Para desenvolver e avaliar o sistema foram realizados experimentos com indivíduos sem comprometimento motor ou neurológico. Analisando o gráfico obtido pelo sinal mioelétrico filtrado e retificado é possível observar uma co-contracção de Bíceps braquial (BB) e Tríceps braquial (TB). Quando analisamos os resultados de feedback, os dados mostram que não foram encontradas diferenças significativas ( $p = 0,9216$ ) quando se joga com o braço dominante (BD) versus não-dominante (BND). No entanto, uma diferença significativa ( $p = 0,0003$ ) é observada quando se compara os dois braços (BD / BND) vs BD e BND BD vs BND ( $p = 0,0018$ ). Os resultados das avaliações por meio da *System Usability Scale* (SUS), na etapa 2 (E2) foi  $\pm 81,4$ ; SD  $\pm 3,4$  e na etapa 3 para os participantes (E3 / P)  $\pm 82,5$ ; SD  $\pm 14,3$  e profissionais de reabilitação (E3 / PR)  $\pm 81,1$ ; DP  $\pm 7,4$ . Na *Goal Attainment Scale* (GAS), E2 foi  $\pm 73,3$ ; SD  $\pm 2,7$ ; E3 / P  $\pm 72,2$ ; SD  $\pm 6,1$  e E3 / PR  $\pm 73,5$ ; SD  $\pm 2,7$ . Os resultados mostram uma boa aceitação do sistema por parte dos participantes e que os objetivos esperados durante o uso do sistema foram alcançados.

Palavras-chave: acidente vascular cerebral, reabilitação, biofeedback, eletromiografia e realidade virtual.

## **ABSTRACT**

Impaired motor function appears as one of the most common symptoms stroke. When the upper limbs are affected, carrying out daily activities is compromised. The recent developments in the field of rehabilitation are exercises in virtual reality environment (RV). Another method used for rehabilitation of the upper limbs of patients after stroke is the EMG biofeedback. Through this biofeedback, the myoelectric signals from the muscle are converted into visual and audio information that allows the patient to control and regulate muscle activity. The objective of this work is to design and evaluate a new form of rehabilitation by biofeedback using RV and surface electromyography (sEMG) to complement conventional therapy upper limb post-stroke patients. The system was developed in accordance with the requirements in the design phase and design, considering the patient's functional limitations, residual skills, a motivating environment and ease of use. He is able to provide feedback of sEMG, the result (through the score in the game) and the angle described. The three games developed, aims to motivate the patient to perform elbow extension movements and meet the principles of motor learning. To develop and evaluate the system experiments were conducted with individuals without motor or neurological involvement. Analyzing the graph obtained by the myoelectric signal filtered and rectified is possible to observe a co-contraction of Biceps Brachial (BB) and Triceps Brachial (TB). When we analyze the results of feedback, the data show that and were not found significant differences ( $p = 0.9216$ ) when playing with the dominant arm (BD) versus non-dominant (BND). However a significant difference is observed when comparing both arms versus BD (BD / BND) and  $p = 0.0003$  vs. BND BD / BND,  $p = 0.0018$ . The results of the evaluations through the System Usability Scale (SUS), in the experiments of stage 2 (E2) was  $\pm 81.4$ ; SD  $\pm 3.4$  and stage 3 for participants (E3 / P)  $\pm 82.5$ ; SD  $\pm 14.3$  and rehabilitation professionals (E3 / PR)  $\pm 81.1$ ; SD  $\pm 7.4$ ). In Goal Attainment Scale (GAS), E2 was  $\pm 73.3$ ; SD  $\pm 2.7$ ; E3 / P  $\pm 72.2$ ; SD  $\pm 6.1$  and E3 / PR  $\pm 73.5$ ; SD  $\pm 2.7$ . The results show good acceptance of the system by the users, and that the objectives expected during the use of the system have been achieved.

Key words: Stroke, rehabilitation, biofeedback, electromyography and virtual reality.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais causas de morte, englobando todas as idades, 2012. Fonte: Adaptado de WHO (2014). .....	19
Figura 2: Folder educativo. Fonte: Instituto de Neurociências... (2014) .....	21
Figura 3: AVC isquêmico. Fonte: Adaptado de HEART... (2015).....	21
Figura4: AVC hemorrágico. Fonte: Adaptado de HEART... (2014b).....	22
Figura 5: Folder educativo – Fonte ABAVC... (2014).....	23
Figura 6: AVC nos membros superiores (De Judge et al., 1982).....	28
Figura 7: Os três planos cardinais de referência (HALL, 2014).....	34
Figura 8: Movimentos de referência nos membros superiores (HAMILL; KNUTZEN, 2009) .....	34
Figura 9: Dimensões do levantamento de requisitos (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998).....	42
Figura 10: Etapas do protocolo.....	44
Figura 11: Diagrama geral do protótipo do sistema desenvolvido.....	51
Figura 12: Amplitude de movimento do cotovelo (Plano sagital).....	52
Figura 13: Tela de início do ambiente virtual.....	52
Figura 14: Tela de configuração do ambiente virtual.....	53
Figura 15: Os três jogos desenvolvidos para o sistema.....	54
Figura 16: Tela do ambiente Virtual interativo desenvolvido para o primeiro jogo....	54
Figura17: Tela Ambiente RV interativo mostrando o segundo jogo com o braço esquerdo.....	55
Figura18: Tela do ambiente RV interativo desenvolvido para o terceiro jogo aqui o usuário joga utilizando os dois braços simultaneamente.....	55
Figura 19: Tela do resumo do desempenho do paciente no ambiente RV.....	56
Figura 20: Feedback gerado pelo sistema para o paciente e para o profissional de reabilitação .....	57

Figura 21: Colocação dos eletrodos para aferição de sEMG sobre o músculo Bíceps braquial e Tríceps braquial (CRISWELL, 2011).....	63
Figura 22: Sinal MES processado. Sinal MES capturado nos músculos BB e TB durante o jogo 1, no E2 realizado pelo P1.....	67
Figura 23: Ativação muscular máxima do BB e TB para cada participante alcançada durante o jogo 1 no E1e E2 respectivamente.....	69
Figura 24: Ativação muscular máxima do BB e TB para cada participante alcançada durante o jogo 1 no E1e E2 respectivamente.....	70
Figura 25: Ativação muscular máxima do BB e TB para cada participante alcançada durante o jogo 3 no E1e E2 .....	71
Figura 26: Gráfico do sinal MES mostrado a co-contração TB\BB durante o jogo1. ....	72
Figura 27: Gráfico do sinal MES mostrado a co-contração TB\BB durante o jogo2.....	72
Figura 28: Gráfico do sinal MES mostrado a co-contração TB\BB durante o jogo3.....	73
Figuras 29: Gráfico do Papel de Probabilidade do conjunto de dados do -BD, BND e BD/BND .....	79
Figura 30: Diferença de desempenho do BD x BND no jogo 2.....	80
Figura 31: Mostra a diferença de desempenho do BD x BDBND e 28b do BND x BD/BND.....	81
Figura 32: Ângulos atingidos durante o jogo 2 quando o voluntário P8 está jogando com o BD.....	82
Figura 33: Ângulos atingidos pelo voluntário P8 durante o jogo 2, com o BND.....	82
Figura 34: Ângulos atingidos pelo voluntário P8 durante o jogo 3, com o BD.....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características de cada indivíduo. M: masculino; F: feminino.....	65
Tabela 2: Quantidade de acertos somando o jogo 1,2 e 3.....	66
Tabela 3: Ativação muscular máxima do BB e TB alcançada durante o jogo 1,2 e BB: Bíceps Braquial; TB: Tríceps Braquial; BD: Braço Direito; BE: Braço Esquerdo; E1: Experimento 1 e E2: Experimento 2 .....	68
Tabela 4: Valores dos métodos de avaliação SUS e GAS .....	74
Tabela 5: Características de cada indivíduo. M: masculino; F: feminino; d: destro; C:canhoto.....	76
Tabela 6: Pontuação alcançada durante o jogo 2 e 3. BD: braço dominante e BND: braço não dominante.....	78
Tabela 7: Análise da distribuição normal - Shapiro-Wilk.....	79
Tabela 8: Ângulos máximos e mínimos atingidos durante os jogos 2 e 3. BD: braço dominante; BND: braço não dominante; Min: mínimo; Max: máximo.....	83
Tabela 9: Resultado dos métodos de avaliação SUS e GAS.....	84
Tabela 11: Resultados dos métodos SUS e GAS. PR: profissionais de reabilitação.....	85

## LISTA DE SIGLAS

AVC	Acidente Vascular cerebral
RV	Realidade Virtual
EMG	Eletromiografia
SUS	<i>System Usability Scale</i> (Escala de Usabilidade de Sistema)
GAS	<i>Goal Attainment Scaling</i> (Escala de Alcance de Objetivos)
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
MMSS	Membros Superiores
ADM	Amplitude de Movimento
ADMP	Amplitude de Movimento Passivo
ADMA	Amplitude de Movimento Ativo
SNC	Sistema Nervoso Central
Hucam	Hospital Universitário Cassiano Antonio de Moraes
MES	Sinal Mioelétrico de Superfície
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SENIAM	<i>Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscle</i> (Eletromiografia de superfície para a avaliação muscular não invasiva)
TB	Tríceps Braquial
BB	Bíceps Braquial
BD	Braço Dominante
BND	Braço não dominante
BD/BND	Braço dominante e braço não dominante

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	15
	<b>1.2 Organização da dissertação.....</b>	<b>17</b>
2	OBJETIVO .....	18
	<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>18</b>
	<b>2.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>18</b>
3	ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL (AVC) .....	19
	<b>3.1 Fisiopatologia .....</b>	<b>20</b>
	<b>3.2 Fatores de risco do AVC.....</b>	<b>23</b>
	<b>3.3 Acometimento motor e AVC .....</b>	<b>25</b>
	<b>3.4 AVC nos Membros Superiores.....</b>	<b>27</b>
	<b>3.5 Reabilitação pós-AVC.....</b>	<b>28</b>
4	ANÁLISE DO MOVIMENTO HUMANO.....	33
	<b>4.1 Eletromiografia de Superfície (sEMG).....</b>	<b>35</b>
5	REALIDADE VIRTUAL .....	37
	<b>5.1 O Kinect e os Jogos Sérios.....</b>	<b>40</b>
6.	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE REQUISITOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	42
	<b>6.1 Metodologia do levantamento e da análise de requisitos.....</b>	<b>44</b>
	<b>6.1.1 Participantes.....</b>	<b>45</b>
	<b>6.1.2 Instrumentos .....</b>	<b>45</b>
	<b>6.1.3. Procedimentos de análise dos dados.....</b>	<b>46</b>
	<b>6.2 Resultados e Discussão do Levantamento e Análise de requisitos.....</b>	<b>47</b>
7.	SISTEMA DE REABILITAÇÃO.....	50
	<b>7.1 O Ambiente de Realidade Virtual.....</b>	<b>51</b>
8	METODOLOGIA DOS EXPERIMENTOS.....	58
	<b>8.1 Participantes da pesquisa.....</b>	<b>58</b>
	<b>8.2 Métodos de avaliação .....</b>	<b>59</b>
	<b>8.3 Processamento dos Sinais Mioelétricos .....</b>	<b>60</b>
	<b>8.4 Análise Estatística .....</b>	<b>61</b>

8.5 Protocolo Experimental .....	62
8.6. Experimentos da Etapa 2.....	64
8.7 Experimentos da etapa 3 .....	75
9 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS EXPERIMENTOS .....	65
9.1 Resultados e discussão da etapa 2 .....	65
9.2 Resultados e discussão da etapa 3.....	76
10 CONCLUSÕES .....	86
10.1 Contribuições .....	87
10.2 Publicações realizadas durante a pesquisa.....	88
10.2.1Trabahos completos publicados em anais de congressos.....	88
10.2.2 Resumos expandidos publicados em anais de congressos.....	89
10.2.3 Resumos em anais de congressos .....	89
10.2.4 Prêmios e títulos.....	90
10.4 Trabalhos Futuros .....	90
REFERÊNCIAS.....	91
APÊNDICES.....	96
APÊNDICE A – Diário de Observação.....	97
APÊNDICE B – Roteiro de Entrevista.....	98
APÊNDICE C – Resultados da Atividade de Observação.....	99
APÊNDICE D – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....	103
ANEXOS .....	105
ANEXO A – Autorização De Pesquisa.....	106
ANEXO B – Aprovação do Comitê de Ética.....	107
ANEXO C - <i>System Usability Scale (SUS)</i> , adaptado. ....	108
ANEXO D - <i>Goal Attainment Scaling (GAS)</i> .....	109
ANEXO E - <i>Goal Attainment Scaling (GAS)</i> .....	110

## 1 Introdução

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) é uma interrupção do fluxo sanguíneo para o encéfalo, causado por isquemia ou hemorragia, que leva a perda repentina da função neurológica.

Pacientes pós-AVC podem apresentar déficits focais, como alterações no nível de consciência e comprometimento das funções sensorial, motora, cognitiva, perceptiva e de linguagem. A função motora prejudicada aparece como um dos sintomas mais comuns após o AVC, além de ser um fator importante para a recuperação funcional (SIN; LEE, 2013).

Quando os membros superiores são acometidos, os pacientes ficam dependentes para realizar atividades simples do dia-a-dia, tais como se alimentar e vestir-se e isso representa um grande impacto para a qualidade de vida destas pessoas. Além disso, apenas 50% dos sobreviventes de AVC estão propensos a recuperar algum uso funcional da extremidade superior afetada. Portanto, métodos eficazes são necessários para a reabilitação do membro superior (CHAN; TONG; CHUNG, 2009).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o AVC é a principal causa de morte e incapacidade em todo o mundo. Neste contexto, no Laboratório de Automação Inteligente (LAI) da UFES está sendo construído um protótipo de sistema que permite a extração de padrões de movimento durante exercícios de reabilitação, o qual é capaz de proporcionar imersão e realimentação (feedback) para o usuário, além de também fornecer informações qualitativas e quantitativas para o profissional de saúde durante as tarefas de reabilitação.

Para o desenvolvimento do protótipo do sistema foi previamente estudado o movimento angular da articulação do cotovelo humano, de forma a identificar os segmentos envolvidos nesse movimento e assim determinar uma forma de melhorar o movimento (NEUMANN, 2013).

Por outro lado também é importante estudar a Eletromiografia de Superfície (Surface Electromyography- sEMG), a qual fornece informações sobre a contribuição dos músculos superficiais durante o movimento, sendo possível viabilizar dados para que o profissional de saúde faça uma avaliação referente ao tempo de ativação muscular durante a realização do exercício (CAMPANINI et al., 2007). Deste estudo pode-se obter um biofeedback, para o paciente fornecido pela eletromiografia, que pode ser feito através de informações visuais ou sonoras.

O sistema desenvolvido é capaz de armazenar vários dados do usuário como: patologia, duração da sessão, frequência e execução dos exercícios, permitindo que o profissional acompanhe todo o processo de reabilitação. Além disso, o sistema implementa os exercícios em um ambiente de jogos em Realidade Virtual (RV), proporcionando, assim, uma nova forma de biofeedback imersiva como proposto por GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013. Desta forma a RV pode proporcionar ao paciente um ambiente variado e agradável que implica em sua motivação para a prática dos movimentos necessários à reabilitação durante longos períodos de tempo, além de atender a componentes específicos de feedback de erro (KRAKAUER, 2006).

No que se refere ao “Estado da Arte” foram encontrados poucos estudos que integrem dispositivos tecnológicos que estimulem os usuários a realizar exercícios de reabilitação, utilizando sensores que possam avaliar a atividade muscular como a Eletromiografia de superfície (sEMG).



## 1.2. Organização da dissertação

No Capítulo 2 são descritos os objetivos deste trabalho. No Capítulo 3 é feita uma revisão bibliográfica sobre AVC, os comprometimentos motores e a reabilitação de pacientes pós-AVC.

No Capítulo 4 são abordados: análise do movimento humano, eletromiografia de superfície (sEMG) e biofeedback de EMG .

No Capítulo 5 é feita a descrição do estado da arte de ambientes virtuais, dos sensores utilizados para o reconhecimento de padrões de movimento humano, assim como das diferentes características de jogos sérios e outras interfaces de reabilitação.

No Capítulo 6 é feito o levantamento e a análise dos requisitos para o desenvolvimento do *software* e do protótipo do sistema de reabilitação desenvolvido.

No Capítulo 7 é descrito o sistema e reabilitação e ambiente de RV desenvolvido.

A metodologia sugerida neste trabalho é descrita no Capítulo 8, incluindo o desenvolvimento do protocolo, o processamento dos sinais, os métodos de avaliação (GAS) e *System Usability Scale* (SUS) e a análise estatística realizada. Com base no Capítulo 8, o Capítulo 9 descreve os resultados e apresenta as discussões com base nos dados obtidos e nos disponíveis na literatura.

Por fim, o Capítulo 10 apresenta as conclusões deste trabalho, assim como as contribuições e publicações resultantes, destacando as possibilidades futuras de prosseguimento desta pesquisa.

## 2 Objetivo

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é conceber e avaliar um protótipo de sistema de reabilitação utilizando RV e sEMG, para complementar a terapia convencional de membros superiores de pacientes pós-AVC.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Levantamento e análise de requisitos para desenvolvimento do *software* e do protótipo do sistema;
- Propor uma metodologia para analisar o protótipo do sistema de reabilitação;
- Definir um protocolo experimental para analisar o ambiente de realidade virtual e do sistema de reabilitação proposto;
- Realizar testes baseados no protocolo definido, com indivíduos sem acometimento motor ou neurológico;
- Comparar o desempenho quando o participante joga com o braço dominante versus braço não dominante; braço dominante versus ambos os braços e braço não dominante versus ambos os braços;
- Avaliar a aplicabilidade, funcionalidade e usabilidade do sistema proposto através dos métodos SUS, GAS.

### 3 Acidente Vascular Cerebral (AVC)

O AVC é uma das causas mais comuns de morte e é a principal causa de incapacidade persistente e adquirida em adultos em todo o mundo (WHO, 2014; SARIKAYA; FERRO; ARNOLD, 2015). Em 2012, o AVC figurava em terceiro lugar na lista das 10 principais causas de morte no mundo (Figura 1) (WHO, 2014).

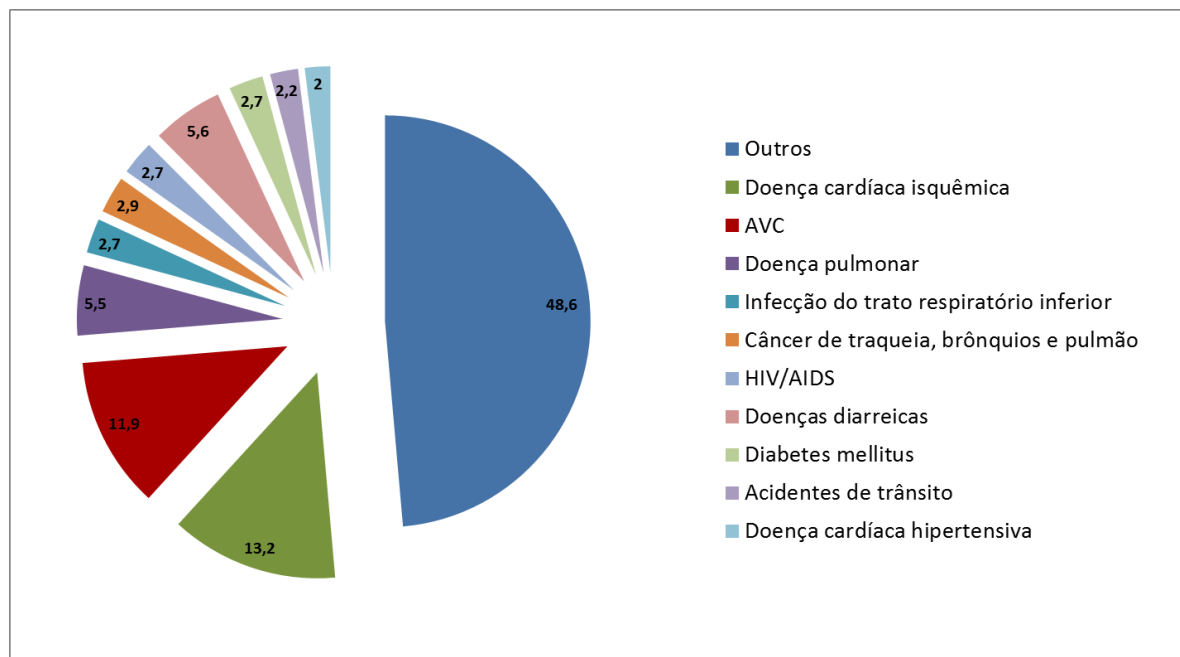


Figura 1: Principais causas de morte, englobando todas as faixas etárias, 2012. Fonte: Adaptado de WHO (2014).

De acordo com o DATASUS, em 2012 a taxa de mortalidade por doenças cerebrovasculares no Brasil foi de 52,4/100.000 habitantes. Neste mesmo ano foram registrados 172.526 casos de hospitalização somente por AVC, gerando um gasto de R\$ 197,9 milhões para o sistema público de saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE; IBGE, 2013).

Somando-se a isso, gastos com reabilitação e o impacto desta doença na vida das pessoas afetadas tais como: afastamento do trabalho, perda da capacidade produtiva, dependência para realizar atividades da vida diária, além de tratamento para o resto da vida, podemos considerar que a alta incidência de AVC provoca um considerável impacto socioeconômico na sociedade (SMAJLOVIĆ, 2015).

A Organização Mundial de Saúde refere-se ao AVC como epidemia de entrada do século XXI. Considerando-se as alterações demográficas, é esperado um aumento das taxas de AVC em todo mundo. Além disso, devido ao nosso estilo de vida, é esperado que o AVC afete pacientes cada vez mais jovens (SARIKAYA; FERRO; ARNOLD, 2015).

### **3.1 Fisiopatologia**

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define o AVC como um déficit neurológico súbito no sistema nervoso central, podendo ser de origem isquêmica ou hemorrágica, e que leva à perda repentina da função neurológica (WHO, 2014; HANCKE, 2003).

Os sintomas mais comuns do AVC são: fraqueza repentina ou dormência da face, braço ou perna (na maioria das vezes de um lado do corpo) confusão, dificuldade para falar ou entender a fala, dificuldade de enxergar, dificuldade em andar, tonturas, perda de equilíbrio ou coordenação, dor de cabeça intensa sem causa conhecida, desmaio ou perda de consciência (WHO, 2014).

Ainda existe muita dúvida por parte da população em geral na hora de identificar um AVC. Por isso a vinculação de campanhas, como a mostrada na Figura 2, que ajudem as pessoas a identificar sinais de um AVC pode ajudar não só a salvar vidas, como também evitar maiores sequelas, uma vez que quanto mais rápido o socorro, menores as chances de morte ou sequelas permanentes.

## Aprenda a identificar os sinais de um AVC

<p><b>Sorria</b></p> <p>A boca ficou torta?</p> 	<p><b>Abrace</b></p> <p>Um dos braços está sem força?</p> 	<p><b>Música</b></p> <p>A frase é arrastada? Você entende o que está sendo dito?</p> 	<p><b>Urgência</b></p> <p>Ligue imediatamente para o</p> <p><b>SAMU 192</b></p> 
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Aja rápido. Você pode salvar uma vida.**

O teste **SAMU** é uma maneira fácil para que todos possam lembrar e reconhecer os sinais de **AVC** na vítima.

29 de Outubro

**Dia Mundial de AVC**

INSTITUTO DE **neurociências**

ENSINO, ÉTICA E RESPONSABILIDADE SOCIAL

[institutodeneurociencias.com.br](http://institutodeneurociencias.com.br)

Figura 2: Folder educativo. Fonte: Instituto de Neurociências (2014).

O AVC isquêmico (Figura 3) é o tipo mais comum afetando aproximadamente cerca de 80% dos indivíduos que sofreram AVC (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2006; OVBIAGELE; NGUYEN-HUYNH, 2011).

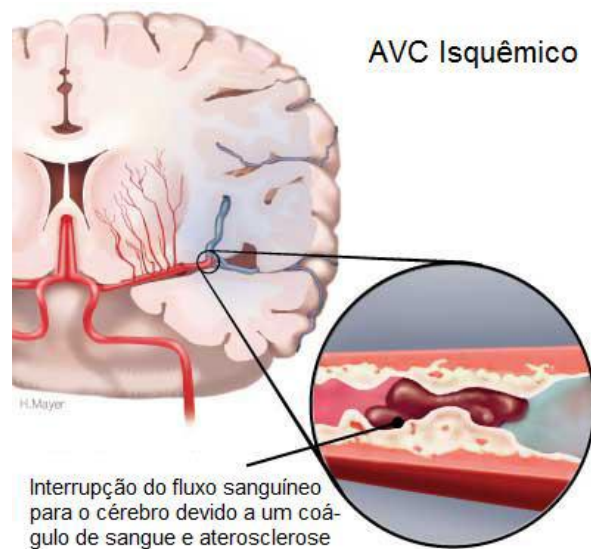


Figura 3: AVC isquêmico. Fonte: Adaptado de HEART (2014).

AVCs isquêmicos resultam da oclusão ou hipoperfusão de um vaso cerebral, levando a uma interrupção do fluxo sanguíneo. Como o tecido cerebral é completamente dependente do metabolismo aeróbico para a manutenção da integridade de suas funções, essa interrupção no fornecimento de oxigênio e glicose provoca em poucos minutos a morte neuronal no centro da zona enfartada (HANCKE, 2003). A área que circunda este centro, é chamada de penumbra isquêmica, a qual contém tecido cerebral afetado, mas ainda viável, perfundido com

sangue proveniente de vasos colaterais. Neurônios na penumbra são principalmente disfuncionais, mas podem se recuperar se reperfundidos no tempo (HANCKE, 2003; DEB; SHARMA; HASSAN, 2010).

A isquemia dispara inúmeros eventos lesivos e potencialmente reversíveis, denominados conjuntamente de cascata bioquímica isquêmica, que progride para a depleção local do oxigênio e glicose, causando uma falha na produção de compostos de fosfato de alta energia, como adenina trifosfato (ATP). Isso afeta negativamente os processos necessários para a sobrevivência de células de tecidos dependentes de energia, e desencadeia uma série de eventos inter-relacionados que culminam na lesão e morte celular (DEB; SHARMA; HASSAN, 2010).

Por outro lado, o AVC hemorrágico (Figura 4) ocorre quando os vasos se rompem, causando derramamento de sangue no cérebro, sendo que a hemorragia resulta na elevação das pressões intracranianas, com lesão aos tecidos cerebrais e restrição do fluxo sanguíneo distal (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2006).

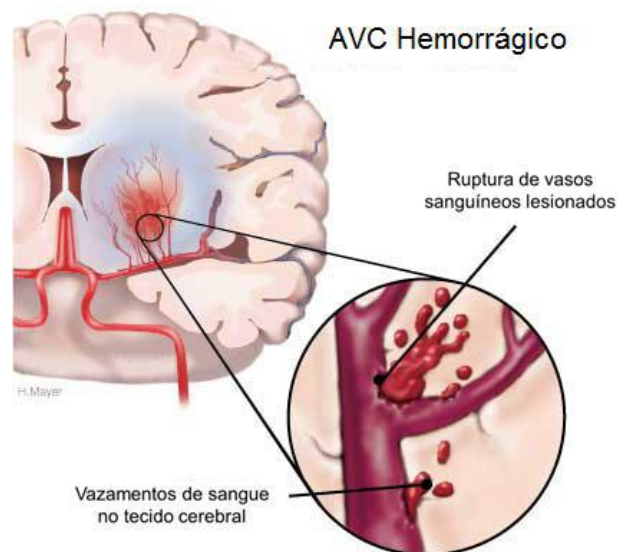


Figura 4: AVC hemorrágico. Fonte: Adaptado de HEART (2014b).

Embora menos frequente, o AVC hemorrágico constitui apenas 10-15% de todos os casos de AVCs. O AVC hemorrágico é mais fatal, apresentando taxa de mortalidade de aproximadamente 40%, enquanto no AVC isquêmico esta taxa é de aproximadamente 12% (HOLLANDER, 2003; OVBIAGELE; NGUYEN-HUYNH, 2011). No AVC hemorrágico, a ruptura do vaso sanguíneo leva à hipóxia, que

dispara a cascata bioquímica isquêmica. O sangue lançado no parênquima cerebral e vascular causa irritabilidade, e isso somado à restrição do fluxo sanguíneo devido ao sangramento contínuo leva a um maior número de morte celular (DEB; SHARMA; HASSAN, 2010). A hemorragia também eleva a pressão intracraniana, ocasionando maiores riscos ao indivíduo. Por estes motivos o AVC hemorrágico é mais danoso e fatal que o AVC isquêmico.

### 3.2 Fatores de Risco do AVC

Um estudo internacional mostrou que aproximadamente 90% dos acidentes vasculares cerebrais em todo mundo estão associadas a dez fatores de risco: hipertensão, diabetes, doenças cardíacas, tabagismo, obesidade abdominal, hiperlipidemia, sedentarismo, consumo excessivo de álcool, dieta, estresse psicossocial e depressão, Figura 5 (O'DONNELL et al., 2010).

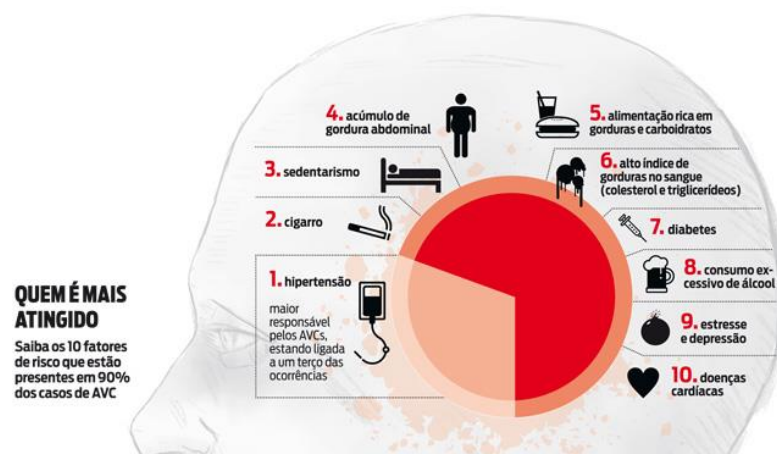


Figura 5: Folder educativo sobre fatores de risco para AVC – Fonte ABAVC (2014).

Os fatores de risco do AVC podem ser classificados como não modificáveis e modificáveis, e geralmente se aplicam a AVC primário e recorrente.

Os fatores de risco não modificáveis servem como marcadores para o alto risco de AVC, enquanto os modificáveis representam um risco menor, pois são passíveis de

intervenção. Fatores de risco modificáveis associados a ambos os tipos de AVC incluem hipertensão arterial, dislipidemias, diabetes, tabagismo, sedentarismo e alcoolismo (OVBIAGELE; NGUYEN-HUYNH, 2011).

Estudos de impacto global de fatores de risco para o AVC descobriram que hipertensão arterial, tabagismo (incluindo o fumo passivo), e consumo excessivo de álcool são os três fatores de risco de maior impacto para a incidência de AVC, havendo sido classificados no “top 3” para várias regiões de baixa renda, incluindo Europa Oriental, Ásia Central e América Latina (FEIGIN et al., 2015).

A pressão arterial elevada é o fator de risco mais potente para o AVC, sendo que as taxas de prevalência atuais e crescentes deste fator de risco, por si só, contribuem significativamente para o impacto do AVC a nível mundial (FEIGIN et al., 2015).

A hipertensão acelera o processo de aterosclerose, aumentando o risco de distúrbios de coagulação, o que pode levar a um AVC isquêmico. Essa também aumenta a fragilidade dos vasos, tornando-os mais vulneráveis a rupturas, além de ser responsável por mais de 50% dos casos de hemorragia intraparenquimatosa (subtipo mais comum de hemorragia cerebral) (KUMAR et al., 2010).

Por outro lado as formações de placas ateroscleróticas desencadeadas pela dislipidemia podem obstruir e romper as artérias pequenas, formando trombos (HACKE et al., 2003, KUMAR et al., 2010). Já o diabetes mellitus tem influência na formação da aterosclerose, pelo fato de provocar hipercolesterolemia (KUMAR et al., 2010), e o tabagismo está associado à redução da elasticidade dos vasos sanguíneos, elevados níveis de fibrinogênio, e ao aumento da agregação plaquetária.

O consumo abusivo de álcool está associado ao aumento da pressão arterial, o reforço da coagulação, arritmias cardíacas e diminuição do fluxo sanguíneo cerebral (OVBIAGELE; NGUYEN-HUYNH, 2011).

A atividade física regular reduz o risco de AVC em 25-30% através de efeitos favoráveis sobre outros fatores de risco vasculares, tais como hipertensão, hiperlipidemia e excesso de peso (SARIKAYA; FERRO; ARNOLD, 2015).



Esses fatores de risco são todos significativos para o AVC isquêmico, enquanto a hipertensão arterial, tabagismo, relação cintura-quadril, dieta e consumo excessivo de álcool são fatores de risco significativos para casos de AVC hemorrágico (O'DONNELL et al., 2010). Esses, juntamente com fatores não modificáveis, como: idade, histórico familiar e etnia, contribuem de forma significativa para a incidência de AVC (OVBIAGELE; NGUYEN-HUYNH, 2011; FEIGIN et al., 2015).

A incidência de AVC aumenta rapidamente com a idade, duplicando a cada década após os 55 anos (OVBIAGELE; NGUYEN-HUYNH, 2011). No Brasil, 85% dos casos de AVC foram diagnosticados em indivíduos acima de 50 anos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014). Assim, considerando-se as alterações demográficas, como o aumento da proporção de idosos, é esperado um aumento das taxas de AVC.

Publicações científicas recentes relatam um aumento na incidência de AVC em adultos jovens. Os fatores de risco como: dislipidemia, tabagismo e hipertensão, são também altamente prevalentes nesta população. Por esse motivo, vem aumentando o número de adultos jovens vítimas de AVC. O AVC em adultos jovens representa um grande impacto econômico para a sociedade, deixando vítimas desativadas durante os anos mais produtivos de sua vida (SMAJLOVIĆ, 2015).

### **3.3 Acometimento Motor e AVC**

Pacientes pós-AVC podem apresentar comprometimento neurológico que podem gerar danos psicológicos, cognitivos e físicos, podendo também apresentar alterações no nível de consciência e comprometimento das funções sensorial, motora, cognitiva, perceptiva e de linguagem (SIN; LEE, 2013).

A deficiência mais comum causada pelo AVC é a deterioração motora, a qual pode ser considerada como uma perda de funções, limitação do controle e movimento no músculo ou uma limitação da mobilidade (TEIXEIRA, 2008). Os déficits motores são

caracterizados como paralisia (hemiplegia) ou fraqueza (hemiparesia), normalmente no lado do corpo oposto à lesão (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2006).

Em indivíduos pós-AVC, está presente uma série de alterações das funções do sistema neuromuscular, tais como fraqueza muscular, propriocepção prejudicada, padrões de ativação muscular anormal, espasticidade e controle postural prejudicada (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2006; CAPO-LUGO; MULLENS; BROWN, 2012; POPOVIĆ, 2014).

A fraqueza (paresia) tem um papel importante na deficiência, pois os pacientes são incapazes de gerar a força necessária para iniciar e controlar o movimento, sendo que a coativação maior de agonistas e antagonistas limita a produção de força durante a realização de movimentos voluntários.

A fraqueza muscular está associada a várias alterações que ocorrem nos músculos e na unidade motora, como: atrofia muscular, perda seletiva de fibras de contração rápida do tipo II, diminuição do número de unidades motoras funcionais devido à degeneração transsináptica de neurônios motores alfa (que ocorre com a perda da inervação cortical) são responsáveis pelos padrões ineficientes de ativação muscular e dificuldade para manter o nível constante de produção de força (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2006).

Já a espasticidade é uma desordem no reflexo de estiramento, que se manifesta clinicamente como um aumento no tônus muscular que se torna mais aparente com mais movimento de alongamento rápido. Este é uma consequência comum de lesões que danificam os neurônios motores superiores. A característica central da espasticidade é o exagero do reflexo tônico que resulta em movimentos musculares espasmódicos súbitos (TROMPETTO, 2014).

O controle postural do tronco de pacientes pós-AVC é importante para o desempenho das atividades funcionais, inclusive dos membros superiores, já que o tronco é a base de sustentação para os movimentos das extremidades. A hemiparesia pode acarretar dificuldades consideráveis para deambular, respirar, falar, rolar, transferir-se e, até mesmo, desempenhar atividades funcionais com o

membro superior sadio, devido à perda da estabilidade do tronco (PASSOS et al., 2013).

A maioria dos pacientes com AVC sobrevive à lesão inicial, entretanto, a seqüela deixada reduz ou limita a participação nas atividades da vida diária, comprometendo a qualidade de vida do paciente e de seus familiares (LANGHORNE; COUPAR; POLLOCK, 2009).

### **3.4 AVC nos Membros Superiores**

O acometimento dos membros superiores do paciente pós-AVC pode comprometer a realização de atividades cotidianas do indivíduo, como comer, vestir-se e realizar cuidados pessoais de uma forma geral. Isso representa um impacto importante na vida do paciente, principalmente se o membro acometido for o braço dominante.

Quando a lesão ocorre na região irrigada pela artéria cerebral média, os danos funcionais são maiores nos membros superiores. O padrão patológico geralmente encontrado no membro superior do hemiplégico é flexor, com: retração, adução e rotação interna do ombro, flexão do cotovelo, pronação de antebraço, flexão de punho e dedos, e adução do polegar (FERREIRA, 2012).

É também comum ocorrerem limitações na flexão, abdução e rotação externa do ombro no membro superior parético (Figura 6), sendo também é provável que ocorram contraturas nos flexores do cotovelo, do punho e dos dedos da mão, além dos pronadores do antebraço.



Figura 6: AVC nos membros superiores (De Judge et al., 1982).

Cerca de 80% dos pacientes pós-AVC tem o controle do movimento da face, braço ou perna de um lado do corpo afetado. Portanto, muito do foco da reabilitação é sobre a recuperação da mobilidade motora prejudicada e das funções associadas (ROGER, 2012).

O autocuidado é uma meta muito importante para o paciente, uma vez que permite sua independência para realizar atividades da vida diária. Entretanto, para atingir esta meta, a recuperação funcional do membro superior é fundamental. Porém a apenas 50% dos sobreviventes de AVC estão propensos a recuperar algum uso funcional da extremidade superior afetada. Portanto, métodos eficazes são necessários para a reabilitação do membro superior (CHAN; TONG; CHUNG, 2009).

### **3.5 Reabilitação pós-AVC**

Como mencionado no tópico anterior, para minimizar o impacto da lesão cerebral e promover a recuperação de pacientes pós-AVC o processo de reabilitação é fundamental, sendo esperado que, aproximadamente, 60% dos sobreviventes recuperem a independência para o autocuidado, e 75% recuperem a marcha independente, embora que 20% necessitarão de cuidados adicionais (TERRANOVA, 2012).

A reabilitação após o AVC tem por objetivo ajudar o paciente a usar plenamente toda sua capacidade reassumindo sua vida anterior ou adaptando-se à sua atual situação. O processo de reabilitação geralmente começa com atividades de mobilidade visando promover o reestabelecimento do equilíbrio corporal. Também são realizados exercícios de fortalecimento e alongamento muscular, treino de equilíbrio, treino da marcha, além de estímulos da sensibilidade (CARR; SHEPERD, 2003).

Para manter a integridade e a mobilidade das articulações e prevenir contraturas, são indicados exercícios de amplitude de movimento (ADM). Tanto exercícios de amplitude de movimento ativo (ADMA) como exercícios de amplitude de movimento passivo (ADMP), com alongamento terminal, devem ser realizados diariamente no processo de reabilitação (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2006).

Entretanto, é o movimento ativo que promove a recuperação das habilidades funcionais. Alguém que sofreu um AVC deve ser ajudado a executar as atividades diárias normais, mesmo que estas não sejam realizadas com perfeição (LANGHORNE; COUPAR; POLLOCK, 2009).

Como o objetivo dos programas de Fisioterapia é conduzir o paciente à recuperação, a progressão dos exercícios e/ou atividades fisioterapêuticas é um dado importante a ser considerado. Neste tipo de programa são enfatizadas combinações motoras que permitem a concretização de tarefas alimentares, higiênicas, locomoção e outras tarefas funcionais (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2012).

O programa também deve levar em conta todos os aspectos e não somente as perdas motoras e sensoriais mais óbvias, pois o objetivo é obter o máximo grau de independência física e psicológica, devendo-se desenvolver um nível de independência funcional, em casa e na comunidade. Isso significa que o “tratamento” deve ser realizado em todos os aspectos do dia-a-dia, tornando-se uma parte da rotina diária (CARR; SHEPERD, 2003).

O tempo e o grau de eficiência do processo de recuperação do paciente estão relacionados com o tamanho da área cerebral lesionada, a personalidade do paciente, a presença e a gravidade da depressão do paciente, e muitos outros

fatores que podem ser descritos como reabilitação física. A reabilitação total do paciente significa mais do que sua independência de andar e cuidar de si. Significa a retomada pelo paciente do gosto e do desejo de viver (POPOVIĆ et al., 2014).

Outro aspecto importante que deve ser considerado em programa de reabilitação de pacientes após-AVC é a neuroplasticidade. Evidências científicas demonstram que o Sistema Nervoso Central (SNC) é maleável. Assim, após uma lesão pode-se estimular a modificação do SNC humano com exercícios repetitivos ou estimulação sensorial. A plasticidade cerebral após o AVC refere-se à regeneração de estruturas e/ou reorganização da função dos neurônios. Ela está diretamente relacionada a princípios da aprendizagem motora como: movimento próximo ao normal, ativação muscular voltada à prática do movimento, atenção focada no movimento, e sua repetição (DALY; RUFF, 2007).

Para produzir a aprendizagem os movimentos devem ser significativos, realizados corretamente e com atenção. Cada repetição deve ser uma tentativa de resolver um problema relacionado ao objetivo, com base nas tentativas anteriores. Segundo evidências, para que o conhecimento seja transferido da terapia para as atividades de vida diária, os exercícios devem ser orientados a uma tarefa, ou seja, a própria tarefa ou pelo menos parte dela deve ser praticada, quer dizer que o exercício deve ser realista e conter uma meta real (KRAKAUER, 2006; GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013).

Os exercícios também devem ser variados e realizados em um ambiente enriquecido, ou seja, um ambiente terapêutico que proporcione uma maior oportunidade para a atividade e interação. Um ambiente enriquecido fornece uma indicação clara do que está sendo esperado do indivíduo, ajudando a melhorar seu desempenho (KRAKAUER, 2006).

Por outro lado, estudos têm mostrado uma melhor recuperação de pacientes que realizam uma maior quantidade de movimentos durante seu processo de reabilitação (LANG et al., 2009), assim como o uso de objetos para realizar os movimentos, pois estes melhoram o desempenho cinemático, em comparação com a realização dos mesmos movimentos sem objetos, tanto em pacientes saudáveis como aqueles pós-AVC (WINTER, 2009). O treinamento de força parece ter pouco efeito, em

comparação com a prática orientada à tarefa (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013).

Estratégias compensatórias, como o uso do braço “saudável” no lugar de movimentos com o braço parético, ou o uso do tronco quando o paciente não consegue realizar a extensão do cotovelo durante as tarefas de alcance, têm a vantagem de aumentar rapidamente a capacidade de realizar tarefas funcionais. Entretanto, estas estratégias podem vir a impedir os pacientes de atingir a sua “verdadeira” capacidade de recuperação. (KRAKAUER, 2006; LANG et al., 2009).

A aprendizagem de novas habilidades motoras ou recuperação de competências “perdidas” exige uma realimentação (feedback) para o paciente. Um exemplo é o feedback intrínseco o qual se refere à própria informação sensório-perceptivo do paciente, e que está disponível como um resultado do movimento que está sendo executado. O feedback também pode ser proprioceptivo ou exteroceptivo (auditivo, visual e tátil). O feedback pode também incluir informações relacionadas com a conclusão da tarefa, por exemplo, atingir um alvo, saber o resultados ao executar o movimento e saber seu desempenho (ARYA et al., 2011).

Dados de pesquisas existentes sugerem que o feedback visual e auditivo pode aumentar o desempenho motor e funcional nos processos de reabilitação de pacientes pós-AVC. Para estes pacientes, o feedback simultâneo, o conhecimento do desempenho e o conhecimento dos resultados alcançados no processo de reabilitação são importantes para a aprendizagem, assim como uma motivação, e irão influenciar diretamente na sua recuperação (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013; POPOVIĆ, 2014). Estudos indicam que a motivação do paciente é um fator altamente importante para o resultado final do processo terapêutico (SIN; LEE, 2013; POPOVIĆ, 2014). A cooperação e satisfação do paciente com um determinado tratamento são essenciais para alcançar resultados bem sucedidos de reabilitação.

A motivação é um conceito multifacetado ligado a vários fatores. Entretanto, pacientes que têm um papel ativo no seu processo de reabilitação têm se mostrado mais motivados, se comparados àqueles que acreditam que os resultados da terapia dependem do destino, da instituição, do terapeuta ou do sistema de saúde em geral

(POPOVIĆ, 2014) A motivação é peça chave no processo de reabilitação; sem motivação o paciente pode ter dificuldades para aderir ao tratamento e não se beneficiará tanto quanto poderia. Assim, o fornecimento de feedback de certos parâmetros de movimento tem sido usado para aumentar a motivação (ARYA et al., 2011).

De acordo com o conhecimento atual, a terapia deve ser intensa, repetitiva, orientada à discapacidade, e deve ser específica à tarefa e ser motivadora; o treinamento de força não deve ser uma prioridade; e os exercícios devem ser projetados para promover a aprendizagem. Sistemas tecnológicos são novas formas para enriquecer o ambiente, a fim de atender a esses requisitos. Adicionalmente incorporar informações musculares por meio de sEMG no sistema de reabilitação baseado em RV, pode fornecer evidências significativas para avaliar o progresso dos movimentos dos braços na reabilitação interativa, e este é o objetivo deste trabalho.



## 4 Análise do Movimento Humano

Uma das formas de estudar e explicar o movimento do corpo humano é através da biomecânica, sendo essa definida como aplicação da lei da física ao movimento animado (HAMILL; KNUTZEN, 2009).

As duas abordagens principais da biomecânica são a análise quantitativa e qualitativa. A análise quantitativa tem o objetivo de reduzir as descrições subjetivas, sendo os dados adquiridos mediante instrumentação. A análise qualitativa é definida como uma observação sistemática do desempenho dos movimentos humanos (WINTER, 2009).

Dentre as áreas de estudo da biomecânica estão a cinemática e a eletromiografia. A eletromiografia tem por objetivo conhecer a resposta muscular durante o movimento, e para isso são necessários instrumentos que capturam, filtram e amplificam os sinais, sendo possível caracterizar a resposta muscular.

Por outro lado, a cinemática, leva em conta as características do movimento e o examina a partir de uma perspectiva espacial e temporal, sem referência às forças que provocam o movimento. Na descrição do movimento, a cinemática abrange: posições, velocidades e acelerações dos segmentos do corpo, ângulos, velocidades angulares e acelerações angulares das articulações. Ao examinar um movimento angular ou linear cinematicamente, pode-se identificar os segmentos envolvidos nesse movimento que requerem melhorias ou obter ideias das suas componentes. (HAMILL; KNUTZEN, 2009).

Para descrever o movimento humano, utilizam-se planos e eixos (Figura 7). Os três planos cardinais que se originam no centro de gravidade são, plano sagital, que divide o corpo em direita e esquerda, o plano frontal, que divide o corpo verticalmente, separando em anterior e posterior; e o plano transverso, que divide o corpo nas partes superior e inferior. O movimento humano ocorre nos planos ou paralelamente a eles, em torno de um eixo mediolateral (plano sagital),

anteroposterior (plano frontal) ou longitudinal (plano transverso) (HALL, 2014; WINTER, 2009).

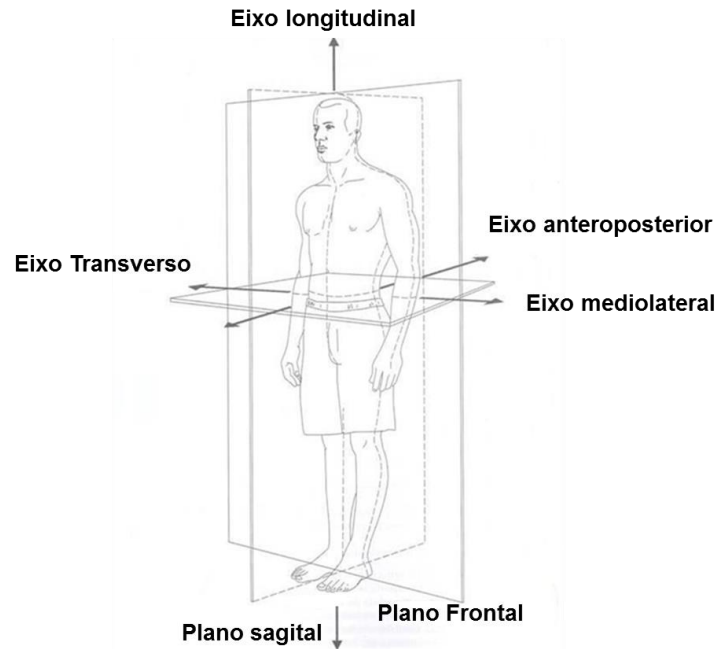


Figura 7 – O três planos cardinais de referência (HALL, 2014).

Para descrever movimentos nos membros superiores, por exemplo, a flexão e extensão são realizadas em paralelo ao plano sagital; abdução e adução paralelo ao plano frontal; e rotação interna e externa paralelo ao plano horizontal, como se apresenta na Figura 8.

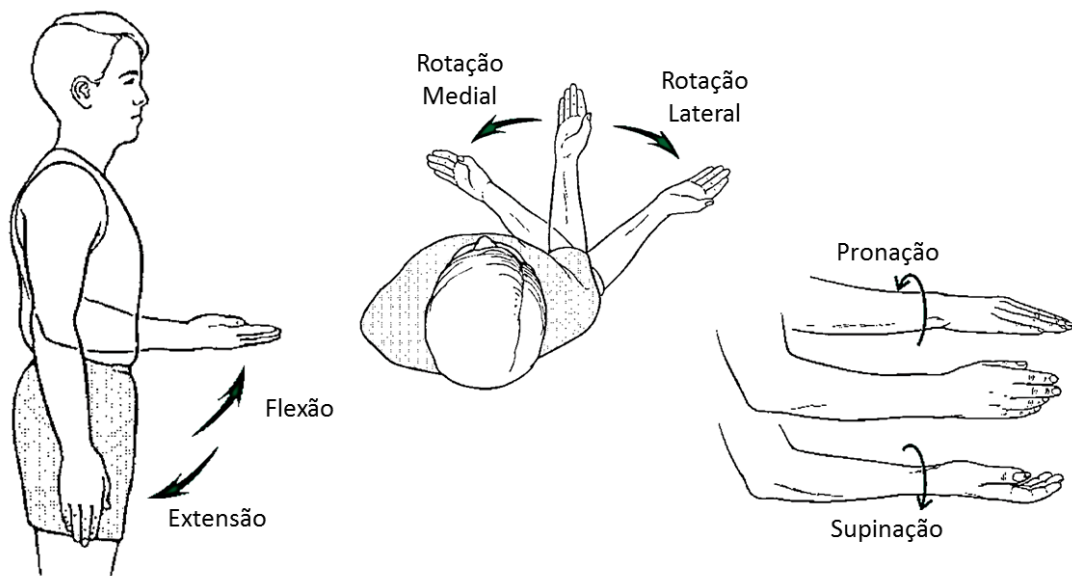


Figura 8: Movimentos de referência nos membros superiores (HAMILL; KNUTZEN, 2009).

Quando o corpo está na posição anatômica todos os segmentos corporais são considerados na posição de zero grau. A rotação de um segmento corporal afastando-se da posição anatômica pode ser denominado de acordo com a direção do movimento e é medida como o ângulo entre a posição anatômica e a posição do segmento corporal (HALL, 2014).

#### **4.1 Eletromiografia de Superfície (sEMG)**

A Eletromiografia de Superfície (sEMG, do inglês *Surface Electromyography*) é um método que possibilita a captação dos sinais elétricos do músculo, por meio de eletrodos de superfície.

No músculo esquelético, a contração é controlada por impulsos elétricos de propagação entre os sistemas nervosos, central e periférico, e os músculos. A contração de uma fibra muscular é iniciada quando os potenciais de ação neuronais chegam à junção neuromuscular e se espalham ao longo das membranas excitáveis da fibra muscular (GUYTON; HALL, 2006).

Uma unidade motora (MU - do inglês *Motor Unit*) é a combinação de um neurônio motor e de todas as fibras musculares que ele inerva. A combinação dos potenciais de ação de todas as fibras musculares inervadas por um neurônio motor é chamada potencial de ação da unidade motora (MUAP - do inglês *Motor Unit Action Potential*). A sustentação da contração muscular requer que a unidade motora seja ativada repetidamente, resultando em uma sequência repetida de MUAPs chamada trem de potenciais de ação da unidade motora, MUAPT (do inglês *Motor Unit Action Potential Train*). O sinal de EMG produzido é a sobreposição dos MUAPTs e pode ser tratado como um processo estocástico (RECHY-RAMIREZ ; HU, 2011).

A correta detecção do começo da contração muscular por meio do sinal mioelétrico é de grande importância, pois a classificação de padrões e o diagnóstico de doenças neuromusculares podem ser realizados a partir deste evento.

Por meio da sEMG é possível fornecer dados para que o profissional de saúde faça uma avaliação referente ao tempo de ativação muscular durante o exercício (CAMPANINI, 2007). Assim, o sistema proposto é capaz de armazenar dados do usuário como: patologia, duração da sessão, frequência e execução dos exercícios, permitindo que o profissional acompanhe todo o processo de reabilitação.

Estudos mostraram que o biofeedback de sEMG associado a técnicas de reabilitação convencional resulta em melhorias nas propriedades funcionais, tais como força muscular, amplitude ativa de movimento. Também foram encontrados resultados significativos, com o uso do biofeedback na melhoria das habilidades motoras do uso funcional da mão, e na capacidade de executar atividades do cotidiano (ARAÚJO; BARBOSA, 2013, DOGAN-ASLAN, 2012, KAEWBOON, 2013).

Proporcionar aos usuários e profissionais de saúde um biofeedback durante a reabilitação pode ter potenciais efeitos terapêuticos, pois isso pode permitir que os usuários desenvolvam consciência, confiança e uma melhoria no controle voluntário de seus processos fisiológicos (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013; ERAZO, 2014).

Vale ressaltar que o biofeedback de sEMG é um método amplamente utilizado e amplamente divulgado de biofeedback (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013; KONRAD, 2005). Evidências existentes no uso do biofeedback sEMG na reabilitação músculo-esquelética e neurológica parece promissora (ZHANG; ZHOU, 2012).

## 5 Realidade Virtual (RV)

A recuperação funcional de déficits motores pós-AVC requer uma quantidade considerável de repetições de movimentos para induzir mudanças na neuroplasticidade (LOHSE, 2014). Entretanto, este elevado número de repetições é um requisito problemático. Dados observacionais mostram que em sessões tradicionais de terapia os pacientes geralmente executam um número muito limitado de repetições de movimentos (LANGE et al., 2009).

Além do mais, para complementar o programa de reabilitação é recomendado que o paciente pratique os exercícios e/ou tarefas em casa (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2006). Entretanto, é difícil determinar o efeito dessas intervenções na casa do paciente porque é impraticável observar como estão sendo realizadas.

Devido a essas limitações, o uso de novas estratégias de reabilitação, como o uso de robôs e dispositivos de RV, tem sido sugerido na literatura e começou a ser utilizado no tratamento dos pacientes que sofreram AVC. Um desenvolvimento recente na reabilitação é o exercício em um ambiente de jogos em RV, proporcionando, assim, uma nova forma de biofeedback imersiva (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013).

Estes jogos podem ser divididos em duas categorias: os jogos sérios, que visam a oferecer ambientes de RV para a reabilitação de pacientes, ajudando a motivar a realização de movimentos repetitivos voltados ao processo de reabilitação que, de outra forma poderiam vir a tornar o tratamento monótono e desinteressante. E os “exergames” (jogos de exercício) que buscam estimular um estilo de vida ativo sob medida para um determinado padrão um fisiológico e psicológico, voltado a necessidades das pessoas com deficiência (WEBSTER; CELIK, 2014).

Através do ambiente de RV os usuários podem interagir com vários ambientes sensoriais, fornecendo em tempo real um feedback em relação ao desempenho (SIN; LEE, 2013).

A RV é usada em métodos propostos para aperfeiçoar os efeitos da terapia de reabilitação podendo proporcionar um variado e agradável ambiente em que os pacientes podem ter uma motivação para a prática dos movimentos necessários à reabilitação durante longos períodos de tempo (KRAKAUER, 2006).

A utilização de sistemas de RV contribui para melhorar a função do membro afetado através da facilitação da reorganização cortical que, por sua vez, pode ser facilitada pela provisão de feedback multissensorial (visual, auditiva e tátil) proveniente dos sistemas de RV. Estudos usando imagens de ressonância magnética demonstraram evidência de reorganização cortical após programas de treinamento com VR (SIN; LEE, 2013). Além disso, a RV pode aumentar a intensidade de movimento, que é necessário para induzir a neuroplasticidade.

Dispositivos de jogos comerciais, como Wii (da Nintendo), PlayStation (da Sony) e Xbox (da Microsoft) estão prontamente disponíveis e sendo usados para incentivar no processo de reabilitação, principalmente quando os movimentos são repetitivos e de maior intensidade (THOMSON et al., 2014). Estudo realizado com quarenta pacientes pós-AVC investigou o efeito do treinamento adicional usando o Xbox Kinect, sobre o funcionamento da extremidade superior e constatou que treinamento em RV adicional usando Xbox Kinect em casa, não pretende ser uma ferramenta para a reabilitação, porém foi constada uma melhora do funcionamento do membro superior nos sobreviventes pós-AVC (SIN; LEE, 2013).

Entretanto os jogos atualmente disponíveis no mercado podem não ser adequados para processo de reabilitação. Estudos de usabilidade descobriram que alguns jogos disponíveis comercialmente fornecem feedback auditivo e visual negativo durante as tarefas de terapia (LANGE, 2011). Visando contornar esta limitação vários estudos têm se dedicado ao desenvolvimento de dispositivos que integrem a RV no processo de reabilitação.

Na Universidade do Sul da Califórnia foi desenvolvido o Game-based. Uma ferramenta interativa de reabilitação baseado em jogos de treino de equilíbrio para adultos com lesões neurológicas. Utilizando o Kinect, a ferramenta foi concebida através de uma série de entrevistas com médicos, pesquisadores e pacientes. A

avaliação inicial do protótipo, com os participantes do estudo, demonstrou que o protótipo tem potencial como uma ferramenta de recuperação (LANGE et al., 2011).

O Espelho Mágico também usou o Kinect. O *software* foi desenvolvido na Universidade do Chile, e é destinado a pacientes que sofrem de vários tipos de disfunção do membro superior. É composto de três rotinas que permitem aos pacientes treinar alcançar e agarrar objetos. Os ensaios realizados mostraram a adequação da aplicação, que com custo relativamente baixo pode ajudar os pacientes a continuar a sua terapia em casa (ERAZO, 2014).

Já o Siirus Surfer, desenvolvido na Universidade Federal de Sergipe, com o uso de sensores de movimento, por meio do Wii Remote, é um jogo sério cujo propósito é auxiliar a recuperação dos movimentos ântero-posteriores do tronco de paciente pós-AVC (PASSOS et al., 2013). Outros estudos com dispositivos que utilizam interfaces naturais e RV têm sido desenvolvidos visando auxiliar o processo de reabilitação de pacientes pós-AVC (BARANYI et al., 2013; SLIJPER et al., 2014).

Sistemas de RV também têm o potencial de monitorar vários movimentos e habilidades do paciente durante a sessão de reabilitação. O interesse e a motivação dos participantes também podem ser observados por meio de ambientes virtuais de criativos e divertidos (WEBSTER; CELIK).

Devido ao maior acesso a computadores e internet, as formas de utilização de RV estão se expandindo, tornando-se livres das restrições de tempo e lugar, e podendo ser usados em clínicas, hospitais e até mesmo para a reabilitação em casa: um conceito conhecido como Telereabilitação (SIN; LEE, 2013).

## 5.1 O Kinect e os Jogos Sérios

O Kinect que é um sensor de movimento da Microsoft desenvolvido para o Xbox 360 e Xbox One. O Kinect possui câmeras e sensores infravermelhos para obter imagens em profundidade, sendo que a versão mais recente acompanha até seis esqueletos completos e 25 articulações por pessoa. As posições acompanhadas pela nova versão do Kinect estão mais corretas e estáveis anatomicamente, e os sensores oferecem uma visualização 3D aperfeiçoada, permitindo uma melhor estabilidade do acompanhamento do corpo. O campo de visão expandido da nova versão permite que uma área maior de uma cena seja capturada pela câmera. Dessa forma, os usuários podem ficar mais próximos da câmera e ainda assim estar no campo de visão (WEBSTER; CELIK, 2014; LATTA; TSUNODA; GEISNER, 2009).

Ao contrário de outros dispositivos de jogos, com o Kinect, os usuários podem ver o ambiente RV sem a necessidade de um controlador especial, e os seus movimentos são capturados em tempo real, sendo o feedback fornecido imediatamente (SIN; LEE, 2013; NIJENHUIS et al., 2015). Além do feedback, o Kinect possibilita observação mútua (paciente e terapeuta) através dos movimentos de um avatar na tela.

A facilidade de aquisição de dados e o uso da plataforma Kinect para o desenvolvimento de jogos de reabilitação de alta qualidade são pontos positivos na escolha deste disposto para desenvolvimento de plataformas de reabilitação que usam RV.

Para pacientes pós-AVC que necessitam de neuroreabilitação, para estimular a plasticidade cerebral, o processo de reabilitação utilizando jogos sérios e RV deve ser baseado nos princípios da aprendizagem motora, o quais incluem a visualização da correta da execução do movimento, a realização de exercícios regulares, a repetição e o feedback e outros estímulos visuais tais como: a representação na tela de atividades e/ou movimentos que; são realizados na reabilitação (KRAKAUER, 2006; WEBSTER; CELIK, 2014).



E importante ressaltar que a reabilitação com jogos sérios e RV permite o aumento do envolvimento do paciente, além de ser extremamente importante para sua recuperação, podendo também reduzir a necessidade de monitoramento constante por parte dos profissionais de saúde na implementação dos programas de reabilitação, o que implica que com o sistema pode-se atender um maior número de pessoas.

## 6. Levantamento e análise de requisitos para o desenvolvimento do sistema

Requisitos de um sistema são descrições dos serviços que devem ser fornecidos por esse sistema e as suas restrições operacionais (SOMMERVILLE, 2007). Levantamento de requisitos envolve as atividades de descoberta dos requisitos. Neste contexto, quatro dimensões devem ser consideradas, como ilustra a Figura 9 (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998):

### Levantamento de requisitos



Figura 9: Dimensões do levantamento de requisitos (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998).

Entendimento do:

- Domínio da aplicação: entendimento geral da área na qual o sistema será aplicado;
- Problema: entendimento dos detalhes do problema específico a ser resolvido com o auxílio do sistema a ser desenvolvido;
- Negócio: entender como o sistema irá contribuir para que os objetivos e os objetivos gerais sejam atingidos;
- Necessidades e das restrições dos interessados: consideram-se interessados no sistema, todas as pessoas que são afetadas pelo sistema de alguma

maneira, neste caso pacientes e profissionais de reabilitação (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998).

A análise de requisitos é uma atividade vinculada ao levantamento de requisitos. Alguns problemas podem ser levantados e tratados na fase de levantamento de requisitos, porém existem problemas que só são identificados por meio de uma análise mais detalhada. Através da análise de requisitos é possível entender e detalhar os requisitos levantados, a descobrir problemas nesses requisitos (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998). Seu objetivo é prover especificações que guie os desenvolvedores nas etapas do desenvolvimento, projeto, implementação e testes do sistema (PFLEEGER, 2004).

Para realizar o levantamento de requisitos existem diversas técnicas, com diferentes objetivos e foco em diferentes requisitos. Neste estudo, a fim de ter um levantamento de requisitos mais eficaz vamos empregar duas técnicas diferentes: a observação e a entrevista.

A entrevista é uma técnica amplamente utilizada, que consiste em conversas direcionadas com um propósito específico. Seu objetivo é descobrir problemas a ser tratados, levantar procedimentos importantes e saber a opinião e as expectativas do entrevistado sobre o sistema.

Já a observação: consiste em observar o comportamento e o ambiente dos indivíduos, assim é possível identificar que realmente é feito e qual tipo de suporte é necessário. Ajuda a confirmar ou refutar informações obtidas com outras técnicas (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998).

O pesquisador observa sem intervir diretamente no processo, mas ele interage com a pessoa que está sendo observada. Na medida do possível o pesquisador deve executar as atividades do usuário para entender como o usuário opera em seu próprio ambiente.

## 6.1 Metodologia do levantamento e da análise de requisitos

Para desenvolver e avaliar o protótipo do sistema de reabilitação o protocolo contou com três etapas (Figura 10).

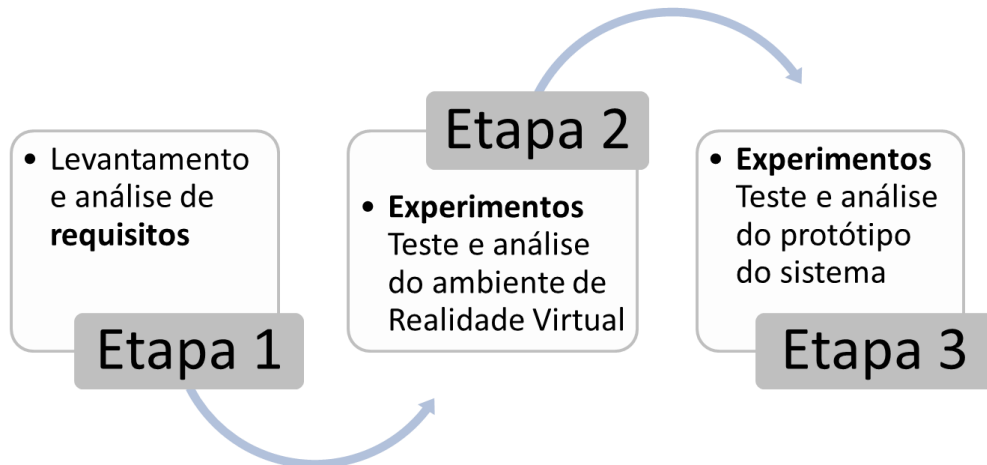


Figura 10: Etapas do protocolo.

Etapa 1 :Levantamento e análise de requisitos para o desenvolvimento do sistema (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998; PFLEEGER, 2004; SOMMERVILLE, 2007);

Etapa 2: Nessa etapa o objetivo era testar e analisar o ambiente de RV e fornecer dados relativos aos sinais mioelétricos para integrar a eletromiografia ao sistema de reabilitação;

Etapa 3: Nessa etapa o objetivo foi testar e analisar; protótipo do sistema com os ajustes realizados e suas novas funções, como: feedback visual de sEMG , feedback biomecânico relativo aos ângulos atingidos pela articulação durante o movimento, e feedback de resultados através da pontuação alcançada no jogo.

Assim passaremos para descrição da metodologia do levantamento e da análise de requisitos (Etapa 1).

### **6.1.1 Participantes**

O levantamento de requisitos foi realizado no Hospital Universitário Cassiano Antônio de Moraes (Hucam), Casa 5 – Doenças Neurológicas, no setor de Terapia Ocupacional (TO) dentro do Projeto de Extensão – Intervenção da TO em paciente com sequelas neurológicas.

A equipe era composta por três pessoas: uma docente curso de graduação em TO da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e Especialista em Terapia da Mão e Reabilitação do Membro Superior e duas estudantes de graduação do curso de TO. Ao todo eram atendidos seis pacientes sendo quatro deles pacientes pós-AVC. Para realizar atividade esta atividade foi concedida autorização da instituição (ANEXO A).

### **6.1.2 Instrumentos**

Neste estudo empregamos duas técnicas diferentes:

- Observação – foram realizadas observações sem intervir diretamente no processo, entretanto houve interação com a pessoa. Na medida do possível o pesquisador executou as atividades do usuário.
- Entrevista – um roteiro de entrevista não estruturada foi realizado com a equipe de profissionais de reabilitação, onde a definição da sequência das questões foi de acordo com o andar da entrevista.

Foram desenvolvidos os seguintes instrumentos para a construção de dados: o diário de observação (APÊNDICE A) e o roteiro de entrevista (APÊNDICE B), que foi elaborado a partir do objetivo do estudo.

Ao todo foram cinco sessões de observação de quatro horas cada, totalizados vinte horas.

### **6.1.3. Procedimentos de análise dos dados**

O procedimento de análise dos dados englobou os seguintes passos:

Para o diário de observação – Leitura das anotações realizadas atentando para os objetivos de cada exercício e ou atividades realizadas pelo profissional de reabilitação e pelo paciente. Em seguida, organizamos as anotações em cinco colunas: paciente, função motora que se pretende reabilitar, objetivos, musculatura que se pretende reabilitar, movimentos/exercícios/ atividades (APÊNDICE C).

Entrevistas – Todas as respostas do roteiro de entrevista foram transcritas na íntegra fizemos uma leitura intensiva do texto transcrito a fim de levantar requisitos para o sistema.

Para análise destes resultados, organizamos os requisitos em tópicos onde abordamos os objetivos de cada uma deles tendo por base os resultados obtidos e a literatura estudada.

## 6.2 Resultados e Discussão do Levantamento e Análise de Requisitos

A técnica de entrevista nos permitiu levantar requisitos que não foram possíveis de serem levantados somente com a técnica de observação.

Analisando as entrevistas realizadas foi possível levantar os seguintes requisitos: necessidade de trabalhar movimentos bilaterais, a dificuldade de reabilitar a função motora do braço parético, a importância dos antagonistas do movimento de flexão do cotovelo para reabilitação funcional do braço e a importância do movimento de extensão do cotovelo para qualidade de vida do paciente pós-AVC.

Após o levantamento e análise dos dados coletados nas sessões e observação e nas entrevistas, organizamos os requisitos em tópicos onde abordamos os objetivos de cada uma deles tendo por base os resultados obtidos e a literatura estudada.

Assim o sistema foi desenvolvido de acordo com o levantamento e análise dos seguintes requisitos:

- Ter por objetivo promover a recuperação funcional do membro superior parético;

Quando os membros superiores são acometidos, a realização de atividades do cotidiano fica comprometida, além do mais, apenas 50% dos paciente conseguem recuperar algum uso funcional da extremidade superior (CHAN; TONG; CHUNG, 2009).

- Motivar o paciente a realizar movimento de flexão e extensão do cotovelo;

No membro superior de pacientes pós-AVC, é comum que haja espasticidade nos músculos flexores do cotovelo, prejudicando os movimentos de extensão e flexão do cotovelo do membro mais afetado, limitando assim sua funcionalidade (O'SULLIVAN; SCHMITZ 2006).

- Atender aos princípios da aprendizagem motora;

A plasticidade cerebral está diretamente relacionada a princípios da aprendizagem motora, como: movimento próximo ao normal, ativação muscular voltada à prática do movimento, atenção focada no movimento, e uma grande quantidade de repetição (DALY; RUFF, 2007).

- Promover a amplitude ativa do movimento da articulação do cotovelo;

Os jogos propostos neste trabalho foram projetados de acordo com este requisito, visando oferecer ao usuário exercícios de amplitude ativa do movimento, uma vez que esses são indicados para manter a integridade e a mobilidade das articulações e prevenir contraturas em pacientes pós-AVC (O'SULLIVAN; SCHMITZ 2006).

- Os alvos virtuais devem estar posicionados de forma que até mesmo pacientes que apresentem amplitude ativa de movimento do ombro, cotovelo em mais do que 20 graus no membro parético possam realizar a terapia;
- Os alvos virtuais devem estar posicionados no nível do arco funcional do movimento humano, normalmente entre 30 a 130 graus (NEUMANN, 2013).
- Motivar a realização de movimentos bilaterais;

Os movimentos voluntários do membro intacto podem ativar o córtex motor primário e a área motora suplementar para o membro intacto, o que aumenta a probabilidade de contrações musculares voluntárias no membro prejudicado quando os movimentos simétricos são executados. Além disso, Cauraugh e Summers revisaram a formação do movimento bilateral e concluíram que o planejamento e execução de movimentos bilaterais após o AVC pode facilitar a plasticidade neural cortical (CHAN; TONG; CHUNG, 2009).

- Fornecer um feedback visual dos resultados;

Para indivíduos com distúrbios neurológicos, a interpretação do feedback intrínseco pode ser difícil ou incorreto, aumentando a necessidade de informações adicionais de feedback (GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013; POPOVIĆ, 2014).



- Fornecer um biofeedback de sEMG;

O biofeedback de sEMG é um método de reaprendizagem de movimentos do músculo através da criação de novos sistemas de feedback, como resultado da conversão de sinais mioelétricos em sinais visuais e auditivos. Essas informações permitem ao paciente controlar e regular a atividade muscular (ARAÚJO; BARBOSA, 2013; GIGGINS; PERSSON; CAULFIELD, 2013).

- Apresentar o ângulo descrito pela articulação do cotovelo, fornecendo assim uma medida quantitativa do desempenho,
- Progressão dos exercícios e/ou atividades propostas no ambiente de RV (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2012).

A progressão dos exercícios e/ou atividades fisioterapêuticas é um fator muito importante, neste sentido devem ser enfatizadas combinações motoras que permitem a concretização das tarefas funcionais.

- O sistema de ser fácil de usar, tanto para o paciente quanto para o profissional de reabilitação;

O profissional de reabilitação deve ter a sua disposição uma interface intuitiva, que permita selecionar os seguintes parâmetros: tempo de intervenção, o tipo de jogo, se o paciente irá jogar com o braço mais afetado ou menos afetado, ou com ambos os braços; possibilitando que ele configure o sistema de acordo com a necessidade de cada paciente;

- Fornecer dados para que o profissional de reabilitação possa fazer uma análise quantitativa do processo de reabilitação.

Assim, de acordo com os requisitos citados acima, o protótipo do sistema de reabilitação foi desenvolvido por um estudante de mestrado do Programa de Engenharia Elétrica da UFES. A seguir passamos para a descrição do protótipo do sistema:

## 7 Sistema de Reabilitação

O sistema de reabilitação desenvolvido neste trabalho é baseado no dispositivo Microsoft Kinect, uma vez que este dispositivo é uma alternativa de baixo custo para auxiliar a realização de exercícios fisioterapêuticos dos pacientes pós-AVC. Juntamente ao Kinect, é utilizada a técnica de eletromiografia de superfície (sEMG) para coletar sinais mioelétricos que indicam o grau de atividade muscular do paciente ao realizar o exercício fisioterápico.

O sistema é composto por um computador pessoal (com periféricos básicos), o Kinect para Windows v2 (©2015 Microsoft 2015) e um equipamento de aquisição de sinais mioelétricos, o BrainNet, utilizado para realização de eletromiografia de superfície. Os dados são gravados pelo *software* desenvolvido para o sistema.

Através de eletrodos devidamente posicionados nos segmentos do corpo humano é possível gravar os sinais mioelétricos, sendo o processamento feito no *software Matlab*. Com a finalidade de obter dados do dispositivo *Kinect*, o programa *Microsoft® SDK (Software Development Kit)* para o *Kinect™ V2* é utilizado, o qual fornece um fluxo de imagens coloridas e em profundidade de 30 FPS (quadros por segundo) de até 6 segmentações de esqueletos de 25 articulações por pessoa (*Microsoft, 2015*).

Após o processamento das imagens e dos sinais mioelétricos, a interface gráfica entrega para o usuário um ambiente virtual, onde é possível visualizar o movimento realizado, os alvos virtuais com os quais se pretende interagir para realizar a terapia, e a ativação muscular alcançada durante o processo (Figura 11).

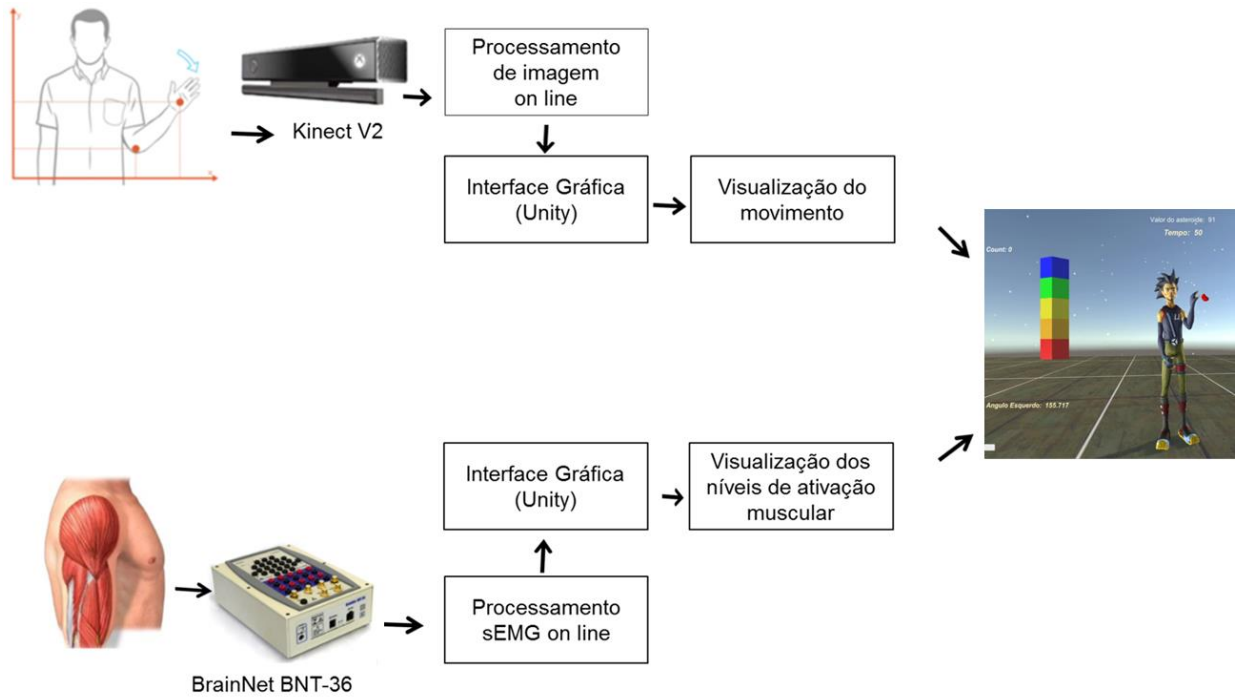


Figura 11: Diagrama geral do protótipo do sistema desenvolvido.

## 7.1 O Ambiente de Realidade Virtual

A amplitude máxima do movimento passivo do cotovelo humano vai de 5 graus de hiperextensão até 145 graus de flexão. Contudo, diversas atividades comuns do dia-a-dia usam apenas um arco limitado de movimento, ou seja, um arco funcional normalmente entre 30 e 130 graus (NEUMANN, 2013).

Neste estudo, os alvos virtuais foram posicionados dentro do arco funcional de amplitude de movimento flexão e extensão do cotovelo e antebraço, para realizar movimentos com a mão na posição pronação ou supinação (Figura 12).



Figura 12 . Amplitude de movimento do cotovelo (Plano sagital).

O *software* desenvolvido para o protótipo do sistema é capaz de apresentar dados do usuário em tempo real, como: ativação muscular (através do sinal sEMG), ângulo descrito, tempo e pontuação alcançada no jogo.

O ambiente virtual foi desenvolvido no *software* Unity R, e consta de seis janelas diferentes. A primeira é uma animação cujo objetivo é iniciar a imersão do paciente enviando-o (na forma de avatar) ao ambiente espacial onde vai desenvolver a sua terapia (Figura13).



Figura 13: Tela de início do ambiente virtual.

A segunda janela é de configuração, onde o profissional de reabilitação preenche o formulário com os dados básicos do paciente, como: nome, idade, gênero, a fim de identificar cada paciente. O profissional de reabilitação pode configurar o sistema para que o paciente realize a sessão com o braço mais afetado ou menos afetado pela doença (opção de braço direito e esquerdo). E ainda se ele deseja reabilitar o movimento bilateral ele tem a opção se escolher um jogo que o paciente irá realizar movimentos com ambos os braços.

A fim de configurar o sistema de acordo com a necessidade de cada paciente, diminuindo ou aumentando a dificuldade do jogo o profissional de reabilitação tem a sua disposição um campo que permite ajustar o tempo de duração de cada jogo (opção duração do jogo em minutos). O campo de configuração da amplitude angular e tipo de lesão não estão ativos nesta versão do protótipo, mas serão implementados em trabalhos futuros (Figura 14).

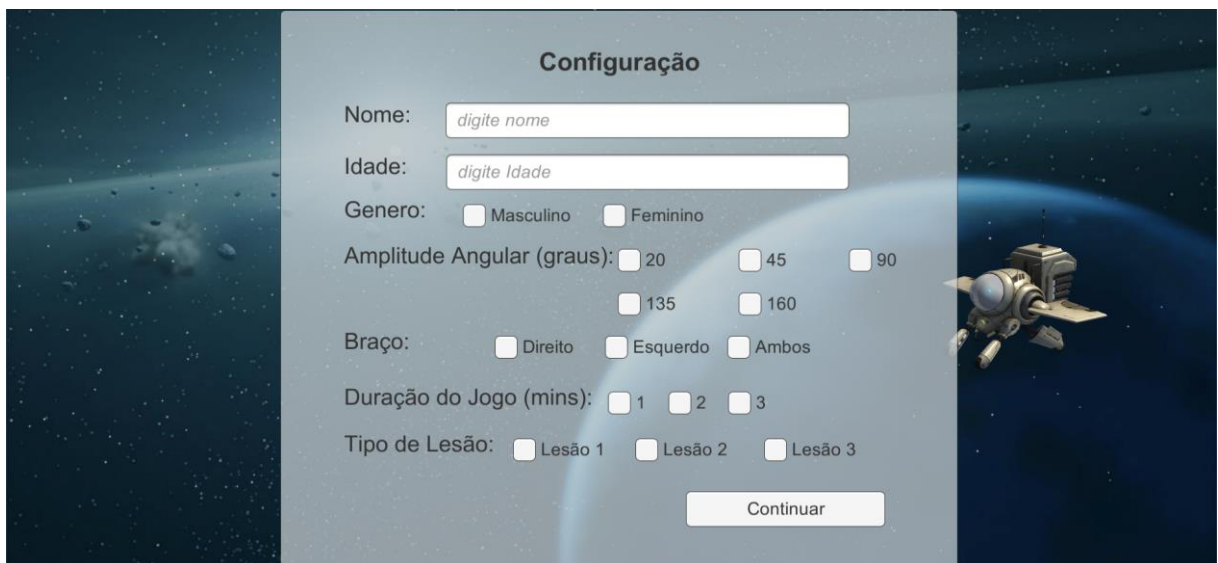
A imagem mostra uma interface de usuário para a configuração de um ambiente virtual. O título da tela é "Configuração". O formulário contém os seguintes campos e opções: "Nome:" com um campo de texto contendo o placeholder "digite nome"; "Idade:" com um campo de texto contendo o placeholder "digite Idade"; "Genero:" com duas opções de radio button, "Masculino" e "Feminino"; "Amplitude Angular (graus):" com seis opções de radio button distribuídas em duas linhas: 20, 45, 90 na primeira linha e 135, 160 na segunda; "Braço:" com três opções de radio button, "Direito", "Esquerdo" e "Ambos"; "Duração do Jogo (mins):" com três opções de radio button, "1", "2" e "3"; "Tipo de Lesão:" com três opções de radio button, "Lesão 1", "Lesão 2" e "Lesão 3". No canto inferior direito do formulário, há um botão "Continuar". O fundo da tela apresenta uma paisagem espacial com um planeta e um satélite.

Figura 14: Tela de configuração do ambiente virtual.

Após o preenchimento da tela de configuração, o paciente é enviado (na forma de avatar) ao ambiente do jogo o qual consiste em um personagem no estilo homem espacial, cujo propósito é coletar todos os asteróides mostrados no jogo, no menor tempo possível, a partir do movimento do braço afetado pelo AVC.

No ambiente virtual o avatar repete os movimentos do paciente sendo útil para especificar, monitorar e avaliar as tarefas de reabilitação e produzir um feedback útil para o paciente e para o profissional de reabilitação (Figura 13).

Foram desenvolvidos três jogos diferentes no mesmo ambiente virtual (Figura 15) sendo que para cada jogo é possível selecionar se o paciente deseja jogar com o braço esquerdo ou direito ou com ambos os braços.

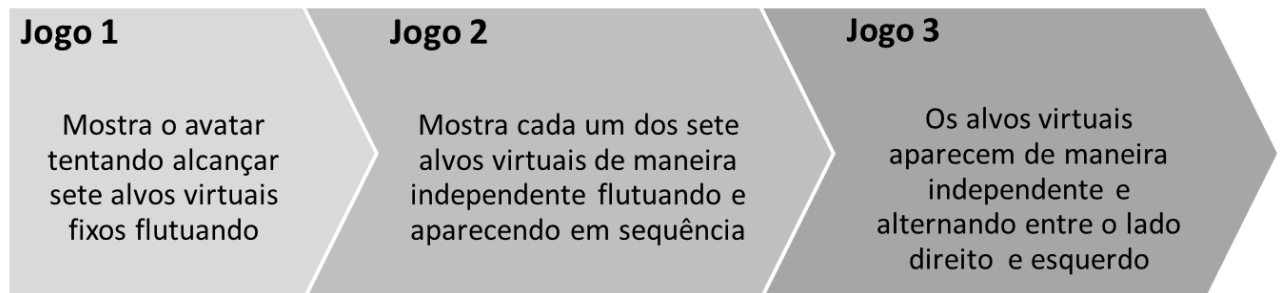


Figura 15: Os três jogos desenvolvidos para o sistema.

O primeiro jogo mostra o avatar tentando alcançar sete alvos fixos flutuando, posicionados nos seguintes ângulos:  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$  vistos no plano sagital. Os alvos aparecem todos ao mesmo tempo na tela.

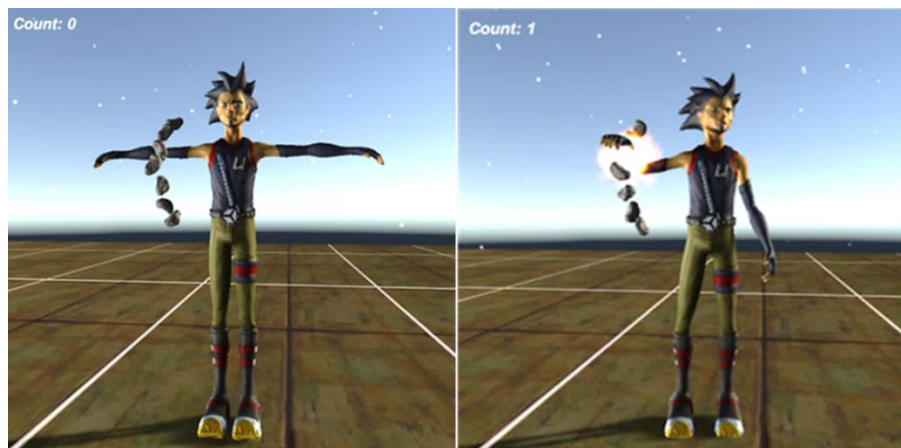


Figura16: Tela do ambiente de RV interativo desenvolvido para o primeiro jogo.

O segundo jogo mostra cada um dos sete asteroides de maneira independente flutuando e aparecendo em sequência. No primeiro instante aparece o asteroide flutuando na posição  $0^\circ$ ; quando o paciente o atinge, aparece o segundo objetivo a  $30^\circ$  do primeiro. A sequência continua até que a pessoa consiga alcançar os sete alvos (Figura 17).

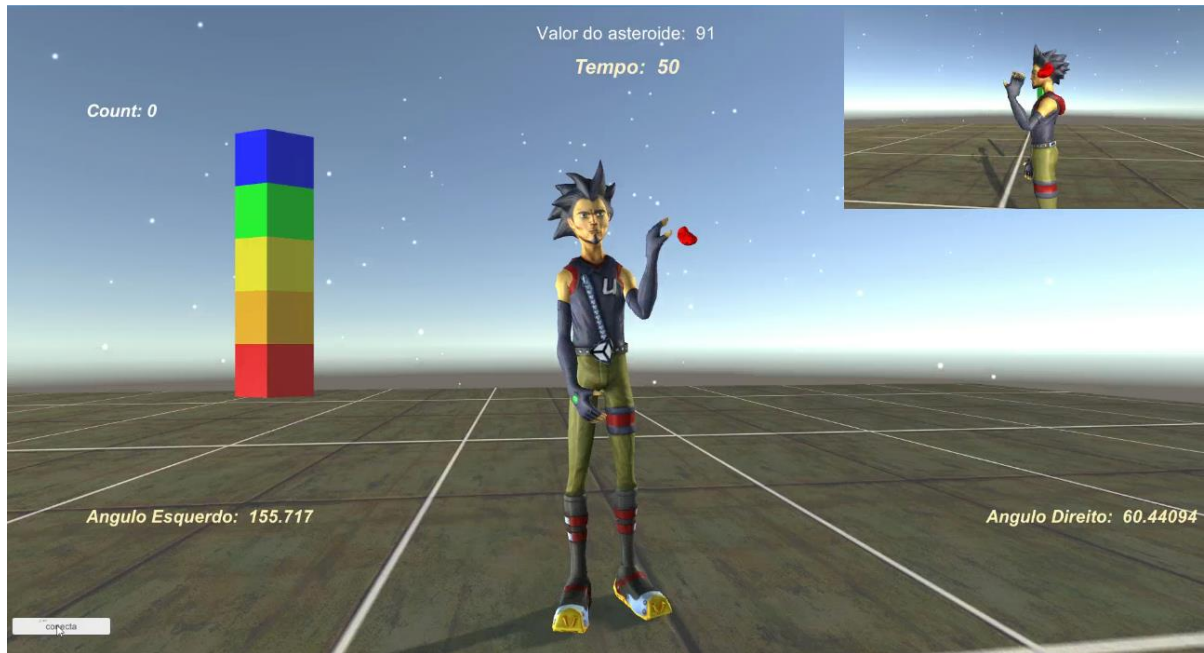


Figura 17: Tela do Ambiente de RV interativo mostrando o segundo jogo, com o braço esquerdo.

No terceiro jogo aparecem os mesmos alvos do segundo jogo, mas neste caso devem ser realizados movimentos com ambos os braços (Figura 18).

O treinamento funcional do membro superior de um paciente com AVC é focado principalmente no membro afetado, com exercícios de fortalecimento unilaterais ou treinamento funcional. No entanto, muitas tarefas diárias, naturalmente, exigem a participação coordenada de ambas às mãos.

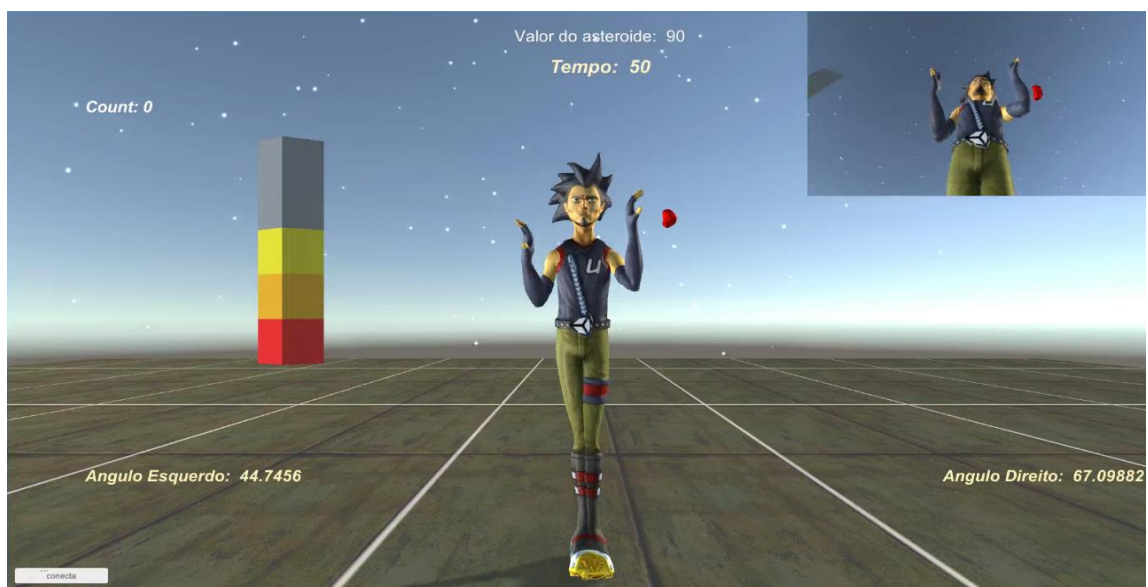


Figura 18: Tela do ambiente de RV interativo desenvolvido para o terceiro jogo. Aqui o usuário joga utilizando os dois braços simultaneamente.

Nos jogos cada um dos asteroides gira constantemente, chamando a atenção do paciente e explodindo cada vez que são atingidos, gerando assim um feedback sonoro e visual.

Quando o jogo termina, o sistema vai para a última janela, onde é mostrado o resumo da pontuação obtida pelo paciente e a possibilidade de gravar os dados (opção de “salvar”), jogar de novo (opção de novo jogo) ou sair do sistema (opção de sair) (Figura 19).



Figura 19: Tela do resumo do desempenho do paciente no ambiente RV.

Para apresentar o biofeedback de sEMG na tela os dados são processados para mostrar o nível de contração muscular realizado pelo paciente, de acordo com o movimento requerido para alcançar o alvo.

As informações são mostradas graficamente ao paciente, com a finalidade de gerar um biofeedback. O sistema mostra cinco diferentes níveis de atividade muscular; a mais fraca é mostrada em cor vermelho, aumentando para a cor laranja, amarelo e verde até chegar ao nível máximo de atividade, que é mostrado em cor azul. Também é possível visualizar o ângulo alcançado durante o jogo, o tempo e a pontuação obtida (Figura 20).



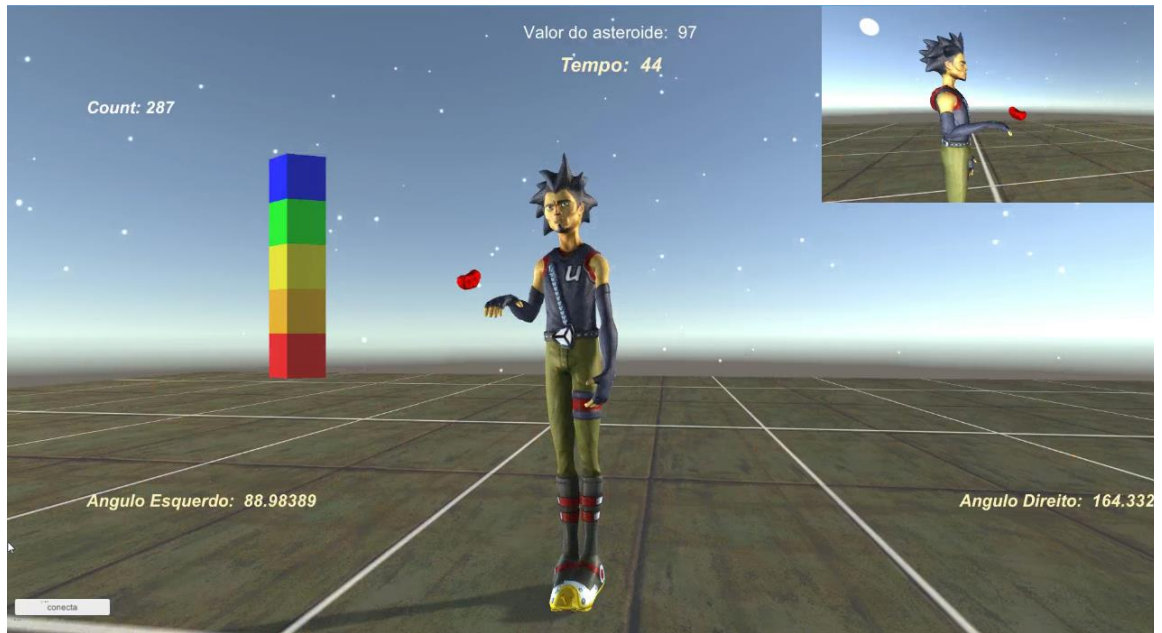


Figura 20: Feedback gerado pelo sistema para o paciente e para o profissional de reabilitação

## 8 Metodologia dos experimentos

### 8.1 Participantes da pesquisa

A amostra foi composta por indivíduos sem acometimento motor ou neurológico.

Na etapa 2 a amostra foi composta por 9 indivíduos sendo cinco do sexo masculino (idade:  $\pm 28$  anos DP  $\pm 3,31$ ) e quatro do sexo feminino (idade:  $\pm 30$  anos DP  $\pm 5,47$ ).

Na etapa 3, vinte e oito indivíduos participaram dos experimentos, 14 do sexo masculino (idade:  $\pm 28,57$  anos DP  $\pm 5,41$ ) e 14 do sexo feminino (idade:  $\pm 29,14$  anos DP  $\pm 9,92$ ). Esta etapa também contou com a participação de cinco profissionais de reabilitação (quatro terapeutas ocupacionais e um fisioterapeuta).

Os testes foram realizados no Laboratório de Automação Inteligente (LAI) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), campus Goiabeiras.

Para a seleção dos voluntários, os seguintes critérios inclusão foram estabelecidos:

- indivíduos de ambos os sexos;
- sem acometimento neurológico e ou motor no membro superior;
- não apresentar problemas auditivo ou visual;
- possuir habilidades cognitivas e de linguagem suficientes para entender e seguir as instruções.

De acordo com as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos, definida pela Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, e em suas normas complementares, e como o comitê de ética aprovado (ANEXO B) foi solicitada a assinatura do termo de livre consentimento e esclarecimento (APÊNDICE D) para voluntários de ambos os grupos.

## 8.2 Métodos de avaliação

A final dos experimentos foram aplicados os seguintes questionários: para avaliar o protótipo do sistema quanto à aplicabilidade, funcionalidade e usabilidade:

- *System Usability Scale* - SUS (ANEXO C) com o objetivo de avaliar o sistema de reabilitação nas seguintes características: facilidade no uso e necessidade de auxílio profissional ao usá-lo (BROOKE, 2013).
- *Goal Attainment Scale* - GAS (ANEXO D e E) para avaliar a medida do alcance dos alvos individualizados de cada usuário durante a intervenção (KRASNY-PACINI, 2013).

A pontuação do SUS (BROOKE, 2013) é feita da seguinte forma:

- Para cada um dos 10 itens do questionário SUS é atribuído um valor que varia de 0 a 5;
- Para os itens ímpares (que são itens formulados positivamente), deve-se subtrair um da resposta do voluntário;
- Para os itens de número par (que são itens formulados negativamente), deve-se realizar a subtração de 5 da resposta dada;
- Todas as 10 respostas convertidas de cada usuário são somadas, e o valor obtido é então multiplicado por 2,5, para obter o valor global do SUS, que desta forma poderá variar de 0 a 100.

A pontuação média do SUS é 68. Uma pontuação acima de 68 é considerada acima da média, e valores abaixo de 68 estão abaixo da média (BROOKE, 2013).

Para o cálculo do método GAS, a seguinte equação é utilizada (KRASNY-PACINI et al., 2013):

$$T = 50 + \frac{10 \sum W_i X_i}{\sqrt{[(1-\rho) \sum W_i^2 + \rho (\sum W_i)^2]}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde  $X_i$  = valores para cada objetivo,  $W_i$  = peso de cada objetivo,  $\rho$  = coeficiente de correlação entre os objetivos. Porém, esta equação pode ser simplificada quando

todos os objetivos do GAS têm o mesmo peso em importância e em dificuldade (como é o caso deste trabalho), sendo dado por:

$$T = 50 + C \cdot \sum X_i, \quad \text{Equação (2)}$$

Onde o valor de  $C$  varia conforme o número de objetivos.  $C$  tem valor 10 para um objetivo, valor 6,2 para dois objetivos, 4,56 para três objetivos, 3,63 para quatro objetivos e 3,01 para cinco objetivos (KRASNY-PACINI et al., 2013):

Neste trabalho foram definidos os seguintes objetivos: desempenho alcançado (quantidade de acertos ou pontuação), tempo necessário para adaptação do participante ao sistema, tempo necessário para configuração do sistema e a facilidade de uso do sistema desenvolvido.

Se o valor de  $T = 50$ , significa que os objetivos foram atingidos como esperado;  $T < 50$  significa que o resultado foi pior que o esperado; e por fim  $T > 50$  significa que o resultado foi melhor do que o esperado.

A pontuação de cada objetivo é dada da seguinte forma: -2 quando o resultado é muito pior que o esperado; -1 quando é pior que o esperado; 0 quando igual ao esperado; +1 quando melhor que o esperado; e +2 quando muito melhor que o esperado.

Esses questionários foram aplicados no grupo de participantes e nos profissionais de reabilitação envolvidos no processo.

### **8.3 Processamento dos Sinais Mioelétricos**

Com a finalidade de remover, do sinal sEMG, os ruídos e artefatos do entorno, um filtro passa-banda, IIR tipo *Chevyshev*, foi utilizado. O filtro possui frequências de corte inferior a 10Hz e superior a 250Hz, respectivamente. Adicionalmente, as

interferências da rede elétrica de 60Hz e o harmônico de 180Hz foram removidos mediante filtros Notch, ambos do tipo IIR *Elliptic*. Cada canal dos sinais de sEMG foi normalizado pelo pico máximo da amplitude do sinal.

O sinal foi processado digitalmente, e a envoltória do sinal foi obtida para cada canal, com o valor da raiz média quadrática (do inglês Root Mean Square - RMS) calculada e armazenado. E o valor RMS utilizado para avaliar o nível de atividade do sinal sEMG, foi utilizado um intervalo de tempo observar alterações no sinal sEMG no domínio do tempo. (MARCHETTI; DUARTE, 2006) sendo o sinal segmentando mediante uma janela deslizante de 500 amostras consecutivas. Frequência de amostragem de 1Hz.

A envoltória do sinal é transformada em um conjunto de valores discretos usando o algoritmo de agrupamento de *K-Means Clustering*. O objetivo deste algoritmo é encontrar similaridades entre os dados e formar conjuntos a partir dessa semelhança. O conjunto de dados com valores menores indica a existência de momentos de inatividade muscular, e, conseqüentemente, os conjuntos com valores maiores indicam momentos de ativação muscular (DEN OTTER et al., 2007). Neste trabalho foi utilizado um valor de  $K = 5$ . Os cinco conjuntos de dados gerados foram usados para fornecer o biofeedback visual na tela do computador.

#### **8.4 Análise Estatística**

Para o tratamento dos dados foi realizada uma análise descritiva. Os dados são apresentados em média e desvio padrão. Para verificar se os dados seguem a distribuição normal foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk (teste W).

Se o valor de  $W_{calc}$  for menor que o valor crítico  $W_t$  obtido na tabela dos valores críticos para o teste de Shapiro-Wilk, em função do tamanho da amostra ( $n$ ) e do nível de significância preestabelecido, rejeita-se a hipótese  $H_0$ , e conclui-se que os

dados não seguem a distribuição normal; caso contrário, aceita-se  $H_0$  (FONTELLES, 2012). Ou seja, amostras com valor- $p \geq 0,05$  têm distribuição normal e  $p < 0,05$  não têm distribuição normal.

Para testar a hipótese de diferença entre as amostras, foi utilizado o teste  $U$  de Wilcoxon-Mann-Whitney. O Teste  $U$  de Wilcoxon-Mann-Whitney é um teste não-paramétrico, sendo utilizado para comparar se duas amostras independentes e de tamanhos iguais provêm de uma mesma distribuição. Este teste pode ser usado quando a população estudada não assume o padrão da distribuição normal gaussiana (FONTELLES, 2012). Foi considerado como estatística significativa o valor  $p < 0,05$ , com intervalo de confiança de 95%. Para a visualização dos dados, foram elaborados gráficos e/ou tabelas. Os resultados dos dados foram discutidos à luz de estudos científicos tomados como referência na literatura científica da área, correlacionando os achados da pesquisa com o referencial teórico revisado.

## 8.5 Protocolo Experimental

Neste estudo todo o procedimento de aquisição e processamento dos sinais mioelétricos baseou-se nas recomendações do SENIAM (HERMENS et al., 2000). Os registros de sEMG foram feitos com o uso de eletrodos de Ag/AgCl, formato discoide, diâmetro de 10 mm e com gel condutivo adesivo.

Para registrar a ativação muscular, o eletrodo foi posicionado no tríceps braquial (TB) e no bíceps braquial (BB), responsáveis pela extensão e flexão do cotovelo, respectivamente (Figura 21). O eletrodo de referência foi colocado no processo estilóide da ulna na primeira etapa do protocolo e, a partir da segunda etapa no olecrano do ulna.

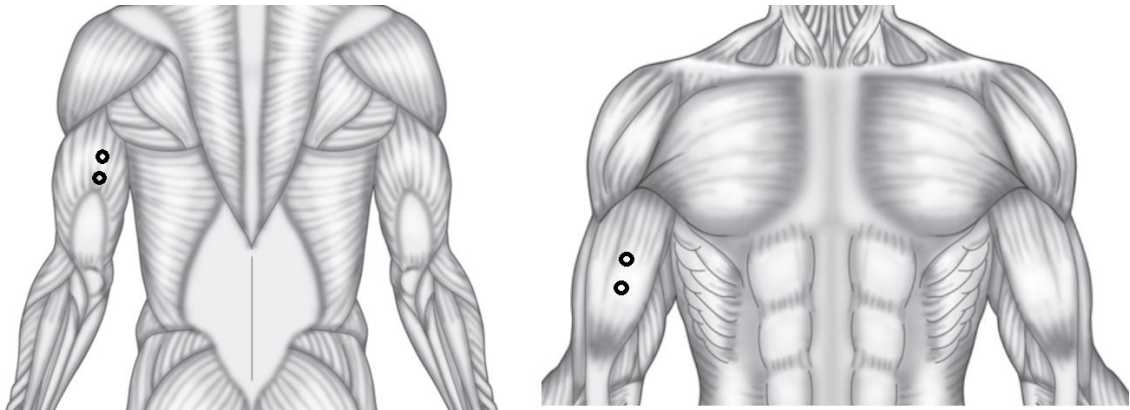


Figura 21: Posição dos eletrodos para aferição de sEMG sobre o músculo BB e TB (CRISWELL, 2011).

Após a identificação do local correto de fixação dos eletrodos, foi realizada a tricotomia da região definida, abrasão da pele e limpeza com álcool 70%. Em seguida foi feita a colocação de dois eletrodos no mesmo músculo, seguindo a direção da fibra muscular, e mantendo uma distância inter-eletrodo de 20 mm.

O eletrodo de referência foi posto no processo estiloide da ulna, na segunda etapa do protocolo, e, a partir da terceira etapa, no olecrano, sem o contato do mesmo com fibras musculares (HERMENS et al., 2000). O correto posicionamento dos eletrodos sobre o músculo foi realizado por dois profissionais da área, havendo concordância da posição por ambos.

Embora o rendimento do tríceps braquial não seja influenciado pelas posições de pronação e supinação do antebraço (HAMILL; KNUTZEN, 2009), neste estudo foi padronizado que a interação com o ambiente virtual seja realizada com o antebraço pronado, uma vez que este é o padrão geralmente encontrado em indivíduos acometidos por AVC.

## 8.6 Experimentos da Etapa 2

Durante todo o experimento o participante permaneceu de pé a uma distância entre 1,5 e 3,5 metros do dispositivo Kinect. O sinal mioelétrico foi adquirido no músculo bíceps braquial (BB) e tríceps braquial (TB). O eletrodo de referência foi colocado no processo estilóide da ulna. Os registros de sEMG foram feitos através do equipamento EMG System do Brasil Ltda.®, usando uma frequência de amostragem de 1 kHz.

Cada jogo tem duração de 30 segundos, e foram realizadas duas repetições com o braço direito, duas com o braço esquerdo, e duas com ambos os braços, totalizados 10 repetições. Como cada jogo tem sete alvos virtuais, em cada jogo o voluntário tem sete chances de acerto, totalizando 70 pontos.

A sessão teve duração máxima de 50 minutos, entre preparação do participante, tempo de adaptação ao sistema, jogar, intervalos e questionários.



## 9 Resultados e Discussão dos Experimentos

### 9.1 Resultados e discussão da etapa 2

Nove indivíduos sem acometimento motor participaram dos experimentos, sendo cinco do sexo masculino e quatro do sexo feminino, todos destros. A Tabela 1 apresenta as características de cada um dos nove participantes.

Tabela 1: Características de cada indivíduo. M: masculino; F: feminino; D:destro; C:canhoto

Participante	Idade	Sexo	Dominância motora
P1	25	M	D
P2	24	F	D
P3	37	F	D
P4	31	F	D
P5	33	M	D
P6	28	M	D
P7	29	M	D
P8	28	F	D
P9	25	M	D
Média	±28,88		
Desvio Padrão	±4,22		

Cada participante tinha 30 segundos para alcançar os sete alvos virtuais propostos por jogo. O total de alvos virtuais a serem alcançados foram 70. A Tabela 2 mostra a quantidade de acertos de alvos virtuais por voluntário.

Tabela 2: Quantidade de acertos somando os jogos 1,2 e 3

<b>Voluntário</b>	<b>Quantidade de acertos</b>	<b>Porcentagem de acertos</b>
P1	66	94,29%
P2	63	90,00%
P3	63	90,00%
P4	60	85,71%
P5	66	94,29%
P6	62	88,57%
P7	67	95,71%
P8	64	91,43%
P9	65	92,86%
Média	64	91,43%
Desvio padrão	±2,108	±3,010

Para testar o Ambiente de RV nesta etapa, a pontuação era independente do tempo que o usuário levava para acertar o objetivo virtual, e neste sentido, cada acerto valia um ponto. Vale ressaltar que esta informação não estava disponível para o usuário.

Para induzir mudanças na neuroplasticidade e na recuperação funcional de déficits motores de pacientes pós-AVC é necessário realizar um grande quantidade de movimentos (LOHSE et al., 2014). Assim, um dos objetivos do sistema proposto é aumentar a quantidade de movimentos realizados durante o processo de reabilitação, sendo que o sistema desenvolvido neste trabalho é capaz de proporcionar 10 movimentos completos de extensão do cotovelo e antebraço em um intervalo de 4 minutos.

Para avaliar o nível de contração do músculo do participante da pesquisa, o sinal mioelétrico bruto passou por retificação de onda completa, gerando um valor absoluto do sinal de sEMG, o qual propicia uma boa indicação do nível de contração do músculo (WINTER, 2009).

A figura 22 descreve o processamento, do sinal mioelétrico filtrado e retificado (mostrado em azul). A envoltória do sinal é representada pelo traço preto; e o agrupamento de cada amostra é representado mediante um gráfico de barras cinza, o qual representa os cinco conjuntos com amostras agrupadas.

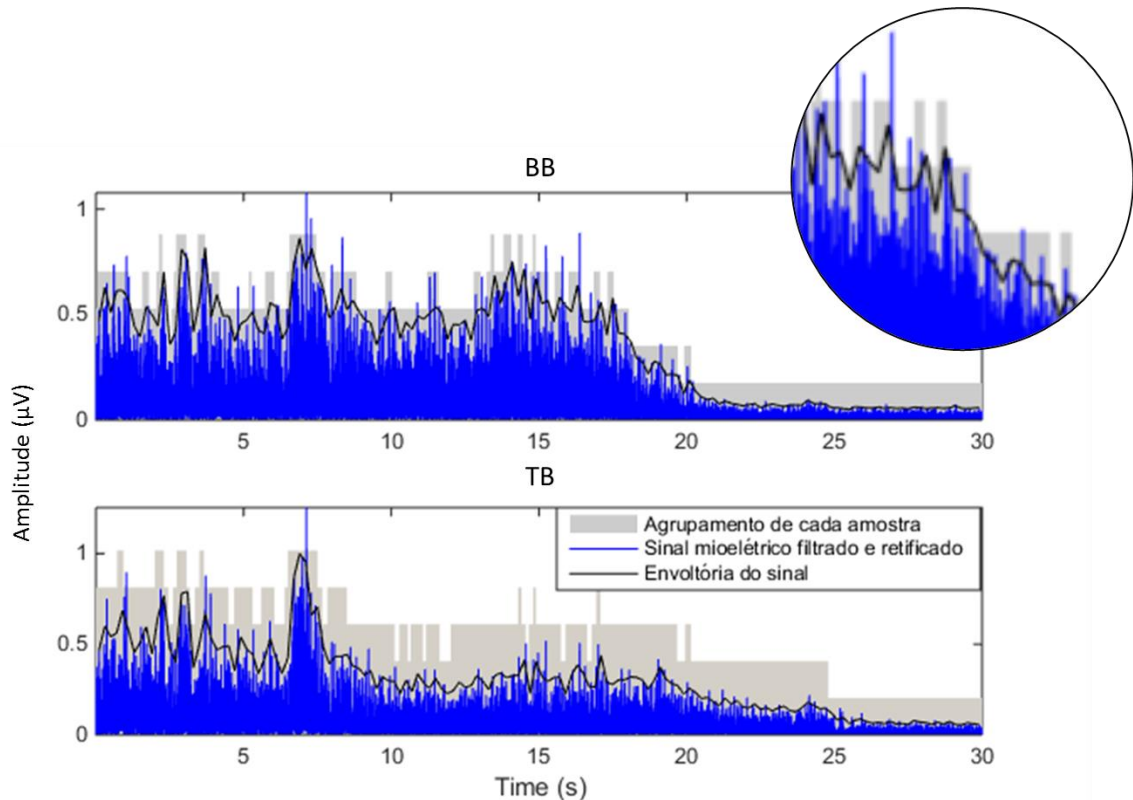


Figura 22: Sinais mioelétricos processados. Sinais capturados nos músculos BB (gráfico superior) e TB (gráfico inferior) durante o jogo 1 (experimento 2 (E2) realizado pelo participante 1 (P1)).

O biofeedback do sinal *sEMG* é apresentado na forma visual ao participante da pesquisa de acordo com o nível de ativação muscular realizado. Esta informação, sobre a contribuição dos músculos superficiais durante o movimento, permite que o profissional de reabilitação faça uma avaliação criteriosa referente ao tempo de ativação muscular durante o exercício (CAMPANINI, 2007).

Os cinco conjuntos de dados gerados a partir do processamento dos sinais mioelétricos são usados para fornecer o biofeedback visual na tela do computador, onde cada grupo corresponde a um nível, e cada nível a uma porcentagem de ativação muscular atingida durante o movimento realizado. O biofeedback visual é apresentado na forma de gráfico de barras, onde cada cor representa um nível de ativação muscular alcançada,

A Tabela 3 mostra a ativação muscular máxima em  $\mu V$ , dos músculos BB e TB para cada participante, representado pela letra P seguida do número (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9), alcançada durante os três jogos, em dois momentos distintos: experimento 1 (E1), e experimento 2 (E2). Para os jogos 1 e 2 são apresentados

apresentamos também os resultados alcançados com o braço dominante (BD) e com o braço não dominante (BND).

Tabela 3: Ativação muscular máxima dos músculos BB e TB alcançada durante os jogos 1,2 e 3. BB: Bíceps Braquial; TB: Tríceps Braquial; BD: Braço Dominante; BND: Braço não dominante; E1: Experimento 1; e E2: Experimento 2

Participante	Experimento	Jogo 1				Jogo 2				Jogo 3	
		BB		TB		BB		TB		BB	TB
		BD	BND	BD	BND	BD	BND	BD	BND	BD	BD
P1	E1	0,881	1,149	1,017	1,685	1,524	1,687	0,916	1,056	6,194	1,194
	E2	0,689	1,605	0,978	1,535	2,216	2,343	2,395	1,041	1,166	0,644
P2	E1	1,166	1,149	0,819	1,685	2,582	2,582	0,813	0,954	0,883	0,787
	E2	1,205	1,205	1,512	1,512	1,651	2,872	1,440	1,765	0,928	0,833
P3	E1	0,581	2,359	0,566	2,484	1,682	1,596	0,418	1,112	1,069	1,098
	E2	0,949	1,369	2,514	1,660	2,022	2,469	4,045	3,065	0,928	0,833
P4	E1	1,826	1,826	1,957	1,959	3,481	1,300	1,367	1,35	0,832	0,708
	E2	2,33	1,922	1,917	4,015	4,475	1,706	1,561	1,052	0,469	0,641
P5	E1	1,564	1,903	2,026	2,933	1,856	4,702	1,481	6,448	2,064	1,039
	E2	0,776	2,683	0,688	5,627	2,616	4,249	2,745	5,467	1,560	1,228
P6	E1	1,028	1,072	0,813	0,813	1,166	1,166	0,906	0,906	1,347	1,078
	E2	0,728	0,728	1,238	1,238	1,377	0,956	0,959	1,144	2,507	0,898
P7	E1	0,849	2,377	1,063	1,545	0,490	1,094	0,713	0,668	0,838	1,015
	E2	0,528	0,917	0,734	1,053	0,552	0,818	0,760	0,899	0,768	2,311
P8	E1	1,758	2,763	1,097	0,943	2,362	1,358	1,426	1,675	1,532	1,595
	E2	1,919	1,382	3,628	2,396	1,754	0,933	1,874	3,110	0,847	1,189
P9	E1	1,314	0,919	1,467	1,497	1,589	1,489	1,096	1,511	0,597	1,424
	E2	0,811	0,701	0,892	0,789	0,556	1,250	0,759	1,947	0,603	0,748

O padrão geralmente encontrado no membro superior hemiparético é flexor, com flexão do cotovelo e pronação de antebraço (FERREIRA, 2012). É também provável que ocorra espasticidade nos flexores do cotovelo. Assim, para manter a amplitude articular funcional, é necessário que os extensores do cotovelo consigam vencer a espasticidade (O'SULLIVAN; SCHMITZ, 2006). Desta forma durante o processo de reabilitação, um dos objetivos dos jogos propostos é motivar o paciente a realizar o movimento de extensão do cotovelo.

Neste estudo, para coletar os dados de sEMG relativos ao movimento de extensão do cotovelo, os eletrodos foram posicionados no tríceps braquial. Embora este

músculo tenha grande potencial de força e capacidade de trabalho, devido ao seu volume, em pacientes pós-AVC com hemiparesia do membro superior ele apresenta fraqueza. Por outro lado, para registrar os sinais mioelétricos dos movimentos de flexão, os eletrodos foram posicionados no bíceps braquial (HAMILL; KNUTZEN, 2009).

A Figura 23 mostra a ativação muscular máxima dos músculos BB e TB para cada participante alcançada durante o jogo 1, no experimento 1 (E1) e no experimento 2 (E2) respectivamente, em duas situações distintas usando braço dominante (BD) e usando o braço não dominante (BND).

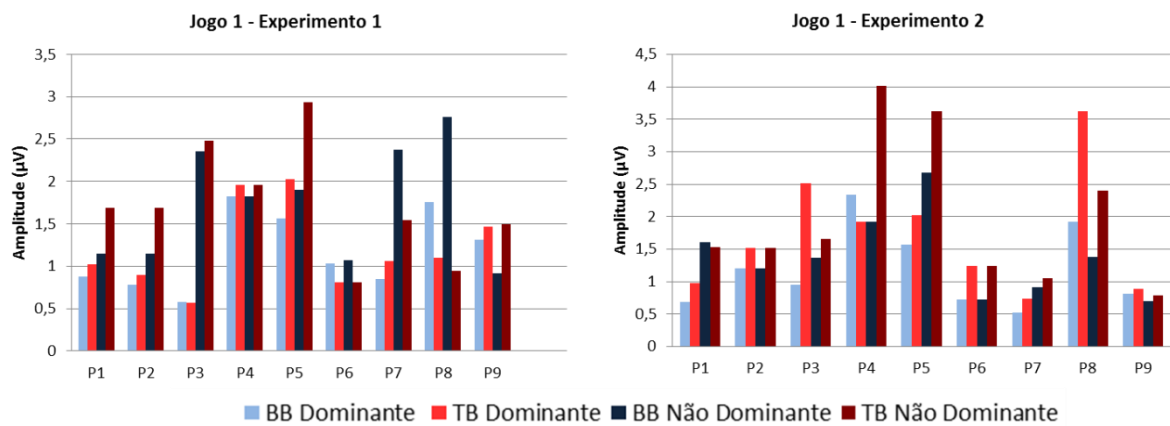


Figura 23: Ativação muscular máxima dos músculos BB e TB para cada participante alcançada durante o jogo 1 no E1 e E2 respectivamente.

Analisando os gráficos da Figura 23 gerados a partir dos dados coletados durante o jogo 1, foi possível observar que no E1, sete dos nove participantes (77,77%) alcançaram uma maior ativação muscular do TB quando jogavam com o braço dominante. E quando o jogo foi realizado com o braço não dominante seis participantes (66,66%) alcançaram uma maior ativação muscular do TB quando comparado com o BB.

No experimento 2, tanto com o BD quanto com o BND, oito dos nove participantes (88,88%) alcançaram uma ativação muscular máxima maior TB quando comparado com o BB.

O jogo 2 apresenta uma maior complexidade, já que os alvos virtuais aparecem de maneira independente e em sequência. Somente após atingir o primeiro objetivo virtual é que o segundo objetivo aparece. Assim o jogador precisa localizar cada objetivo no instante em que ele aparece e ajustar o posicionamento do braço para alcançá-lo.

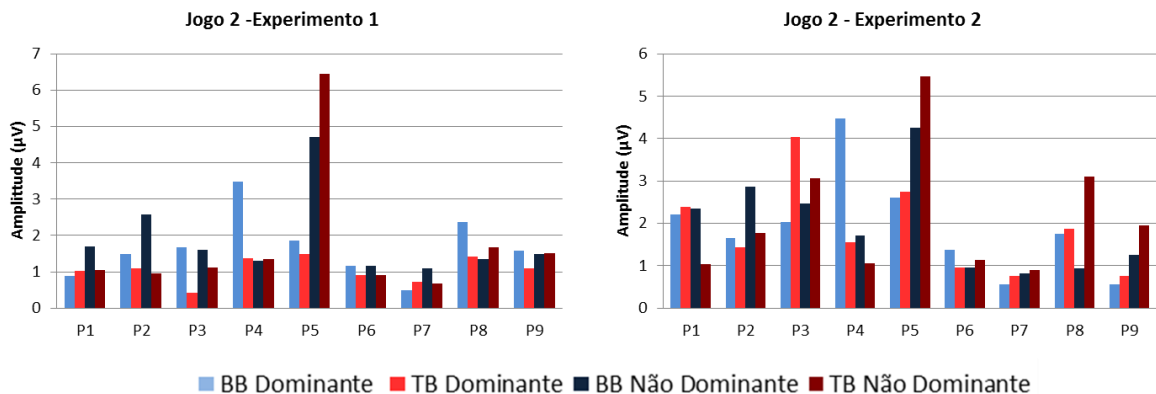


Figura 24 - Ativação muscular máxima dos músculos BB e TB para cada participante alcançada durante o jogo 1 no E1 e E2 respectivamente.

No jogo 2 experimento (E1) de acordo com o gráfico da Figura 24 apenas P1 e P7 (22,22%) apresentaram maior ativação muscular no TB quando jogaram com o BD, e quatro dos nove participantes (44,44%) quando jogaram com o BND. No E2, analisando o gráfico correspondente tanto quando os voluntários jogaram com o BD quanto com o BND, a maior ativação muscular do TB foi verificada em seis dos nove participantes (66,66%).

No terceiro jogo, os alvos aparecem de igual forma que no segundo, mas nesta oportunidade intervêm movimentos com ambos os braços, aumentando a complexidade de planejamento motor do movimento desejado.

Na Figura 25 pode-se ver a ativação muscular máxima dos músculos BB e TB para cada participante alcançada durante o jogo 3, no experimento 1 (E1) e no experimento 2 (E2) respectivamente.

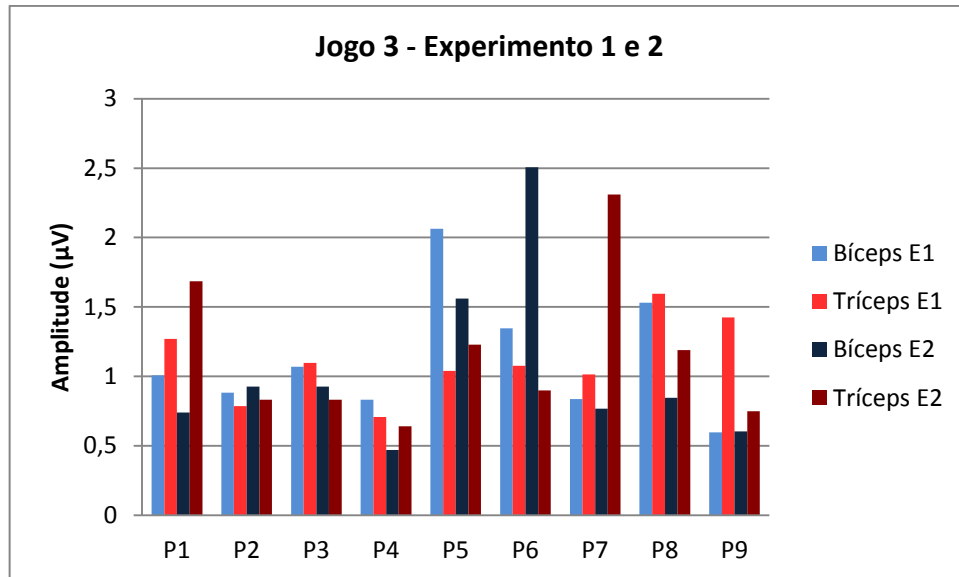


Figura 25: Ativação muscular máxima dos músculos BB e TB, para cada participante, alcançada durante o jogo 3 no E1 e E2.

No jogo 3, tanto no E1 quanto no E2, cinco dos nove participantes (55,55%) apresentaram ativação muscular máxima maior no TB.

Analisando os vídeos dos experimentos e os gráficos dos sinais capturados nos jogos 2 e 3, foi possível observar; que quando o músculo BB apresenta uma maior pico de ativação durante o jogo, é devido ao deslocamento do participante, já que quando ele se desloca, ele perde a posição adequada para alcançar o alvo virtual, e por este motivo, ele realiza flexões vigorosas do cotovelo ativando o músculo BB. Por outro lado quando ele encontra novamente a posição adequada para alcançar os alvos virtuais, volta ao movimento de extensão, ativando assim o músculo TB.

Na extensão do cotovelo, o TB é o agonista e o BB é o antagonista. O antagonista possui o potencial para opor-se ao agonista, pois produz contração excêntrica, ao mesmo tempo em que o agonista realiza o movimento. A co-contração ocorre quando o agonista se contrai ao mesmo tempo em que o antagonista, sendo produzida quando há necessidade de exatidão. As co-contrações são comuns quando uma pessoa está aprendendo uma tarefa, especialmente se for difícil; mas, à medida que se aprende a tarefa, a atividade de co-contração tende a desaparecer (HALL, 2014; LIPPERT, LYNN, 2003).

Analisando os gráficos dos sinais mioelétricos gerados durante os três jogos, foi possível observar a co-contração TB\BB. Nas Figuras 26, 27 e 28 apresentam-se os gráficos dos sinais de P1 no E1, durante os jogos 1, 2 e 3 respectivamente.

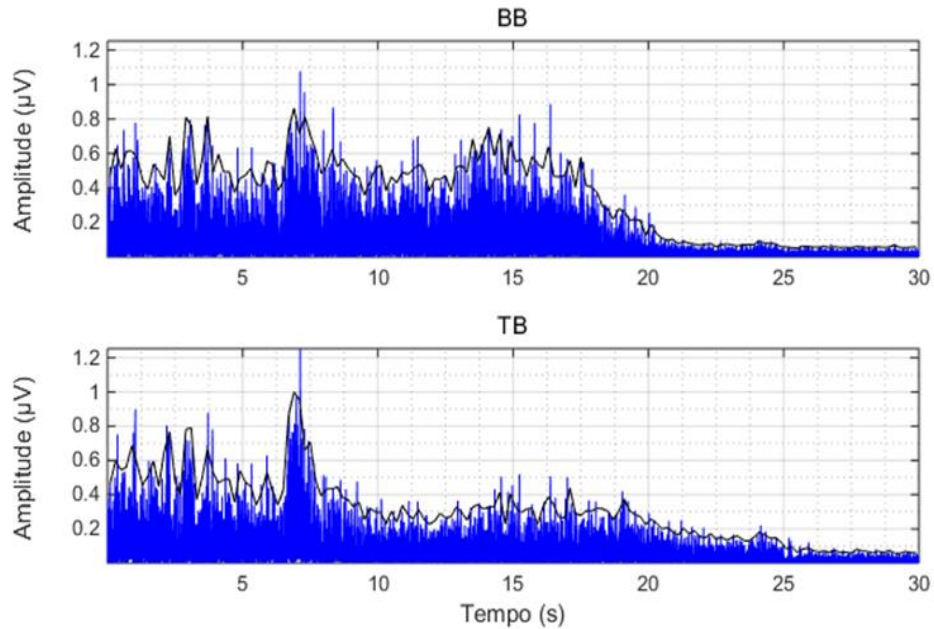


Figura 26: Gráfico do sinal mioelétrico mostrado a co-contração TB\BB durante o jogo1.

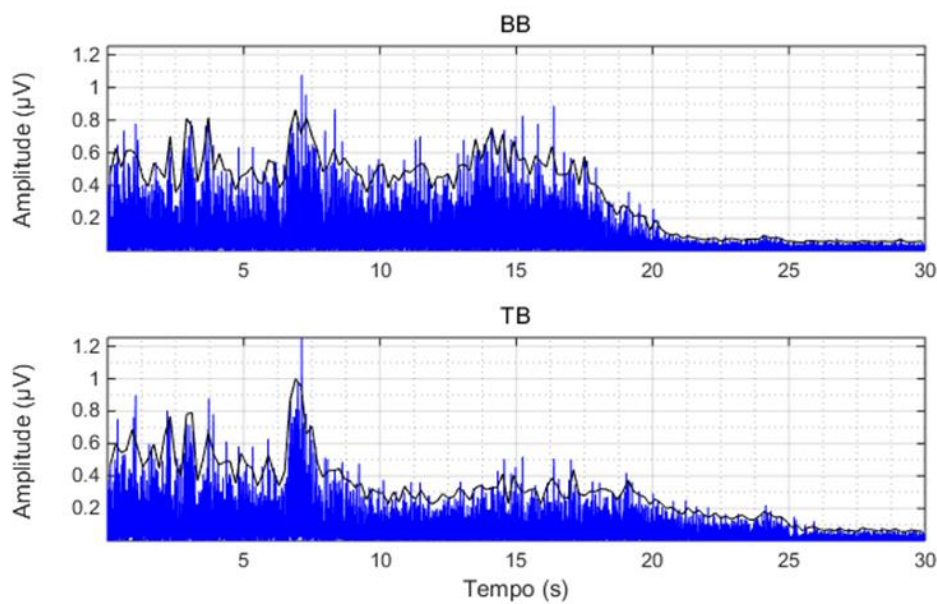


Figura 27: Gráfico do sinal mioelétrico mostrado a co-contração TB\BB durante o jogo2.



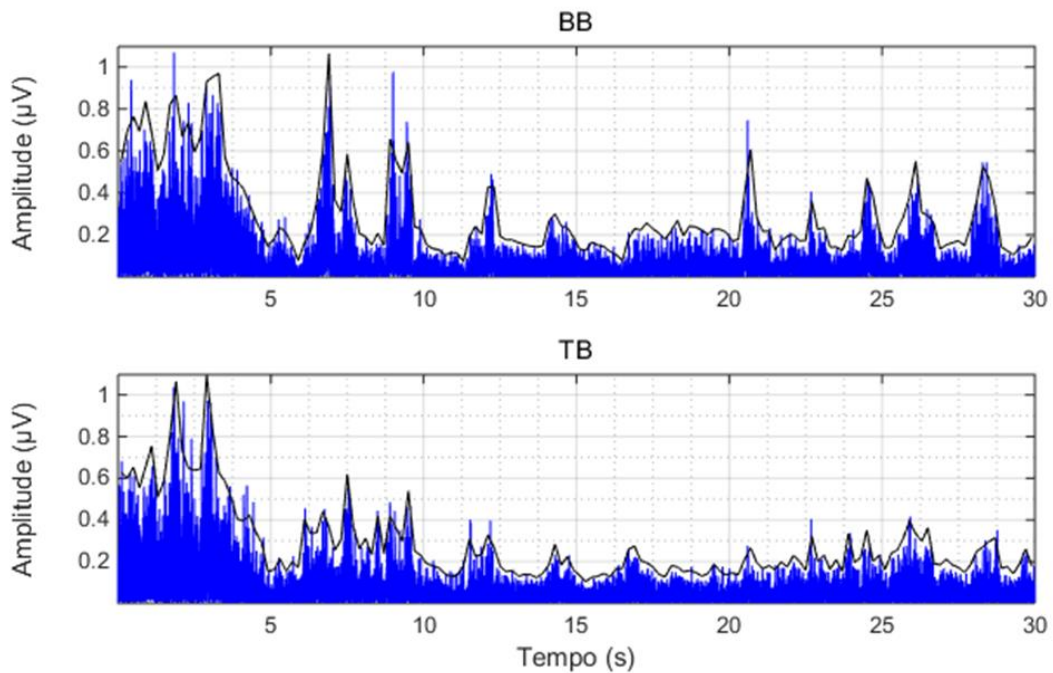


Figura 28: Gráfico do sinal mioelétrico mostrado a co-contração TB\BB durante o jogo3.

Os resultados de eletromiografia mostram que o sistema proposto neste trabalho é capaz de promover a ativação do músculo TB nos movimentos de extensão do cotovelo, e ativação do BB na flexão. Adicionalmente foi possível visualizar a co-contração agonista\antagonista dos músculos BB e TB. Estes resultados permitem que o profissional de reabilitação possa realizar análises quantitativas e qualitativas do processo de reabilitação.

Com vista a aprofundar no estudo da eletromiografia a fim de realizar uma análise mais consistente, foi decidido acrescentar na segunda etapa uma análise cinemática a partir do ângulo do movimento, relacionando ao nível de ativação muscular com o ângulo alcançado.

Após os experimentos, os participantes responderam ao questionário SUS (*System Usability Scale*), com o objetivo de avaliar o sistema de reabilitação nas seguintes características: facilidade no uso e necessidade de auxílio profissional ao usá-lo (BROOKE, 2013). Por fim, foram avaliados os objetivos esperados durante o uso do ambiente de RV relativos ao desempenho (quantidade de acertos) e tempo necessário para adaptação do participante ao sistema, através da escala GAS (*Goal Attainment Scale*) (KRASNY-PACINI, 2013).

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos pelos métodos de avaliação SUS e GAS para os experimentos realizados.

Tabela 4: Valores dos métodos de avaliação SUS e GAS

<b>Participante</b>	<b>SUS</b>	<b>GAS</b>
P1	92,50	74,80
P2	80,00	74,80
P3	87,70	74,80
P4	67,50	68,60
P5	82,50	74,80
P6	90,00	74,80
P7	50,00	74,80
P8	95,00	68,60
P9	85,00	74,80
Média	±81,13	±73,37
Desvio padrão	±3,40	±2,73

A pontuação média do SUS é 68, sendo que valores acima de 68 são considerados acima da média, e abaixo de 68 são abaixo da média (BROOKE, 2013). O valor do SUS proporcionado pelos voluntários P4 e P7 foi abaixo da média. Para os demais voluntários o valor foi acima de 80, indicando que o ambiente de realidade virtual foi classificado como “útil”, segundo a escala SUS.

Para o método GAS quando o valor de  $T = 50$  significa que os objetivos foram atingidos como esperado  $T < 50$ , resultado foi pior que o esperado, e  $T > 50$  o resultado foi melhor do que o esperado (KRASNY-PACINI, 2013). Os valores do  $T$  obtidos foram todos acima de 68,60 (tabela 4). Assim, de acordo com os resultados obtidos na realização dos experimentos verificou-se que os objetivos foram alcançados em uma taxa maior do que o esperado, para todos os voluntários.

### 8.7 Experimentos da etapa 3

Durante os experimentos da etapa 3 o participante permaneceu de pé a uma distância entre 1,5 e 3,5 metros do dispositivo Kinect. Os sinais mioelétricos foram adquiridos, no músculo tríceps braquial (TB) e o eletrodo de referência foi colocado no processo estilóide da ulna.

Para a aquisição de sinais mioelétricos desta etapa foi usado o equipamento BrainNet<sup>®</sup> BNT-36, devido à facilidade de comunicação com o computador, pois este equipamento permite armazenar os dados em arquivos e ter acesso a eles para uso do sistema aqui proposto. O BNT-36 é também baseado nos requisitos gerais de segurança para equipamentos médicos, e possui a aprovação das entidades responsáveis pela regulação de produtos médicos no Brasil (INMETRO e ANVISA). Esse equipamento possibilita a aquisição de dados em até 36 canais simultaneamente, existindo 10 canais, configuráveis como bipolares, os quais podem ser utilizados para eletromiografia. Nesta etapa foi possível implementar o processamento do sinal on-line.

A sessão teve duração máxima de 50 minutos, entre preparação do participante, tempo de adaptação ao sistema, jogar, intervalos e questionários.

Cada jogo tem duração de 1 minuto e foram realizados um experimento com o braço direito e um com o braço esquerdo, e uma repetição com ambos os braços totalizados 3 repetições. Como em cada jogo o voluntário tem sete chances de acerto. Nesta oportunidade cada participante tem à sua disposição 21 chances de acerto.

## 9.2 Resultados e discussão da etapa 3

Vinte e oito indivíduos sem acometimento motor participaram dos experimentos, 14 do sexo masculino (Idade:  $\pm 28,57$ anos DP  $\pm 5,41$ ) e 14 do sexo feminino (idade:  $\pm 29,14$  anos DP  $\pm 9,92$ ). A Tabela 5 apresenta as características de cada um dos 28 participantes.

Tabela 5: Características de cada indivíduo. M: Masculino; F: Feminino; D: Destro; C:Canhoto

Participante	Idade	Sexo	Dominância motora
P1	23	F	D
P2	28	F	D
P3	35	M	D
P4	23	M	D
P5	28	M	D
P6	25	F	D
P7	29	F	D
P8	24	M	D
P9	37	M	D
P10	20	M	D
P11	34	M	D
P12	32	M	C
P13	33	M	D
P14	27	F	C
P15	31	F	D
P16	25	M	D
P17	24	F	D
P18	29	M	D
P19	33	M	D
P20	23	F	D
P21	33	F	D
P22	22	F	D
P23	60	F	C
P24	24	M	D
P25	24	M	D
P26	36	M	D
P27	20	F	D
P28	24	F	D
<b>Média</b>	<b><math>\pm 31,33</math></b>		
<b>Desvio Padrão</b>	<b><math>\pm 7,88</math></b>		

Os sinais mioelétricos usados para fornecer o biofeedback foram adquiridos apenas no músculo TB, uma vez que o biofeedback visual proporcionado pelo sinal de sEMG foi programado de forma que somente é possível visualizar um canal de cada vez até mesmo para não confundir o usuário. O eletrodo de referência foi colocado no olecrano da ulna, proporcionando um maior conforto ao usuário, uma vez que quando posicionado no estiloide da ulna os fios acabavam por incomodar o usuário.

A motivação idealizada para o jogo pode ser dividida em intrínseca, relacionada à motivação própria do indivíduo, e extrínseca, relacionada a razões externas a ele. A utilização de jogos sérios no tratamento pós-AVC abrange ambas. Vale ressaltar que o paciente torna-se motivado intrinsecamente ao ter uma resposta visual e imediata aos seus avanços no jogo, é o que o motiva a alcançar os objetivos propostos. Já para a motivação extrínseca, um dos elementos mais utilizados são os pontos obtidos no final do jogo. Este teve o intuito de incentivar os jogadores a cumprir os objetivos propostos, assumindo que as pessoas se sentem motivadas, pelo fato de serem desafiadas além de os pontos serem utilizados para indicar o desempenho de cada jogador, gerando um feedback frequente do seu progresso (PASSOS et al., 2013).

Assim, buscando aumentar a motivação extrínseca do usuário, os acertos foram convertidos em pontos, e condicionados ao tempo, da seguinte forma: o jogo começa com cada alvo virtual valendo 100 pontos e, a cada segundo que se passa diminuem-se dois pontos, ou seja, inicia-se a contagem regressiva com 60 segundos sendo que cada alvo atingido resulta em 100 pontos, e aos 58 segundos, cada alvo alcançado gera 98 pontos, e assim sucessivamente.

Foi realizada uma repetição em cada jogo sendo que o participante tem sete chances de acerto no jogo 2, totalizando 14 chances de acerto e 14 no jogo 3.

A pontuação máxima que o participante pode alcançar em cada jogo é de 700 pontos, quando jogando com apenas um dos braços (BD: Braço Dominante ou BND: Braço Não Dominante), entretanto quando jogando com ambos os braços, pode alcançar até 1400 pontos.

A pontuação alcançada e o tempo restante são disponibilizados na tela para visualização do voluntário. A Tabela 6 mostra a pontuação alcançada por cada participante durante os jogos 2 e 3.

Tabela 6 – Pontuação alcançada durante os jogos 2 e 3. BD: braço dominante e BND: braço não dominante.

Participante	Jogo 2				Jogo 3	
	BD		BND		BD/BND	
P1	663	94,71%	664	94,86%	1309	93,50%
P2	534	76,29%	564	80,57%	369	26,36%
P3	669	95,57%	667	95,29%	1206	86,14%
P4	669	95,57%	661	94,43%	1328	94,86%
P5	680	97,14%	674	96,29%	1325	94,64%
P6	668	95,43%	678	96,86%	1338	95,57%
P7	678	96,86%	672	96,00%	1310	93,57%
P8	641	91,57%	646	92,29%	874	62,43%
P9	669	95,57%	675	96,43%	1306	93,29%
P10	665	95,00%	672	96,00%	1298	92,71%
P11	680	97,14%	678	96,86%	1300	92,86%
P12	560	80,00%	667	95,29%	774	55,29%
P13	630	90,00%	556	79,43%	470	33,57%
P14	653	93,29%	670	95,71%	764	54,57%
P15	667	95,29%	668	95,43%	1337	95,50%
P16	672	96,00%	675	96,43%	1334	95,29%
P17	672	96,00%	679	97,00%	1270	90,71%
P18	669	95,57%	685	97,86%	1071	76,50%
P19	674	96,29%	542	77,43%	1284	91,71%
P20	671	95,86%	433	61,86%	1085	77,50%
P21	678	96,86%	648	92,57%	1304	93,14%
P22	655	93,57%	673	96,14%	1356	96,86%
P23	643	91,86%	679	97,00%	1231	87,93%
P24	657	93,86%	669	95,57%	1292	92,29%
P25	675	96,43%	639	91,29%	1315	93,93%
P26	658	94,00%	680	97,14%	1330	95,00%
P27	670	95,71%	675	96,43%	1349	96,36%
P28	677	96,71%	684	97,71%	1333	95,21%
<b>Média</b>	<b>±661,54</b>	<b>±94,51%</b>	<b>±651,73</b>	<b>±93,10%</b>	<b>±1199,38</b>	<b>±85,67%</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>±24,25</b>	<b>±3,46%</b>	<b>±56,54</b>	<b>±8,08%</b>	<b>±227,85</b>	<b>±16,28%</b>

Para avaliar o grau de dificuldade de cada jogo, foi analisado o desempenho alcançado através da pontuação, comparando o BD (braço dominante) X BND (braço não dominante). No AVC, a pessoa acometida pode apresentar comprometimento motor tanto no braço dominante quanto no não dominante, assim, é desejável que um sistema projetado para reabilitação de sequelas motoras relacionadas a esta doença possa ser utilizado tanto com o BD quanto com o BND.

A análise da distribuição dos dados obtidos foi feita através do teste de Shapiro-Wilk, sendo apresentada na Tabela 7. Na Figura 27 é apresentada a distribuição dos dados obtidos em cada jogo

Tabela 7- Análise da distribuição normal - Shapiro-Wilk

	BD	BND	BD/BND
Shapiro-Wilk	0,580	0,608	0,663
Valor P	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Da Tabela 7 como o valor de  $p \geq 0,05$  rejeitou-se a hipótese de normalidade. Assim, com um nível de confiança de 95%, temos evidências de que os dados não seguem uma distribuição normal.

Da Figura 29, através do gráfico do Papel de Probabilidade pode-se ver que os dados não seguem uma distribuição normal. Uma vez que os pontos não se encontram distribuídos em cima da reta

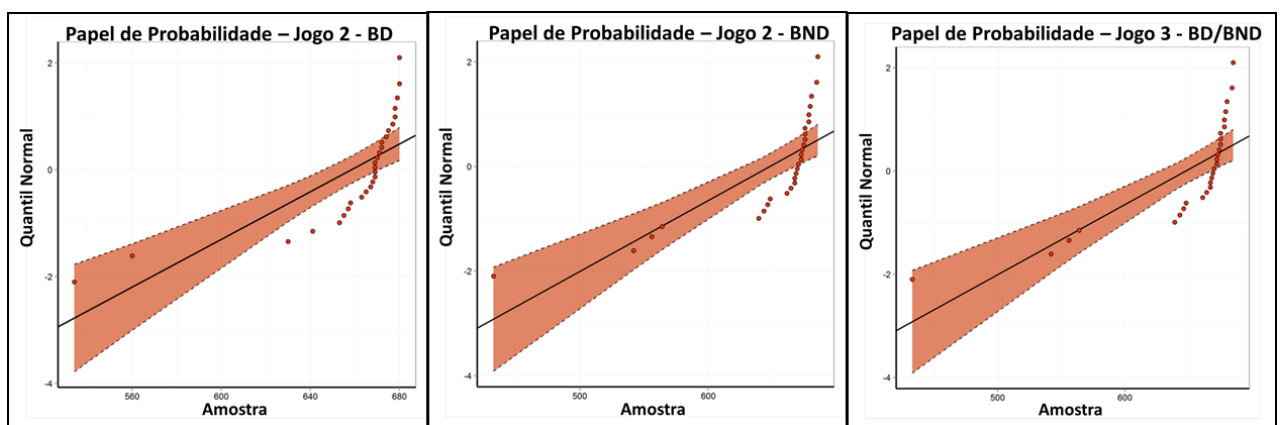


Figura 29: Gráfico do Papel de Probabilidade do conjunto de dados obtidos para cada jogo.

Para testar a hipótese de diferença entre as amostras foi utilizado o teste  $U$  de Wilcoxon-Mann-Whitney, de forma a verificar se o desempenho quando o indivíduo joga com o BD é o mesmo quando ele joga com o BND ou com ambos os braços. Se a hipótese nula, for aceita tem-se que a mediana da diferença é nula, ou seja, jogar com BD não difere de jogar com o BND ou com ambos os braços. Já se a hipótese nula for rejeitada, existe uma diferença significativa (com valor  $p \geq 0,05$  e nível de confiança de 95%) quando o participante joga com o BD, BND ou ambos os braços. A Figura 30 mostra a diferença de desempenho entre o BD x BND para o jogo 2.

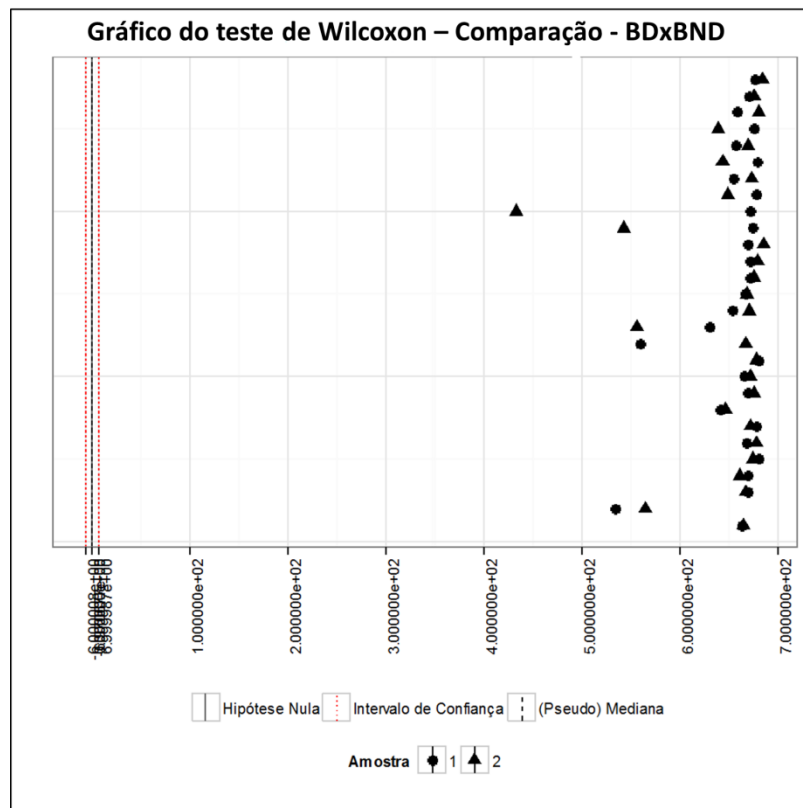


Figura 30: Diferença de desempenho entre o BD x BND para o jogo 2.

A estatística do teste resulta em  $U = 385,5$ . Como o P-valor =  $0,9216 > 0,05$  então, não existem evidências de diferença de desempenho para o BD x BND no jogo 2.

No jogo 3 intervêm movimentos de ambos os braços, aumentando a complexidade de planejamento motor. Assim, quando se compara o desempenho entre BD x BD/BND (Figura 29) encontra-se uma diferença significativa entre as amostras, ( $U = 615$ ) com valor de P-valor =  $0,0003 (<0,05)$ . A diferença significativa também foi



observada quando se compara o desempenho entre BND x BD/BND (Figura 31), ( $U= 582,5$ ) valor de P-valor =0,0018 ( $< 0,05$ ). Indicando que, com significância de 5%, existem evidências de diferença entre as duas amostras.

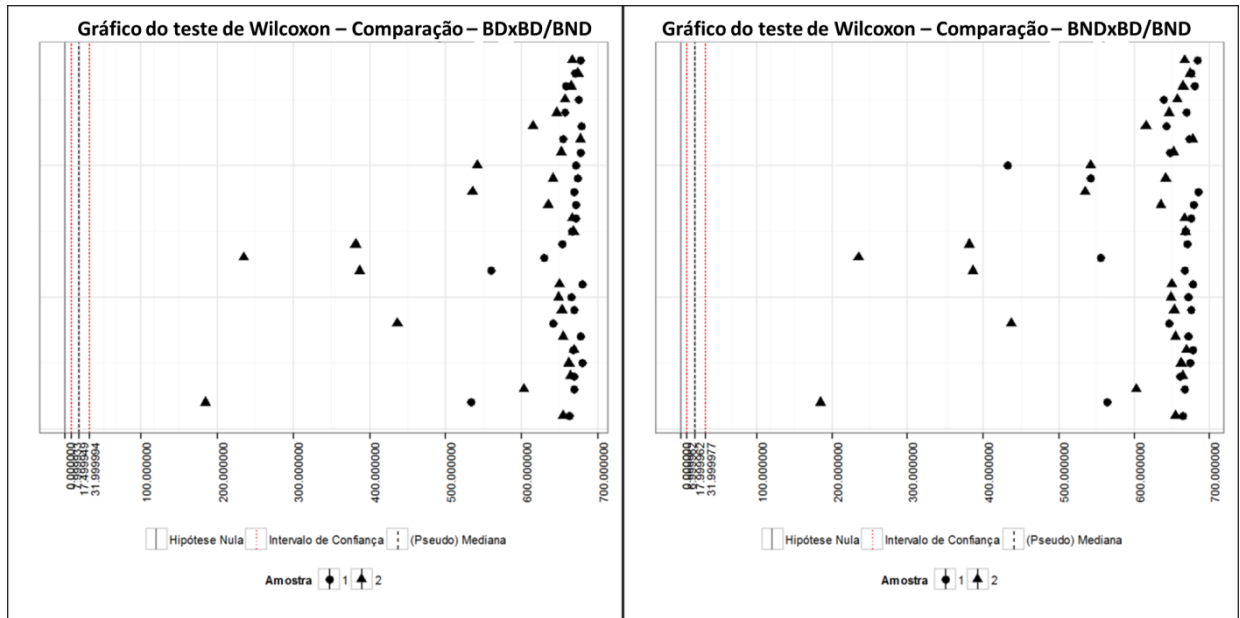


Figura 31: Diferença de desempenho entre BD x BD/BND e BND x BD/BND.

Esses dados mostram que o jogo 3 atende ao requisito de progressão dos exercícios e/ou atividades propostas no ambiente de RV (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2012).

Um biofeedback visual obtido através da eletromiografia de superfície é apresentado na tela aos participantes na forma de cores e em tempo real assim, tanto o voluntário quanto o profissional de reabilitação podem visualizar de forma quantitativa o nível de ativação muscular realizado enquanto interage com o ambiente virtual.

No que se refere ao ângulo da articulação do cotovelo pacientes pós-AVC apresentam contrações nos flexores do cotovelo o que limita a amplitude do movimento desta articulação. Assim, um dos objetivos durante o processo de reabilitação é também recuperar a amplitude funcional da articulação do cotovelo. O sistema desenvolvido é capaz de registrar os ângulos (em graus) atingidos pelo paciente durante todo o jogo (Figura 32, 33, 34). Estes dados permitem que o

profissional de reabilitação possa fazer uma análise quantitativa do processo de reabilitação dos movimentos do cotovelo.

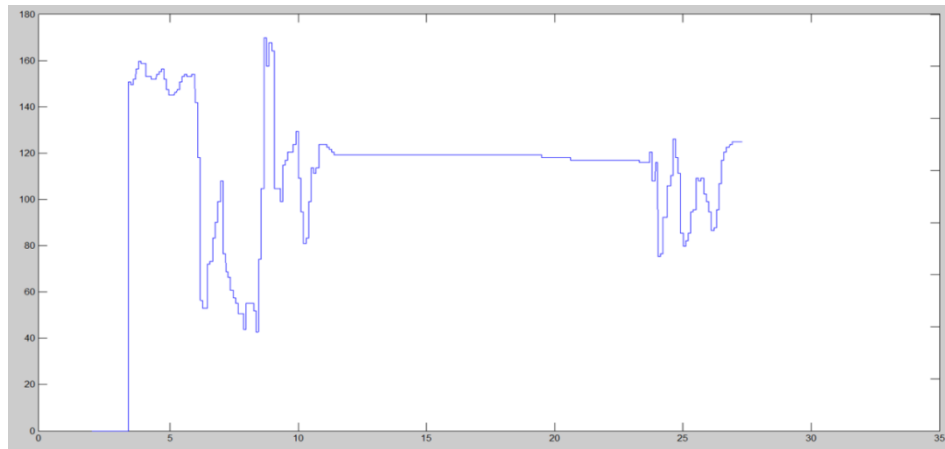


Figura 32: Ângulos atingidos durante o jogo 2 quando o voluntário P8 está jogando com o BD.

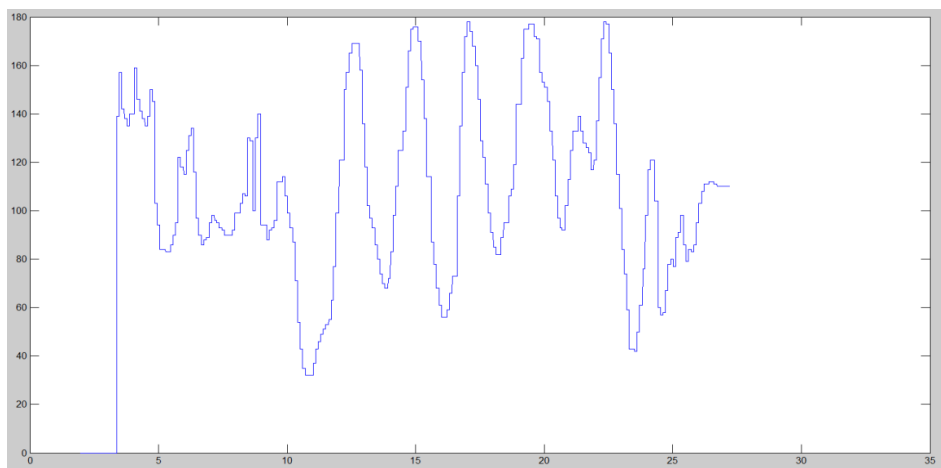


Figura 33: Ângulos atingidos pelo voluntário P8 durante o jogo 2, com o BND.

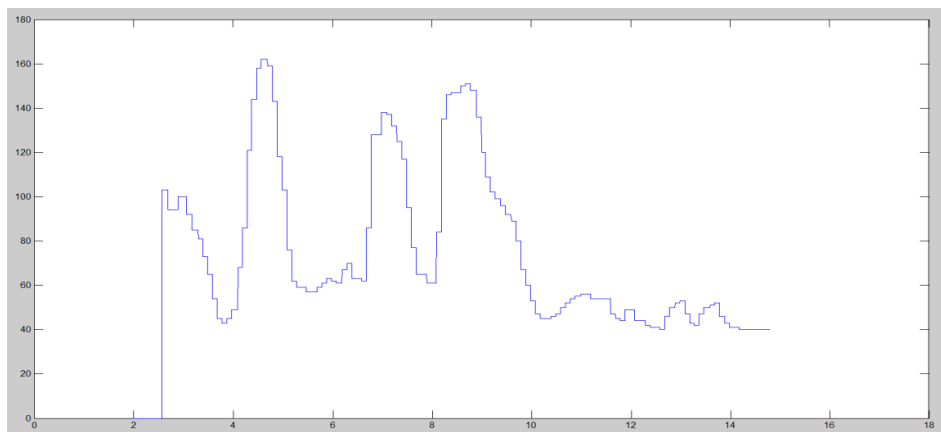


Figura 34: Ângulos atingidos pelo voluntário P8 durante o jogo 3, com o BD.

A Tabela 8 apresenta o ângulos máximos e mínimos atingidos durante os jogos 2 e 3.

Tabela 8 – Ângulos máximos e mínimos atingidos durante os jogos 2 e 3. BD: braço dominante; BND: braço não dominante; Min: mínimo; Max: máximo.

Participante	Jogo 2				Jogo 3			
	BD		BND		BD		BND	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
P1	150	52	154	64	146	41	147	46
P2	163	38	154	44	156	34	155	48
P3	176	29	179	48	163	56	170	38
P4	153	56	166	35	167	32	159	35
P5	178	35	121	98	160	34	150	44
P6	156	40	102	44	159	52	133	40
P7	168	57	145	63	157	54	153	55
P8	167	41	178	32	162	40	166	37
P9	148	52	168	32	155	47	154	40
P10	153	44	148	52	142	36	145	33
P11	142	36	163	56	179	48	158	42
P12	179	48	156	34	162	61	162	41
P13	168	32	148	52	157	47	154	38
P14	148	52	155	47	153	44	149	43
P15	155	47	176	29	147	46	156	40
P16	145	52	148	48	166	50	150	45
P17	158	56	166	35	167	32	161	53
P18	153	44	160	41	155	47	153	39
P19	175	51	162	46	164	53	164	45
P20	143	39	168	37	152	41	151	34
P21	154	38	154	44	156	34	152	49
P22	170	29	179	48	163	56	168	38
P23	138	42	143	50	174	71	148	48
P24	178	39	135	36	167	42	156	41
P25	168	32	102	44	159	52	137	34
P26	162	60	170	22	171	34	165	45
P27	156	47	142	36	148	52	166	40
P28	129	54	135	28	135	47	145	46
<b>Media</b>	<b>±157,79</b>	<b>±43,44</b>	<b>±151,30</b>	<b>±42,53</b>	<b>±158,35</b>	<b>±44,87</b>	<b>±154,28</b>	<b>±41,69</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>±13,17</b>	<b>±8,99</b>	<b>±20,24</b>	<b>±14,58</b>	<b>±9,67</b>	<b>±9,56</b>	<b>±8,95</b>	<b>±5,55</b>

Esses resultados mostram que o sistema desenvolvido atende ao requisito que estabelece que os alvos virtuais devam estar posicionados no nível do arco funcional de movimento, ou seja, entre 30 a 130 graus. Vale ressaltar que conhecer o ângulo máximo atingido durante uma sessão de reabilitação pode aumentar a motivação do paciente para realizar as tarefas de reabilitação, além de servir com um indicador da recuperação do paciente.

Após os experimentos, os participantes responderam ao questionário SUS, com o objetivo de avaliar o sistema de reabilitação nas seguintes características: facilidade no uso e necessidade de auxílio profissional ao usá-lo (BROOKE, 2013).

Por fim, foram avaliados com o método GAS os objetivos esperados durante o uso do sistema de reabilitação relativos ao tempo de adaptação do usuário ao sistema de reabilitação, e desempenho alcançado no jogo 2 e jogo 3 quando jogando com o BD, o BND e ambos os braços (KRASNY-PACINI, 2013). A Tabela 10 mostra os resultados dos métodos SUS e GAS para cada participante.

Tabela 9: Resultado dos métodos de avaliação SUS e GAS.

<b>Participante</b>	<b>SUS</b>	<b>GAS</b>
P1	62,50	71,78
P2	47,50	60,89
P3	90,00	71,78
P4	90,00	71,78
P5	90,00	71,78
P6	87,50	75,41
P7	80,00	75,41
P8	50,00	64,52
P9	90,00	71,78
P10	87,50	75,41
P11	95,00	75,41
P12	97,50	68,15
P13	87,50	57,26
P14	85,00	68,15
P15	77,50	71,78
P16	97,50	79,04
P17	97,50	75,41
P18	100,00	64,52
P19	85,00	64,52
P20	87,50	64,52
P21	95,00	79,04
P22	72,50	79,04
P23	67,50	79,04
P24	75,00	79,04
P25	72,50	79,04
P26	92,50	79,40
P27	80,00	75,41
P28	97,50	75,41
<b>Média</b>	<b>±82,59</b>	<b>±72,25</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>±14,31</b>	<b>±6,13</b>

O valor do SUS obtido para 21,42% dos voluntários foi abaixo da média. Para os demais voluntários, o resultado foi acima de 75,00 (tabela 10) indicando que o protótipo do sistema de reabilitação foi classificado como “útil”.

No método o GAS os valores do  $T$  foram superiores a 60,89 (tabela 10) que mostra que os objetivos foram alcançados de uma forma melhor do que a esperada para todos os voluntários.

Para avaliar o sistema por profissionais da área um grupo composto por cinco profissionais de reabilitação (quatro terapeutas ocupacionais e um fisioterapeuta) foram convidados a realizar um teste com o sistema, seguindo o protocolo proposto. Após o teste, eles responderam os questionários SUS e GAS. Através do GAS foi avaliado o tempo necessário para sua configuração e a facilidade de uso do sistema desenvolvido. A tabela 11 mostra os resultados obtidos para os métodos SUS e GAS.

Tabela 10: Resultados dos métodos SUS e GAS. PR: profissionais de reabilitação.

<b>Profissional de Reabilitação</b>	<b>SUS</b>	<b>GAS (valor de T)</b>
PR1	80,50	68,60
PR2	80,00	74,80
PR3	70,00	74,80
PR4	85,00	74,80
PR5	90,00	74,80
Média	±81,10	±73,56
Desvio Padrão	±7,40	±2,77

O valor do SUS proporcionado pelos profissionais de reabilitação foi acima de 70,00 (Tabela 11) indicando que o protótipo do sistema de reabilitação foi classificado como “útil”. Por outro lado para o método GAS, os valores de  $T$  foram acima de 68,60 (Tabela11), mostrando que também para os profissionais de reabilitação os objetivos foram alcançados de forma melhor do que o esperado.

Os resultados obtidos após avaliação do protótipo do sistema de reabilitação mostraram que os objetivos pré-determinados tiveram resultados melhores do que os esperados para todos os participantes.

## 10 Conclusões

No desenvolvimento do protótipo do sistema de reabilitação foram considerados os requisitos levantados na fase de concepção e projeto, levando-se em conta as seguintes características: limitações funcionais do paciente, suas habilidades residuais, atividades que ele necessita e queira realizar, ambiente motivador e facilidade de uso do sistema tanto pelo paciente quanto para o profissional de reabilitação (levando sempre em consideração o conforto e a praticidade) e, por fim, o custo do sistema.

Os resultados mostram que com o sistema desenvolvido foram realizados movimentos de extensão e flexão do cotovelo e antebraço dentro do arco funcional de movimento. Também foi possível fornecer ao usuário e ao profissional de reabilitação um feedback de desempenho e resultados quantitativos alcançados durante a terapia de reabilitação.

Através do biofeedback de eletromiografia é possível visualizar o nível de ativação muscular realizado pelo usuário, em tempo real, entretanto, sugere-se a gravação do sinal para que o profissional de reabilitação tenha dados para analisar o progresso no paciente no que se refere à ativação da musculatura que se pretende reabilitar.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, em relação ao desempenho alcançado nos jogos 2 e 3 os dados mostram que não existe uma diferença significativa no desempenho quando comparado o braço dominante versus braço não dominante. Porém é quando comparado o desempenho entre o braço dominante e o braço não dominante versus desempenho com ambos os braços, foi encontrada uma diferença significativa, mostrando que o jogo 3 é mais complexo pois exige um melhor planejamento e coordenação motora.

O *software* desenvolvido é capaz de armazenar vários dados como nome e idade do paciente, jogo realizado, duração, ângulo, e a pontuação obtida permitindo que o profissional de reabilitação possa fazer uma análise quantitativa do processo de reabilitação.

Os resultados do questionário SUS mostraram que a maioria dos participantes da pesquisa classificou o sistema desenvolvido como fácil de usar, sem a necessidade de auxílio de uma pessoa especializada e com funções bem integradas.

Já os valores obtidos pelo GAS indicaram uma rápida adaptação do usuário ao sistema. Em relação ao desempenho, todos os voluntários tiveram resultados melhores do que os esperados.

Os métodos de avaliação usados mostraram um resultado positivo em relação ao sistema desenvolvido. A aceitação do sistema de reabilitação desenvolvido, avaliada pelo questionário SUS, se mostrou adequada. Os resultados do GAS mostraram uma quantidade de acertos satisfatória para os objetivos traçados.

## **10.1 Contribuições**

As principais contribuições desta Dissertação de Mestrado encontram-se relacionadas abaixo:

- Concepção e avaliação de um sistema de reabilitação para membros superiores baseado em sEMG e Realidade Virtual;
- Desenvolvimento e aplicação de um protocolo experimental para avaliar o sistema desenvolvido;
- Avaliação do protótipo do sistema desenvolvido através da opinião dos usuários, utilizando os métodos de avaliação GAS e SUS.

## 10.2 Publicações realizadas durante a pesquisa

### 10.2.1 Trabalhos completos em anais de congressos

CARDOSO, V. F.; LOTERIO, F. A. ; VALADAO, C. T. ; FRIZERA NETO, A. ; T. Bastos Filho . Análise Eletromiográfica em Marcha Livre e Marcha Assistida Por Andador Convencional. In: VI Jornadas. In: **VI Jornadas AITADIS de Rehabilitación y Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad, 2014**, Asunción. Memorias de las VI Jornadas AITADIS de Rehabilitación y Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad, 2014. v. 2014. p. 59-63

CARDOSO, V. F.; VALENCIA, N. J. ; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.. Proposta de Metodologia de Análise do Protótipo de um Sistema de Reabilitação de Membros Superiores Utilizando Realidade Virtual e sEMG para Pacientes Pós-AVE. In: **1st International Workshop on Assistive Technology, 2015**, Vitória. Proceedings of the 1st International Workshop on Assistive Technology, 2015. p. 70-73.

VALADAO, C. T.; LOTERIO, F. A.; CARDOSO, V. F.; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.. Robotic Walker to Assist and Monitor Physiotherapy Sessions. In: **1st International Workshop on Assistive Technology, 2015**, Vitória. Proceedings of the 1st International Workshop on Assistive Technology, 2015. v. 2015. p. 82-85.

LOTERIO, F. A.; CARDOSO, V. F.; VALADAO, C. T.; MAYOR, J. J. V.; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.. Analysis of Muscle Activation Patterns in Post-Stroke Individuals During Assisted Gait by Robotic Walker. In: **1st International Workshop on Assistive Technology, 2015**, Vitória. Proceedings of the 1st International Workshop on Assistive Technology, 2015. p. 11-14.

VALENCIA, N. J. ; CARDOSO, V. F.; FRIZERA NETO, A.; T. Bastos Filho. Desenvolvimento de Ambiente Virtual Baseado em Kinect e sEMG. In: **1st International Workshop on Assistive Technology, 2015**, Vitória. Proceedings of the 1st International Workshop on Assistive Technology, 2015. p. 267-270.

LOTERIO, F. A.; VALADAO, C. T.; T. Bastos Filho; CARDOSO, V. F.; FRIZERA NETO, A.. Proposal for protocol to muscle fatigue analysis during gait in different speeds. In: **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2015**, Natal. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI 2015), 2015.

VALENCIA, N. J. ; CARDOSO, V. F.; LOTERIO, F. A.; MAYOR, J. J. V.; FRIZERA NETO, A.; T. Bastos Filho. Ambiente Virtual para Reabilitação de Membros Superiores de Pacientes Pós-AVC. In: **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2015**, Natal. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI 2015), 2015.

VALADAO, C. T.; LOTERIO, F. A.; CARDOSO, V. F.; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.; ROCON, E. . Adaptação de Andador Convencional para Reabilitação e



Assistência a Pessoas com Restrições Motoras. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB), 2014**, Uberlândia. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB), 2014. v. 2014. p. 533-536.

LOTERIO, F. A.; CARDOSO, V. F.; VALADAO, C. T.; MAMEDE, R.; MAYOR, J. J. V.; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.. Avaliação da Aplicabilidade de Andador Robótico para Indivíduos Hemiparéticos Através de Eletromiografia. In: **XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB), 2014**, Ubelândia. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB), 2014. v. 2014. p. 013-016.

LOTERIO, F. A.; CARDOSO, V. F.; VALADAO, C. T.; MAMEDE, R.; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.; ROCON, E. . Metodologia para Análise de Padrão Muscular de Indivíduos Pós-AVC Durante Marcha Assistida. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB), 2014**, Ubelândia. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB), 2014. v. 2014. p. 590-593.

LOTERIO, F. A.; CARDOSO, V. F.; MAYOR, J. J. V.; FRIZERA NETO, A.; T. Bastos Filho. Estudo-Piloto Usando Acelerometria para Obtenção de Parâmetros Cinemáticos em Marcha Hemiparética. In: **VI Jornadas AITADIS de Rehabilitación y Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad, 2014**, Asunción.. Memorias de las VI Jornadas AITADIS de Rehabilitación y Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad,, 2014. v. 2014. p. 55-58.

### 10.2.2 Resumos expandidos publicados em anais de congressos

CARDOSO, V. F.; VALENCIA, N. J. ; LOTERIO, F. A.; MAYOR, J. J. V.; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.. Virtual reality environment applied to upper limb rehabilitation of post-stroke patients. In: **6th Brazilian Congress of Biotechnology, 2015**, Brasília. 6th Brazilian Congress of Biotechnology, 2015.

### 10.2.3 Resumos em anais de congressos

CARDOSO, V. F.; VALENCIA, N. J. ; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.. Análise de Sinais Mio elétricos para Reabilitação de Membros Superiores para Pacientes Pós-AVE. In: **Workshop Internacional de Engenharia Biomédica,, 2014**, Vitória. Workshop Internacional de Engenharia Biomédica. v. 2014. p. 4.

LOTERIO, F. A.; CARDOSO, V. F.; VALADAO, C. T.; MAYOR, J. J. V.; T. Bastos Filho; FRIZERA NETO, A.. Análise da ativação muscular em indivíduos hemiparéticos pós-AVC durante marcha assistida por andador robótico. In: **Workshop Internacional de Engenharia Biomédica, 2014**, Vitória. Anais do Workshop Internacional de Engenharia Biomédica,, 2014. v. 2014.

#### 10.2.4 Prêmios e títulos

**Menção Honrosa pela classificação** do trabalho intitulado “Análise de Sinais Mielétricos para Reabilitação de Membros Superiores para Pacientes Pós-AVE” **entre os 6 melhores trabalhos do Workshop Internacional de Engenharia Biomédica**, Workshop Internacional de Engenharia Biomédica. 2015

#### 10.4 Trabalhos Futuros

- Estudos futuros podem ser feitos para analisar se existe diferença de desempenho durante o uso do sistema por pacientes de faixas etárias diferentes;
- Implementar a gravação do sinal mioelétrico pelo *software* do sistema desenvolvido;
- Realizar estudo clínico com pacientes pós-AVC para avaliar a aplicabilidade do sistema desenvolvido.

## 11 Referências

- ARAÚJO, R. C.; BARBOSA, M. P. Efeito da fisioterapia convencional e do feedback eletromiográfico associados ao treino de tarefas específicas na recuperação motora de membro superior após acidente vascular encefálico. **Motricidade**, v. 9, n. 2, pp. 23-36, n. n. 2, p. 23-36, 2013.
- ARYA, K. N. et al. Movement therapy induced neural reorganization and motor recovery in stroke: A review. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, Elsevier Ltd, v. 15, n. 4, p. 528–537, 2011.
- BARANYI, R. et al. Chances for Serious Games in Rehabilitation of Stroke Patients on the Example of Utilizing the Wii Fit Balance Board. **2013 IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health (Segah)**, p. 7, 2013.
- Bohannon, R. W., Smith, M. B. A. Confiabilidade interavaliadores do Modified Ashworth Scale, de espasticidade muscular, **Physical Therapy**, 67, pág. 207.
- BROOKE, J. SUS: a "quick and dirty" usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Eds.), **Usability Evaluation in Industry** (pp. 189-194). London: Taylor and Francis. 1996.
- \_\_\_\_\_. SUS: a retrospective. **Journal of Usability Studies**, vol. 8, issue 2, 2013.
- CAMPANINI, I. et al. Effect of electrode location on EMG signal envelope in leg muscles during gait. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 17, n. 4, p. 515-526, Aug 2007.
- CAPO-LUGO, C. E.; MULLENS, C. H.; BROWN, D. A. Maximum walking speeds obtained using treadmill and overground robot system in persons with post-stroke hemiplegia. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**, v. 9, Oct 11 2012.
- CARR, J.; SHEPERD, R. **Stroke Rehabilitation**. 1. ed. 2003.
- CHAN, M. K. L.; TONG, R. K. Y.; CHUNG, K. Y. K. Bilateral Upper Limb Training With Functional Electric Stimulation in Patients With Chronic Stroke. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 23, n. 4, p. 357-365, May 2009.
- CRISWELL, E. **CRAM'S Introduction to Surface Electromyography**. Second edition, 2011.
- DALY, J. J.; RUFF, R. L. Construction of efficacious gait and upper limb functional interventions based on brain plasticity evidence and model-based measures for stroke patients. **ScientificWorldJournal**, v. 7, p. 2031-45, 2007.
- DEB, P.; SHARMA, S.; HASSAN, K. M. Pathophysiologic mechanisms of acute ischemic stroke: An overview with emphasis on therapeutic significance beyond thrombolysis. **Pathophysiology**, v. 17, n. 3, p. 197-218, Jun 2010.

DOGAN-ASLAN, M. et al. The Effect of Electromyographic Biofeedback Treatment in Improving Upper Extremity Functioning of Patients with Hemiplegic Stroke. **Journal of Stroke & Cerebrovascular Diseases**, v. 21, n. 3, p. 187-192, Apr 2012.

ERAZO, O. A. et al. C. Magic Mirror for Neurorehabilitation of People with Upper Limb Dysfunction Using Kinect. **2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences**, p. 2607--2615, 2014.

FEIGIN, V. L. et al. New Strategy to Reduce the Global Burden of Stroke. **Stroke the American Heart Association**; pg, 1-8 Apr 2015.

FERREIRA, M. S. **Considerações clínicas na reabilitação do paciente com acidente vascular encefálico**. 1<sup>o</sup>ed. SP-Brasil: Editora Manole, 2012. 626.

FONTELLES, M. J. **Bioestatística Aplicada à Pesquisa Experimental: volume 2**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

GIGGINS, O. M.; PERSSON, U. M.; CAULFIELD, B. Biofeedback in rehabilitation. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**, v. 10, p. 11, Jun 2013.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Textbook of Medical Physiology**. 11. Philadelphia, Pennsylvania, USA Elsevier Saunders, 2006.

HACKE, W. et al. AVC Isquêmico. **European Stroke Initiative**. 1-4, 2003.

HALL. S. J. **Biomêcnica Básica**. 6<sup>a</sup> ed. Editora Koogan. Rio de Janeiro, 2014.

HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M. **Biomechanical Basis of Human Movement**. 2009.

HEART and stroke foundation of Canada. Disponível em: <[http://www.heartandstroke.com/site/c.iklQLcMWJtE/b.3484151/k.7916/Stroke\\_\\_Ischemic\\_stroke.htm](http://www.heartandstroke.com/site/c.iklQLcMWJtE/b.3484151/k.7916/Stroke__Ischemic_stroke.htm)> Acesso em: 20 dez mar. 2015.

HEART and stroke foundation of Canada. Disponível em: <[http://www.heartandstroke.com/site/c.iklQLcMWJtE/b.3484153/k.7675/Stroke\\_\\_Hemorrhagic\\_stroke.htm](http://www.heartandstroke.com/site/c.iklQLcMWJtE/b.3484153/k.7675/Stroke__Hemorrhagic_stroke.htm)> Acesso em: 20 dez 2015.

HERMENS, H. J. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. 10, p. 361–374, 2000.

HOLLANDER, M. P. J. et al. Incidence, risk, and case fatality of first ever stroke in the elderly population. The Rotterdam Study. **J Neurol Neurosurg Psychiatry**; 74: p. 317–321, 2003.

KAEWBOON, W. et al. Upper Limbs Rehabilitation System for Stroke Patient with Biofeedback and Force. **6th Biomedical Engineering International Conference (Bmeicon 2013)**, p. 5, 2013.

KOTONYA, G., SOMMERVILLE, I., **Requirements engineering: processes and techniques**. Chichester, England: John Wiley, 1998.

KRASNY-PACINI, A. et al. Goal Attainment Scaling in rehabilitation: A literature-based update. **Annals of Physical and Rehabilitation Medicine**. 56, p. 212–230, 2013.

KONRAD, P. **The abc of emg. A practical introduction to kinesiological**. April, p. 1–60, 2005.

KRAKAUER, J. W. Motor learning: its relevance to stroke recovery and neurorehabilitation. **Current opinion in neurology**, v. 19, n. 1, p. 84–90, 2006.

KUMAR, V.K. et al. **Robbins and Cotran Pathologic Basis of Disease**. 8th. Philadelphia: Ed. Saunders Elsevier, 2010.

LANG, C. E. et al. Observation of Amounts of Movement Practice Provided During Stroke Rehabilitation. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 90, n. 10, p. 1692-1698, Oct 2009.

LANGE, B. et al. Development and Evaluation of Low Cost Game-Based Balance Rehabilitation Tool Using the Microsoft Kinect Sensor. **33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering-in-Medicine-and-Biology-Society (EMBS)**, Boston, MA. Aug 30-Sep 03, 1831-1834, 2011.

LANGHORNE, P.; COUPAR, F.; POLLOCK, A. Motor recovery after stroke: a systematic review. **The Lancet Neurology, Elsevier Ltd**, v. 8, n. 8, p. 741–754, 2009.

LATTA, S.; TSUNODA, K.; GEISNER, K. **Gesture keyboarding**. 2009.

LIPPERT, LYNN S. **Cinesiologia clínica para fisioterapeutas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

LOHSE, K. R. et al. Virtual Reality Therapy for Adults Post-Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis Exploring Virtual Environments and Commercial Games in Therapy. **Plos One**, v. 9, n. 3, Mar 28 2014.

LUQUE-MORENO, C. et al. A Decade of Progress Using Virtual Reality for Poststroke Lower Extremity Rehabilitation : Systematic Review of the Intervention Methods. **BioMed research international**, v. 2, 2014.

MACHADO, A B. M. **Neuroanatomia Funcional**. 2ª ed. São Paulo. Editora Atheneu, 2006.

MARCHETTI, P. H.; DUARTE, M. **Instrumentação em eletromiografia**. Laboratório de Biofísica, Escola de Educação Física e Esporte. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2006.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Brasil. **Sistema de Informações Hospitalares do SUS - SIH/SUS-DATASUS**. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?idb2012/d29.def>>. Acesso em 20 de setembro de 2014.

- NIJENHUIS, S. M. et al. Feasibility study into self-administered training at home using an arm and hand device with motivational gaming environment in chronic stroke. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, , v. 12, n. 1, p. 89, 2015.
- NEUMANN, D. A. **Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation**. Elsevier Health Sciences, 2013.
- O'DONNELL, M. J. et al. Risk factors for ischaemic and intracerebral haemorrhagic stroke in 22 countries (the INTERSTROKE study): a case-control study. **Lancet**, v. 376, n. 9735, p. 112-23, Jul 2010.
- O'SULLIVAN, S. B.; SCHMITZ, T. J. — **Physical Rehabilitation**. Philadelphia: F.A. Davis Company; 5th edition: 1383 p. 2006.
- OVIAGELE, B.; NGUYEN-HUYNH, M. N. Stroke epidemiology: advancing our understanding of disease mechanism and therapy. **Neurotherapeutics**, v. 8, n. 3, p. 319-329, 2011.
- PASSOS, N. R. S. et al. **Siirius Surfer Utilizando jogos sérios na reabilitação de tronco para pacientes pós-AVC** SBC - Proceedings of SBGames. SBC. São Paulo – SP – Brazil: XII SBGames: 25-28 p. 2013.
- PFLEEGER, S.L., **Engenharia de Software: Teoria e Prática**, São Paulo: Prentice Hall, 2ª edição, 2004.
- POPOVIĆ, M. D. et al. Feedback-mediated upper extremities exercise: increasing patient motivation in poststroke rehabilitation. **Biomed Res Int**, v. 2014, p. 520374, 2014.
- RECHY-RAMIREZ, E. J.; HU, H. **Stages for developing control systems using EMG and EEG signals** United Kingdom: 2011..
- SARIKAYA, H.; FERRO, J.; ARNOLD, M. Stroke prevention--medical and lifestyle measures. **Eur Neurol**, v. 73, n. 3-4, p. 150-7, 2015.
- SIN, H.; LEE, G. Additional Virtual Reality Training Using Xbox Kinect in Stroke Survivors with Hemiplegia. **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 92, n. 10, p. 871-880, Oct 2013.
- SLIJPER, A. et al. Computer game-based upper extremity training in the home environment in stroke persons: a single subject design. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**, v. 11, p. 8, Mar 2014.
- SMAJLOVIĆ, D. Strokes in young adults: epidemiology and prevention. **Vasc Health Risk Manag**, v. 11, p. 157-64, 2015.
- SOMMERVILLE, I., **Engenharia de Software**, 8ª Edição. São Paulo: Pearson – Addison Wesley, 2007.

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. **Motor control: translating research into clinical practice**. 2012.

TERRANOVA, T. T. et al. Chronic cerebral vascular accident: rehabilitation. **Acta Fisiátrica**. 19: 50 p. 2012.

TEIXEIRA, I. N. D. O. O envelhecimento cortical e a reorganização neural após o acidente vascular encefálico (AVE): implicações para a reabilitação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 13, n. 2, p. 2171–2178, 2008.

THOMSON, K. et al. Commercial gaming devices for stroke upper limb rehabilitation: A systematic review. **International Journal of Stroke**, v. 9, n. 4, p. 479-488, Jun 2014.

TROMPETTO, C. et al. Pathophysiology of spasticity: implications for neurorehabilitation. **Biomed Res Int**, v. 2014.

ZHANG, X.; ZHOU, P. **High-Density Myoelectric Pattern Recognition Toward Improved Stroke Rehabilitation**. IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering, v. 59, n. 6, p. 1649–57, 2012.

WEBSTER, D.; CELIK, O. **Systematic review of Kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation**. Journal of neuroengineering and rehabilitation, v. 11, p. 108, 2014.

WINTER, D. a. D. D. a. **Biomechanics And Motor Control Of Human Movemen**, 2009.

WHO: World Health **Organization. Stroke, Cerebrovascular accident, 2014**. Disponível em: <[http://www.who.int/topics/cerebrovascular\\_accident/en/](http://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/en/)>. Acesso em: 28/04/2015.

WHO: World Health Organization. **The top 10 causes of death, 2014**. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>>. Acesso em: 03/04/2015

## APÊNDICES





## APÊNDICE A – DIÁRIO DE OBSERVAÇÃO

Universidade Federal do Espírito Santo  
Programa de Pós Graduação em Biotecnologia  
Laboratório de Automação Inteligente

### *Pacientes*

Paciente	Sexo	Idade	Doença	Data evento	Sequelas
OBS					

### *As sessões de Terapia*

Data	Paciente	Função motora que se pretende reabilitar	Objetivo	Musculatura	Movimentos/ exercícios/atividades Exercícios
Comentários dos Profissionais e dos pacientes:					

## APÊNDICE B – ROTEIRO DE ENTREVISTA



**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Programa de Pós Graduação em Biotecnologia**  
**Laboratório de Automação Inteligente**

- 
- 1) Quantos pacientes são atendidos no projeto de extensão? Qual faixa etária? E quando ocorreu o evento (o diagnóstico da doença)?

---

---

---

- 2) Quais as sequelas deixadas pela doença?

---

---

---

---

- 3) Qual o objetivo da TO com os pacientes pós-AVC?

---

---

---

- 4) Vocês seguem um roteiro de exercícios específicos para todos os pacientes pós-AVC?

---

---

---

- 5) Quais as principais atividades e ou exercícios vocês realizará para promover a recuperação funcional da articulação do cotovelo de pacientes pós-AVC?

---

---

---

- 6) Quais a principais dificuldades e queixas dos pacientes em relação a seu processo de recuperação? E quais as principais dificuldades que os profissionais encontrar neste processo?

---

---

---



## APÊNDICE C – RESULTADOS DA ATIVIDADE DE OBSERVAÇÃO

Universidade Federal do Espírito Santo  
Programa de Pós Graduação em Biotecnologia  
Laboratório de Automação Inteligente

O objetivo desta pesquisa de observação foi analisar as necessidades específicas dos usuários para obter requisitos para a o desenvolvimento do sistema de reabilitação que está sendo desenvolvido no LAI/UFES. No total serão realizadas cinco atividades de observação. Esta pesquisa consistiu em observação da sessão de terapia ocupacional.

Durante a intervenção o terapeuta proporcionava explicações necessárias ao pesquisador, cada visita foi acompanhada de um diário de campo onde foram anotadas a doença a qual o paciente foi acometido, as tarefas e exercícios realizados, função motora e musculatura que se pretendia reabilitar e os procedimentos realizados e os comentários dos profissionais e pacientes. São atendidos seis pacientes por dia, a equipe conta com duas acadêmicas do curso de Terapia Ocupacional da UFES, as sessões tem duração de 50 minutos uma vez na semana, e são acompanhadas pela professora responsável pelo projeto de extensão.

### **Pacientes**

Paciente	Sexo	Idade	Patologia	Data evento	Sequelas
<b>A</b>	Masculino	27 anos	AVC	2011	Hemiparesia direita e Afasia
<b>B</b>	Masculino		AVC	19/08/2010	Alteração de equilíbrio e da marcha, alteração motora global e alteração visual.
<b>C</b>	Feminino	34 anos	Cirurgia pancreática – baixa absorção de vitamina B evoluindo para um quadro neurológico	01/2012	Ataxia, alteração da marcha não possui marcha independente, comprometimento da função motora
<b>D</b>	Masculino	36 anos	AVC	03/10/2013	AVC padrão espástico, marcha independente ceifante, membro superior esquerdo mais acometido
<b>E</b>	Masculino	75 anos	AVC	29/03/2014	Não apresenta sequela motora, afasia, déficit de memória
<b>F</b>	Feminino	59 anos	Neuropatia sensitiva motora		Menor sensibilidade nos pés e nas mãos, histórico de quedas o que gera preocupação devido ao fato da paciente morar sozinha. Paciente relata dormência nas mãos

**Comentários dos Profissionais e dos pacientes: Os pacientes são atendidos em sessões de 50min, uma vez na semana ou de 15 em 15 dias. O foco do atendimento é na necessidade do paciente voltada para reestabelecer ou adaptar as funções afetadas pela patologia buscando incentivar os indivíduos a realizar suas atividades cotidianas e profissionais de forma mais independente possível.**

*As sessões de Terapia*

Paciente	Função	Objetivo	Musculatura	Movimentos/ exercícios/atividades
A	Ganho de controle motor principalmente da articulação cotovelo	Aumentar a amplitude ativa de movimento principalmente da articulação do cotovelo e ombro Alongamento da musculatura (relaxamento da espasticidade)	Tríceps	Alongamento da musculatura do peitoral dos flexores do cotovelo na parede (lado hemiparético)
			Extensores dos dedos e punho	Alongamento Passivo de punho e dedos realizado pelo terapeuta e com a ajuda do braço menos afetado
			Tríceps	Extensão do cotovelo com a resistência da thera band, dez séries de cinco repetições, paciente sentado o terapeuta segurando o thera band
			“Vencer a espaticidade” (ou alongar os flexores) e fortalecer os extensores do cotovelo e punho	Controle motor e alcance - Transferir uma bolinha de borracha de uma para outro da mesa com a ajuda da mão menos a afetada Controle motor e alcance - Transferir uma bolinha de borracha de um lado para o outro, porém agora a bolinha deve ser colocada na mão do terapeuta que será posicionada em diferentes alturas
	<i>Exercício em casa</i>	Escovar os dentes com a mão mais afetada		
B	Destreza manual fina	Maior ganho de destreza manual fina	Lumbricais da mão	Exercício com macinha – Tirar a macinha do pote, fazer uma bola, apoiar na mesa e abrir a bola de macinha com os dedos. Foram realizadas duas series de três repetições em cada mão
			Musculatura dedos, mão, e punho e braço,	Controle motor - Jogar dominó

Um dos objetivos da TO é trabalhar a questão da independência do paciente para realizar suas atividades do cotidiano e profissional, assim com suas atividades de lazer, facilitar o retorno ao convívio social.

Reabilitação acontece da articulação proximal para distal exemplo de membros superiores – ombro/cotovelo/punho e dedos.

Pacientes acometidos por AVC, que apresenta comprometimento motor nos membros superiores, os movimentos realizados nas sessões de TO são principalmente passivos.

			Tríceps	Alongamento da musculatura do peitoral dos flexores do cotovelo na parede (lado hemiparético)
			Extensores dos dedos e punho	Alongamento Passivo de dedos e dedos realizado pelo terapeuta e com a ajuda do braço menos afetado Principalmente do polegar (polegar muito espástico no “padrão

A	Ganho de controle motor principalmente da articulação cotovelo	Aumentar a amplitude ativa de movimento principalmente da articulação do cotovelo e ombro Alongamento da musculatura (relaxamento da espasticidade)		hemiparético”)
			Tríceps	Alongamento passivo da articulação do cotovelo realizada pelo terapeuta
			Extensores dedos punho e braço	Alongamento dos dois braços com ajuda do menos afetado Mãos entrelaçadas (posição de oração) apoiar na mesa e deslizar
			“Vencer a espasticidade” (ou alongar os flexores) e fortalecer os extensores do cotovelo e punho.	Controle motor e alcance - Transferir uma bolinha de borracha de um lado para o outro ora com a mão mais afetada ora com a mão menos afetada, a bolinha deve ser colocada na mão do terapeuta que será posicionada em diferentes alturas
			Tríceps	Extensão do cotovelo com a resistência da thera band, dez séries de cinco repetições, paciente sentado o terapeuta segurando o thera band
			Massagem Polegar	Polegar muito espástico, no padrão hemiparético – muito alongamento passivo e massagem na região do polegar
D	Controle motor da articulação cotovelo de punho e Controle			OBS:.. Não foi possível realizar a observação

Quanto maior a amplitude de movimento menor a espasticidade.

Quando um dos membros é afetado o objetivo é trabalhar os dois membros, “o paciente precisa lembrar que tem que usar os dois membros”.

Geralmente no AVC quando os membros superiores são acometidos a espasticidade é flexora e por este motivo os antagonistas, que são os extensores, são o foco do trabalho desenvolvido.

C	Destreza manual fina	Maior ganho de destreza manual fina		Trabalho realizado com origami uma caixinha e um tsuru
B	Destreza manual fina	Extensão de punhos e dedos	Extensores dos dedos	Exercício com macinha – Enrolar a massinha como se fosse uma salsicha e puxar para frente e para trás.
			Musculatura dedos, mão, e punho e braço	Controle motor - Jogar dominó

A	Ganho de controle motor principalmente da articulação cotovelo	Aumentar a amplitude ativa de movimento principalmente da articulação do cotovelo e ombro Alongamento da musculatura (relaxamento da espasticidade)	Tríceps	Alongamento da musculatura do peitoral dos flexores do cotovelo na parede (lado hemiparético)
			Extensores dos dedos e punho	Alongamento Passivo de punho e dedos realizado pelo terapeuta e com a ajuda do braço menos afetado
			Tríceps	Extensão do cotovelo com a resistência da thera band, dez séries de cinco repetições, paciente sentado o terapeuta segurando o thera band
				Alongamento Passivo do braço realizado pelo terapeuta
			Tríceps	Extensão do cotovelo, exercício de resistência ativo realizado no sentido de vencer o padrão espático

A intervenção é pensada individualmente e procura atender os interesses dos pacientes, por exemplo, uma pessoa que precisa trabalhar destreza manual fina e gosta de artesanato a atividade é pensada neste sentido, ou se gosta de jogar dominó o terapeuta pode propor um jogo ao final da sessão. No AVC o aumento a amplitude de movimento ativa da articulação do cotovelo permite que o paciente realize atividades importantes como alimentação, alcance e higiene pessoal.

A, B,C,D,E,F				Foi realizada uma reavaliação dos pacientes utilizando o questionário: The Canadian Occupational Performance e Measure (COPM)
--------------	--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



Universidade Federal do Espírito Santo  
Programa de Pós Graduação em Biotecnologia  
Laboratório de Automação Inteligente

---

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Os pesquisadores: Vivianne Flavia Cardoso e Dr. Teodiano Freire Bastos Filho, estão convidando o Sr(a) \_\_\_\_\_ a a participar da pesquisa **“Metodologia de Análise do Protótipo do Sistema de Reabilitação de Membros Superiores Utilizando Realidade Virtual e sEMG para Pacientes Pós-AVC”**

**Justificativa-** Através da Realidade Virtual e dos sinais elétricos do músculo queremos incentivar a pessoa a realizar mais movimentos que ajudem na sua recuperação de forma correta e segura.

**Objetivo** - Desenvolver e avaliar um jogo de computador que junto com o do sinal do músculo irá ajudar na recuperação do movimento do braço de pessoas que sofreram AVC (derrame).

**Procedimentos-** Contar a quantidade de movimentos que a pessoa realiza durante a fisioterapia ou terapia ocupacional que ela frequenta.

- Para medir o sinal muscular serão colados dois adesivos no braço que foi atingido pela doença, para isso vamos raspar os pelos somente nesta região e usar álcool para limpar. Também vamos usar um equipamento para gravar o sinal. O participante não corre risco de tomar choque e o aparelho não é ligado a energia.
- Em seguida vamos apresentar os 3 jogos e a pessoa irá jogar.
- Vamos gravar e fotografar, mas não será possível identificar o participante e as imagens ficarão com os pesquisadores para fins acadêmicos e científicos.

**Duração e local da pesquisa-** São três jogos, após cada jogo o participante poderá descansar durante 5 minutos ou mais se precisar. Vamos demorar 50 minutos para terminar.

A pesquisa será realizada em uma destas três instituições: Hospital Universitário Cassiano Antonio de Moraes (HUCAM), Centro de Reabilitação Física do Espírito Santo (CREFES) ou no Laboratório de Automação Inteligente da UFES. Isso irá depender do local onde o participante faz fisioterapia ou terapia ocupacional.

**Riscos e desconfortos** - Existe o risco de queda, por isso você poderá ficar sentado enquanto joga. Você pode ficar cansando por isso depois de cada jogo você poderá descansar 5 minutos ou mais se você precisar.

Existe o risco de o participante ficar envergonhado. Por isso, os testes serão realizados em um local discreto, confortável, com acompanhante de sua escolha em ambiente com iluminação e temperaturas adequadas.

**Benefícios do estudo** - Os resultados deste estudo poderão ajudar a desenvolver um jogo de computador que junto com sinais elétricos irá ajudar na recuperação do movimento do braço de pessoas que sofreram AVC (derrame).

Terei direito a desistir de participar da pesquisa a qualquer momento sem que isto traga prejuízos a mim ou à pessoa sob a minha responsabilidade.

Terei direito a todas as informações pertinentes à pesquisa, mesmo que isto possa interferir na minha decisão de participar da mesma.

Autorizo a divulgação e publicação dos resultados dos exames exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Para qualquer outra informação, o (a) Sr (a) poderá entrar em contato com os pesquisadores no endereço Av.Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras. Vitória - ES - CEP 29075-910. Telefone 27 3335-2661. Caso não consiga contatar o pesquisador (a) ou para relatar algum problema, posso contatar o Comitê de Ética e Pesquisa do CCS/UFES pelo telefone (27) 3335-7211 ou correio, através do seguinte endereço: Universidade Federal do Espírito Santo, Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, Av. Marechal Campos, 1468 – Maruípe, Prédio da Administração do CCS, CEP 29.040-090, Vitória - ES, Brasil.

Confirmo que li e entendi todas as instruções que me foram repassadas pelos coordenadores desta pesquisa e, portanto, dou meu consentimento livre e esclarecido para participar da mesma.

Vitória, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2015.

\_\_\_\_\_  
Participante da pesquisa

\_\_\_\_\_  
Pesquisador principal



**ANEXO**

## ANEXO A – AUTORIZAÇÃO DE PESQUISA



**Universidade Federal do Espírito Santo  
Hospital Universitário Cassiano Antonio Moraes**

A Prof<sup>a</sup> Dra Carolina Anhoque  
Diretora da **Gerência de Ensino e Pesquisa**  
Hospital Universitário Cassiano Antonio Moraes – UFES

### Autorização para Pesquisa

Venho por meio desta, emitir permissão e apoio por parte desta chefia; na execução do projeto intitulado:

**Título do Projeto:** Metodologia de Análise do Protótipo de um Sistema de Reabilitação de Membros Superiores Utilizando Realidade Virtual e sEMG para Pacientes Pós-AVE

**Responsável pelo Projeto :** Vivianne Flavia Cardoso (Aluna do Mestrado em Biotecnologia/UFES) e Teodiano Freire Bastos Filho (Orientador - Programa de Pós-graduação em Biotecnologia e Programa de Pós-graduação Engenharia Elétrica /UFES)

**Setor(es) de execução :** HUCAM – Casa 5 – Doenças Neuromotoras

**Hospital Universitário Cassiano Antonio Moraes – UFES**

**Orientador(a) do Projeto :** Teodiano Freire Bastos Filho

Departamento : \_\_\_\_\_

Divisão : Gestão do Cuidado

Serviço ou Setor : Unidade Neuromusculoesquelética

Vitória(ES), 05 de Junho de 2015

*[Assinatura]*  
Dra. Giselle Alves de Oliveira  
NEUROLOGISTA  
CRM-ES 5546

Chefe do Serviço de  
HUCAM-UFES

*[Assinatura]*  
Dra Carolina Anhoque  
Chefe do Setor de Ensino e Pesquisa  
HUCAM - EBSEPH

De acordo : \_\_\_\_\_  
**Gerente de Ensino e Pesquisa EBSEPH/HUCAM/UFES**

## ANEXO B – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Vitória-ES, 09 de dezembro de 2010.

Da: Profa. Dr<sup>a</sup>. Ethel Leonor Noia Maciel  
Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde

Para: Prof. (a) Teodiano Freire Bastos Filho  
Pesquisador (a) Responsável pelo Projeto de Pesquisa intitulado: **“Sistema de avaliação motora baseado em sensores inerciais e bioelétricos”**.

Senhor (a) Pesquisador (a),

Informamos a Vossa Senhoria, que o Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, após analisar o Projeto de Pesquisa nº. 214/10 intitulado: **“Sistema de avaliação motora baseado em sensores inerciais e bioelétricos”** e o **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**, cumprindo os procedimentos internos desta Instituição, bem como as exigências das Resoluções 196 de 10.10.96, 251 de 07.08.97 e 292 de 08.07.99, **APROVOU** o referido projeto, em Reunião Ordinária realizada em 27 de outubro de 2010.

Gostaríamos de lembrar que cabe ao pesquisador responsável elaborar e apresentar os relatórios parciais e finais de acordo com a resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 196 de 10/10/96, inciso IX.2. letra “c”.

Atenciosamente,

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ethel Leonor Noia Maciel  
COORDENADORA  
Comitê de Ética em Pesquisa  
Centro de Ciências da Saúde/UFES

Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde  
Av. Marechal Campos, 1468 – Maruípe – Vitória – ES – CEP 29.040-091.  
Telefax: (27) 3335 7504

**ANEXO C – System Usability Scale – SUS**



**Universidade Federal do Espírito Santo  
Programa de Pós Graduação em Biotecnologia  
Laboratório de Automação Inteligente**

**ESCALA DE USABILIDADE DE SISTEMA (*System Usability Scale – SUS, adaptado*)**

O questionário deve ser respondido baseando-se nas tarefas realizadas usando o Sistema de Reabilitação.

	Discordo		Concordo	
	Fortemente		Fortemente	
	1	2	3	4

Eu acho que eu gostaria de usar este Sistema de Reabilitação com frequência.

	1	2	3	4

Eu acho o Sistema de Reabilitação desnecessariamente complexo.

	1	2	3	4

Eu penso que o Sistema de Reabilitação foi fácil de usar.

	1	2	3	4

Eu acho que seria necessário o apoio de uma pessoa técnica para ser capaz de usar este Sistema de Reabilitação.

	1	2	3	4

Eu achei que as diversas funções deste Sistema de Reabilitação foram bem integradas.

	1	2	3	4

Eu penso que existem muitas inconsistências no Sistema de Reabilitação.

	1	2	3	4

Eu imagino que a maioria das pessoas iria aprender a usar este Sistema de Reabilitação muito rapidamente.

	1	2	3	4

Eu achei o Sistema de Reabilitação muito complicado de usar.

	1	2	3	4

Eu me senti muito confiante com o Sistema de Reabilitação.

	1	2	3	4

Eu precisava aprender um monte de coisas antes que eu pudesse ir embora com este Sistema de Reabilitação.

## ANEXO D- GOAL ATTAINMENT SCALE - GAS



Universidade Federal do Espírito Santo  
Programa de Pós Graduação em Biotecnologia  
Laboratório de Automação Inteligente

---

**ESCALA DE REALIZAÇÃO DE OBJETIVOS (Goal Attainment Scale - GAS)**
**Profissional de Reabilitação**

A GAS é um método para avaliação da medida do alcance dos objetivos individualizados de cada usuário durante a intervenção.

Realizações previstas	Pontuação	Objetivos	
		Configuração do Sistema de Reabilitação	Utilização do Sistema com o paciente
Resultado muito pior do que o esperado	-2	Mais de quinze minutos para configuração do Sistema	Mesmo com a explicação do pesquisador e adaptação o usuário não conseguiu usar o sistema.
Resultado pior do que o esperado	-1	Quinze minutos para configuração do Sistema	Após a explicação e do pesquisador e adaptação o usuário foi capaz de usar o sistema em uma sessão de reabilitação para o paciente, porém necessitou de ajuda constante do pesquisador
Resultado Esperado	0	Dez minutos para configuração do Sistema	Após a explicação do pesquisador e adaptação o usuário foi capaz de usar o sistema em uma sessão de reabilitação para o paciente, porém necessitou de ajuda do pesquisador em alguns momentos.
Resultado melhor do que o esperado	+1	Sete minutos para configuração do Sistema	Após a explicação do pesquisador e adaptação o usuário foi capaz de usar o sistema,
Resultado muito melhor do que o esperado	+2	Menos de sete minutos para configuração do Sistema	Após explicação do pesquisador o usuário foi capaz de usar o sistema em uma sessão de reabilitação para do paciente

## ANEXO E – GOAL ATTAINMENT SCALE - GAS



Universidade Federal do Espírito Santo  
Programa de Pós Graduação em Biotecnologia  
Laboratório de Automação Inteligente

---

**ESCALA DE REALIZAÇÃO DE OBJETIVOS (Goal Attainment Scale - GAS)**
**Participante da Pesquisa**

A GAS é um método para avaliação da medida do alcance dos objetivos individualizados de cada usuário durante a intervenção.

Realizações previstas	Pontuação	Objetivos			
		Adaptação ao Sistema de Reabilitação	Pontuação Jogo2 Braço dominante	Pontuação (Tempo de reação)	Pontuação (Tempo de reação)
Resultado muito pior do que o esperado	-2	Mais de 7 minutos para adaptação ao Sistema	<100	<100	<200
Resultado pior do que o esperado	-1	7 minutos para adaptação ao Sistema	>100 <250	>100 <250	>200 <500
Resultado Esperado	0	5 minutos para adaptação ao Sistema	>250 <400	>250 <400	>500 <800
Resultado melhor do que o esperado	+1	3 minutos para adaptação ao Sistema	>400 <550	>400 <550	>800 <1100
Resultado muito melhor do que o esperado	+2	Menos de 2 minutos para adaptação ao Sistema	>550	>550	>1100