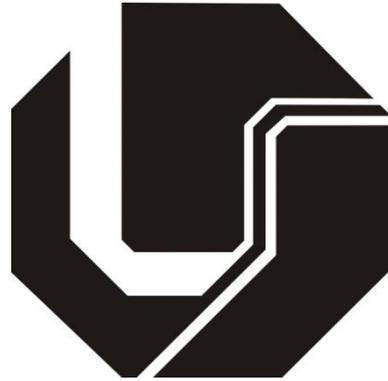


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



UM FRAMEWORK DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA  
PARA O APOIO A SISTEMAS DE REABILITAÇÃO

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia por  
**KENEDY LOPES NOGUEIRA**

Como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Doutor em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**Edgard A. Lamounier Junior, PhD – Orientador**  
**Alcimar Barbosa Soares, PhD – Coorientador**

**UBERLÂNDIA, SETEMBRO DE 2015**

**KENEDY LOPES NOGUEIRA**

**UM FRAMEWORK DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA  
PARA APOIO A SISTEMAS DE REABILITAÇÃO**

Defesa de Tese apresentada por Kenedy Lopes Nogueira, à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Faculdade de Engenharia Elétrica, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração

Processamento da Informação

**Banca Examinadora:**

Edgard A. Lamounier Junior, PhD – Orientador

Adriano de Oliveira Andrade, PhD

Alcimar Barbosa SOARES, PhD

Alexandre Cardoso, Dr.

Ezequiel Roberto Zorzal, Dr.

Judith Kelner, PhD

Uberlândia, MG, Setembro 2015.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

N778u Nogueira, Kenedy Lopes.  
2015 Um framework de realidade virtual e aumentada para apoio a sistemas de reabilitação / Kenedy Lopes Nogueira. - 2015.  
112 f. : il.

Orientador: Edgar Afonso Lamounier Júnior.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.  
Inclui bibliografia.

1. Engenharia biomédica - Teses. 2. Realidade virtual - Teses. 3. Realidade aumentada - Teses. 4. Reabilitação - Teses. I. Lamounier Júnior, Edgar Afonso, 1964- II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

---

CDU: 62:61

**UM FRAMEWORK DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA  
PARA APOIO A SISTEMAS DE REABILITAÇÃO**

**Kenedy Lopes Nogueira**

**Artefato apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Doutor em Ciências.**

---

Edgard Lamounier Júnior – PhD

Orientador

Dedicatória

*A meu irmão um grande homem e  
um médico que sabia o valor de  
um título. Dedico esse “Dr”  
a você.*

## **AGRADECIMENTOS**

*A Deus, que sempre está presente e sem ele não somos nada, sendo a razão principal de minha vida;*

*Ao Professor Edgard A. Lamounier pelas orientações, apoio, compreensão, dedicação e amizade;*

*Aos doutores Alcimar Barbosa, Adriano Oliveira e Alexandre Cardoso pela confiança e valiosas orientações.*

*A minha esposa e companheira de pesquisas e projetos Keila F. C. Nogueira que sempre esteve ao meu lado para tudo.*

*Agradeço especialmente a Andrei Nakagawa e Maristella Borges companheiros de bancada cujos projetos se entrelaçaram ao meu e juntos fomos vitoriosos.*

*Agradeço ainda aos pesquisadores e amigos que contribuíram para o sucesso deste trabalho Alexandre Carvalho, Luciene Chagas, Fabio Monteiro e Igor Peretta.*

*Não podendo deixar de ressaltar ainda dois grandes pesquisadores que por sua ajuda transcender ao trabalho e se tornaram verdadeiramente irmãos Daniel Stefany e Ricardo Boaventura.*

*A todos os colegas dos laboratórios de engenharia biomédica e computação gráfica que convivi.*

*Agradecimentos especiais a CAPES que me concedeu Bolsa de Estudos e a FAPEMIG que através de seu apoio Financeiro através do projeto submetido a mesma (anexo IV), permitiu a compra dos óculos de Realidade Aumentada e o Eletromiografo, ferramentas essenciais para os testes de validação desta Tese.*

## RESUMO

### NOGUEIRA, K L., LAMOUNIER, E. A., UM FRAMEWORK DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA PARA APOIO A SISTEMAS DE REABILITAÇÃO

A presença da computação no cotidiano da humanidade é um fato que está se tornando cada vez mais comum. Na área da saúde, a computação vem revolucionando também: tomografias computadorizadas, exames cada vez mais precisos etc. Este fato pode também ser observado em reabilitação humana, onde a computação tem auxiliado através de técnicas de visualização de dados como Realidade Virtual e Realidade Aumentada. Mas, esse ritmo acelerado de evolução necessita de validação científica e desperta ainda a necessidade de flexionar a troca de parte do sistema quando este se torna obsoleto, uma vez que o suporte as tecnologias tem se tornado cada vez menores. Esta tese propõe uma Framework de visualização de dados que utiliza Realidade Virtual e Realidade Aumentada, permitindo a conexão dos mesmos de forma individual ou simultânea a sistemas de simulação. A arquitetura separa e encapsula as funcionalidades em interfaces distintas e independentes que se comunicam por meio de eventos transmitidos por redes. Este arranjo permite a troca ou conexão de uma nova interface, de acordo com a necessidade, ou a atualização do sistema. Para validar a arquitetura, foram construídos protótipos de simuladores na área da Engenharia Biomédica, onde a combinação de interfaces de visualização e interfaces de aquisição foram implementadas e avaliadas, estudos demonstraram a possibilidade de interfaces diferentes para o mesmo tratamento, permitindo o usuário utilizar uma ou mais dependendo de fatores adaptativos e ergonômicos. Estes protótipos foram testados por uma equipe multidisciplinar fisioterapeutas, engenheiros a fim de validar a proposta de criar uma arquitetura de apoio a criação de ambientes de simulação que permitisse a troca dos módulos de visualização, após vários testes relacionados sobre ergonomia e eficiência da ferramenta, pode-se afirmar que realmente dependendo do grau de limitação de um paciente a troca da interface gráfica promove mais conforto sem comprometer o funcionamento do simulador. Esta arquitetura como desenvolvida mostrou-se uma inovação sendo a mesma registrada.

**Palavras-chave:** Realidade Virtual; Realidade Aumentada; Ambientes de reabilitação; Framework.

## ABSTRACT

The presence of computing in mankind's daily life is a fact that is becoming increasingly common. In health care, computing is revolutionizing also: CT scans, tests more precise etc. This can also be observed in human rehabilitation, where computing has helped through data visualization technologies like Virtual Reality and Augmented Reality. However, the rapid pace of developments require scientific validation and still raises the need to flex the exchange of the system when it becomes stale, since the support technologies have become increasingly smaller. This thesis proposes a Framework view data using Virtual Reality and Augmented Reality, allowing the connection of the same individual or simultaneous simulation systems. The architecture separates and encapsulates the functionality into separate and independent interfaces that communicate through events transmitted by networks. This arrangement allows the exchange or connection of a new interface, as needed, or update the system. To validate the architecture, forão built prototypes simulators in the area of Biomedical Engineering, where the combination of display interfaces and acquisition interfaces were implemented and evaluated, studies have shown the possibility of different interfaces for the same treatment, allowing the User to use one or dependento more adaptive and ergonomic factors. These prototypes were tested by a multidisciplinary team physiotherapists, engineers to validate the proposal to create a support architecture to create simulation environments that allow the exchange of display modules, after several tests related on egonomia and tool efficiency, can If assert that really depend on the degree of limitation of a patient to change the graphical interface promotes more comfort without compromising the operation of the simulator. This architecture as developed proved to be an innovation being the same registered.

**Keywords** : Virtual Reality; Augmented Reality ; Environments for rehabilitation; Framework.

## **ARTIGOS E PUBLICAÇÕES DURANTE O DOUTORADO**

### **ARTIGOS COMPLETOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS**

1. CAETANO, D. S. D. ; MATTIOLI, F. E. R., **NOGUEIRA, K. L.**, LAMOUNIER, Edgard, CARDOSO, Alexandre: Comparison between MLP and LVQ Neural Networks for Virtual Upper Limb Prosthesis Control. Lecture Notes in Computer Science **JCR**, v. 7435, p. 382-389, 2012.

2. LAMOUNIER, J. E. A., **NOGUEIRA, K. L.**, SOARES, A. B., ANDRADE, A., CARDOSO, A.: Using augmented reality techniques to simulate myoelectric upper limb prostheses. Journal of Bioengineer & Biomédical Science, p. 21559538S1-010, 2012.

### **TRABALHOS COMPLETOS PUBLICADOS EM ANAIS DE CONGRESSOS**

1. **NOGUEIRA, K. L.**, SOARES, A. B., SILVA, A. N. :Desenvolvimento de um sistema de eletromiografia para controle de ambiente virtual de *biofeedback* aplicado à reabilitação motora. In: XXIII Congresso Brasileiro em Engenharia Biomédica, 2012, Porto de galinhas. XXIII Congresso Brasileiro em Engenharia Biomédica, 2012.

2. NEVEUX, N. ; **NOGUEIRA, K. L.**, CAETANO, D. S. D. ; LAMOUNIER, E. A. : Immersive augmented reality interface for upper limbs prosthesis. In: Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2012, Paranavaí. 6º Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2012. V. 1.

3. **NOGUEIRA, K. L.**, LAMOUNIER JUNIOR, Edgard Afonso, CARDOSO, Alexandre, SOARES, A. B., Andrade, Adriano: Upper limb prostheses training using augmented reality. In: 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, 2010, Bethesda. UPPER LIMB PROSTHESES TRAINNING USING AUGMENTED REALITY, 2010. v1. P.2451-2454

4. **NOGUEIRA, K. L.**, LAMOUNIER JUNIOR, Edgard Afonso, CARDOSO, Alexandre, SOARES, A. B., Andrade, Adriano: Web-based augmented reality applied to upper limb simulation. In: WRVA'2010, 2010, São Paulo. Web-based augmented reality applied to upper limb simulation, 2010. v.1.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 HIPÓTESES .....	2
1.2 OBJETIVOS E METAS .....	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE .....	3
2. FUNDAMENTOS .....	5
2.1 INTRODUÇÃO.....	5
2.2 INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR.....	5
2.3 INTERFACES GRÁFICAS .....	6
2.3.1. REALIDADE VIRTUAL.....	6
2.3.2. REALIDADE AUMENTADA .....	7
2.4 INTERFACES RV e RA IMERSIVAS .....	7
2.5 SINAIS BIOMÉDICOS .....	8
2.4.1. ELETROENCEFALOGRAFIA (EEG).....	8
2.4.2. ELETROMIOGRAFIA (EMG).....	9
2.6 INTERFACES DE REDE .....	10
2.5.1. SOCKETS .....	11
2.5.2. CORBA .....	11
2.5.3. RMI.....	11
2.5.4. COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS .....	11
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	12
3. TRABALHOS RELACIONADOS .....	13
3.1 INTRODUÇÃO.....	13
3.2 REABILITAÇÃO USANDO REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA .....	13
3.2.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS: .....	15
3.3 REABILITAÇÃO USANDO REALIDADE VIRTUAL .....	15
3.3.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS: .....	16
3.4 REABILITAÇÃO USANDO RV SEM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS .....	16
3.5 REABILITAÇÃO USANDO RV COM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS .....	17
3.5.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS: .....	18

3.6	REABILITAÇÃO USANDO RV COM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS	18
3.6.1	VANTAGENS E DESVANTAGENS:	21
3.7	REABILITAÇÃO USANDO RV COM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS	21
3.7.1	VANTAGENS E DESVANTAGENS:	21
3.8	ESTUDO COMPARATIVO DOS TRABALHOS RELACIONADOS	22
3.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
4.	ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS	26
4.1	INTRODUÇÃO	26
4.2	REQUISITOS DO SISTEMA	27
4.3	PRINCIPAIS REQUISITOS FUNCIONAIS (RF)	28
4.4	PRINCIPAIS REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS (RNF)	29
4.5	CASOS DE USO DO SISTEMA	29
4.6	DIAGRAMAS DE CLASSE	31
4.7	ARQUITETURA DO SISTEMA	33
4.7.1	CONEXÃO (CAMADA DE CONEXÃO COM A REDE)	34
4.7.2	EVENTOS (CAMADA GERENCIADORA DE EVENTOS)	35
A.	ESQUEMA GENÉRICO DE DATAGRAMA	36
B.	DATAGRAMA DE TEXTO	37
C.	DATAGRAMA DE DADOS	37
D.	VETOR GENÉRICO	38
4.7.3	CAMADA DE INTERFACE:	38
4.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
5.	ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO FRAMEWORK	42
5.1	INTRODUÇÃO	42
5.2	DESCRIÇÃO DA CAMADA DE REDE	43
5.3	DESCRIÇÃO DA CAMADA GERENCIADORA DE EVENTOS	45
	Para exemplificar, pode-se observar a chamada do evento e seus dados implementados em c++:	46
5.4	DESCRIÇÃO DA CAMADA DE INTERFACE	48
5.5	<i>FRAMEWORK</i>	48
5.6	INTERFACES	48

5.6.1	INTERFACE DE AQUISIÇÃO - INTERFACE EMG (A) .....	49
5.6.2	INTERFACE RV (C) .....	51
5.6.3	INTERFACE RA IMERSIVA (B) .....	53
5.6.4	INTERFACE DE AQUISIÇÃO - EMULADOR EMG (D) .....	56
5.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO .....	56
6.	ESTUDOS DE CASO DO FRAMEWORK, SUAS APLICAÇÕES, RESULTADOS E LIMITAÇÕES	
	57	
6.1	INTRODUÇÃO .....	57
6.2	PROTOCOLO DE TRATAMENTO .....	58
6.3	REABILITAÇÃO PARA PACIENTES DE AVC COM EMG .....	58
6.4	FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADAS .....	59
6.4.1	TESTES .....	63
6.4.2	AVALIAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	65
6.5	INTERFACE DE CONTROLE DE CADEIRAS DE RODAS .....	67
6.5.1	TESTES E RESULTADOS DO SEGUNDO ESTUDO DE CASO .....	69
6.6	SISTEMA DE CONTROLE DE PRÓTESES COM SINAIS EEG .....	69
6.6.1	TESTES E RESULTADOS DO TERCEIRO ESTUDO DE CASO .....	71
6.7	DISCUSSÃO .....	72
6.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	74
7.	CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA PESQUISAS FUTURAS .....	75
7.1	INTRODUÇÃO .....	75
7.2	DISCUSSÃO .....	75
7.3	CONCLUSÕES .....	76
7.4	TRABALHOS FUTUROS .....	76
7.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	77
	BIBLIOGRAFIA .....	78
	ANEXO I .....	87
	ANEXO II .....	90
	ANEXO III .....	98
	ANEXO IV .....	102

INTRODUÇÃO.....	103
OBJETIVO .....	104
FASE DE INICIAL .....	104
Lista de requisitos Prótese Real.....	104
Lista de requisitos Prótese Virtual.....	104
Lista de Riscos:.....	105
FASE DE ELABORAÇÃO.....	105
Construção prótese real .....	105
Parte de montagem do punho .....	106
MODO DE CONTROLE .....	106
MODELAGEM DO PROTÓTIPO .....	106
MODELAGEM DA PRÓTESE VIRTUAL .....	108
METÁFORA DE CONTROLE DA PRÓTESE .....	112
Características estáticas: .....	112
Características Dinâmicas: .....	112
TIPOS DE INTERAÇÕES DA PRÓTESE.....	112
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	113

# ÍNDICE TABELAS

<b>Tabela 3.1 – Comparação entre trabalhos relacionados.....</b>	<b>24</b>
<b>Tabela 2.1 – Comparação Socket, RMI e RMC.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 6.1 – Características dos Pacientes.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 7.1 – Nova comparação entre trabalhos relacionados.....</b>	<b>73</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Reabilitação Virtual para pacientes com câncer (ONCOFISIO, 2014).....	7
Figura 2 - Ambiente em Realidade Aumentada prótese Virtual (NEVEUX, 2012). ....	7
Figura 3 - Registros Gráficos das Correntes Elétricas de Eletroencefalografia. ....	9
Figura 4 - Coleta de sinais EMG (CAETANO, 2012). ....	10
Figura 5 - Eletromiógrafo MyosystemBr1 PXX (DATAHOMINIS, 2014). ....	10
Figura 6 - Um teste do sistema: realização do experimento (MANIAN, 2011).....	14
Figura 7 - Elevador .....	14
Figura 8 - Sistema de treinamento baseado propriocepção-VR. (SANGWOO, 2014).....	15
Figura 9 - Ambiente virtual de Reabilitação (EDMANS ET AL., 2006).....	17
Figura 10 - Execução da terapia por um voluntário, (a),(b) (MARIANA et al., 2013).....	18
Figura 11 - O movimento do braço durante a execução de terapia .....	18
Figura 12 - Esquema do sistema proposto. Adaptado de (ORSBORNAND, 2007). ....	19
Figura 13 - Fluxograma descrevendo o fluxo de informações dentro do simulador.....	20
Figura 14 - GameStudio visualização do braço com o alvo (ORSBORNAND, 2007).....	20
Figura 15 - Diagrama esquemático de um sistema de controle.....	21
Figura 16 - Caso de uso do sistema proposto .....	30
Figura 17 - Caso de Uso para Análise .....	30
Figura 18 - Diagrama de classes da camada de redes.....	31
Figura 19 - Diagrama de classes da camada de eventos.....	32
Figura 20 - Camadas que compõem uma Interface. ....	34
Figura 21 - Camada de rede da arquitetura.....	34
Figura 22 - Datagrama genérico e seus campos de dados. ....	35
Figura 23 - Formatação dos possíveis Datagramas. ....	36
Figura 24 - Esquema de um Datagrama .....	36
Figura 25 - Datagrama de Texto para <i>Feedback/Call</i> .....	37
Figura 26 - Datagrama de Dados Numéricos do tipo Matriz .....	37
Figura 27 - Datagrama de Dados Numéricos do tipo Vetor. ....	38
Figura 28 - Datagrama de Dados do tipo Genérico .....	38

Figura 29 - Exemplos de Interfaces Clientes .....	40
Figura 30 - Relacionamento Cliente-Servidor sockets .....	44
Figura 31 - Implementação de sistema usando duas interfaces (aquisição/visualização). .....	45
Figura 32 - Criação dos Datagramas. ....	46
Figura 33 - Camada de eventos responsável por identificar os Datagramas. ....	46
Figura 34 - Diagrama de decomposição de eventos e tipos. ....	48
Figura 35 - Interfaces Implementadas para testes em casos de Uso.....	49
Figura 36 - Representação da montagem de sistemas utilizando combinação de interfaces ...	49
Figura 37 - Camada de interface, Interface biomédica de aquisição EMG.....	50
Figura 38 - Representação dos ângulos possíveis do Braço Virtual.....	50
Figura 39 - Tela para coleta do sinal EMG .....	51
Figura 40 - Detalhamento do exercício proposto pela terapeuta. ....	52
Figura 41 - Exercício de reabilitação.....	52
Figura 42 - Comparação entre Vuzix 920 AR (esquerda) e Vuzix 1200 AR (direita).....	53
Figura 43 - Óculos RA imersivo sobre marcador XNA Goblin.....	54
Figura 44 - Sistema de Reabilitação em Realidade Aumentada, usando interfaces .....	55
Figura 45 - Modulo RA em funcionamento .....	55
Figura 46 - Emulador de Interface de aquisição.....	56
Figura 47 - Sobreposição da Arquitetura ao relacionamento entre interfaces.....	61
Figura 48 - Módulos usados no sistema reabilitação de pacientes de AVC.....	62
Figura 49 - Jogo criado para reabilitação de pacientes AVC. ....	63
Figura 50 - Voluntários saudáveis .....	63
Figura 52 - Sistema de reabilitação em uso por pacientes que sofreram AVC. ....	65
Figura 52 - Média de acertos em (%) no exercício.....	66
Figura 53 - Usabilidade .....	66
Figura 54 - Expectativa dos pacientes sobre sua recuperação.....	67
Figura 55 - Interfaces de aquisição (direita) e RV(esquerda) integradas .....	68
Figura 56 - Integração de interfaces para simulação de cadeira de rodas .....	68
Figura 57 - Esquema de controle de próteses usando sinais EEG.....	69
Figura 58 - Interfaces do sistema de controle de próteses com sinais EEG.....	70
Figura 59 - Testes de controle de próteses com sinais EEG.....	71

Figura 60 - Interface de aquisição de sinais EEG.....	71
Figura 61 - Este paciente apresenta contratura em rotação interna do ombro.....	91
Figura 62 - Visão geral do funcionamento do protótipo .....	91
Figura 63 - Criação de um projeto.....	92
Figura 64 - Seleção do tipo de aplicação .....	92
Figura 65 - Adicionando Referência ao projeto .....	93
Figura 66 - Adicionado dll .....	93
Figura 67 - Verificando inclusão do dll.....	94
Figura 68 - Adicionando diretiva using.....	94
Figura 69 - Instanciando Objeto .....	95
Figura 70 - Interface de Teste.....	95
Figura 71 - Criando conexão de Dados .....	96
Figura 72 - Criando envio de <i>FeedBack</i> .....	96
Figura 73 - Exemplo de envio de <i>FeedBack</i> .....	97
Figura 74 - Recebimento de Evento .....	97
Figura 75 - Cotos de (a) Braço e (b) antebraço .....	105
Figura 76 - Levantamento da medida do braço (PEQUINE, 2000). .....	107
Figura 77 - Levantamento da medida do antebraço (PEQUINE, 2000).....	107
Figura 78 - Exemplo da prótese do Dr. Kuiken (SPITALIERI, 2011).....	108
Figura 79 - Detalhes da modelagem em 3D Studio parte 1 .....	109
Figura 80 - Detalhes da modelagem em 3D Studio parte 2.....	109
Figura 81 - Movimento de pronação/supinação do punho .....	110
Figura 82 - Movimento de abrir/fechar a mão.....	110
Figura 83 - Movimento de flexão/extensão do cotovelo .....	111
Figura 84 - Movimento de flexão/extensão do punho.....	111

# LISTA DE ABREVIATURAS

**API** - Application Programming Interface

**AR** – Auto Regressivo

**ARToolKit** - Augmented Reality Tool Kit

**AVC** – Acidente Vascular Cerebral

**BioLab** - Laboratório de Bioengenharia e automática

**CAREN** - Computer Assisted Rehabilitation Environment

**CORBA** - Common Object Request Broker Architecture

**DDP** - Diferença de Potencial Elétrico

**EESC** - Escola de Engenharia de São Carlos

**EMG** - Eletromiógrafo

**FEELT** - Faculdade de Engenharia Elétrica

**GUI** - Graphical User Interface (Interface Gráfica do Usuário)

**IDL** - Interface Definition Language

**IFTM** - Instituto Federal do Triângulo Mineiro

**IP** - Internet Protocol ( Protocolo de Internet)

**LAN** - Local Area Network (Rede Local)

**LMS** - Least Mean Square

**MLP** - Multi-Layer Perceptron (Perceptron Multi-Camadas)

**MUAP** - Motor Unit Action Potential

**MUAPT** - Motor Unit Action Potential Train

**OMG** - Object Management Group

**OpenGL** - Open Graphics Library

**RA** - Realidade Aumentada

**RMI** - Remote Method Invocation

**RNA** - Redes Neurais Artificiais

**RPC** - Remote Procedure Call (Chamada de Procedimento Remoto)

**RV** - Realidade Virtual

**TCP** - Transfer Control Protocol (Protocolo de Controle de Transferência)

**UDP** - User Datagram Protocol

**USP** - Universidade de São Paulo

**UFU** - Universidade Federal de Uberlândia

**VRML** - Virtual Reality Modeling Language

---

# 1. INTRODUÇÃO

---

É notório o crescimento tecnológico nos diversos ramos da Ciência. Em particular, a área da saúde tem sido beneficiada pelos avanços da Computação. De fato, a computação tem auxiliado os profissionais tanto no diagnóstico preciso e na intervenção adequada, como na reabilitação de pacientes.

Os métodos terapêuticos estão ampliando espaços para o apoio de recursos que proporcionem aos pacientes uma maneira mais prazerosa e interativa de tratamento. E neste contexto, as aplicações se destacam pelo uso de tecnologias tais como Realidade Virtual e Realidade Aumentada, por proporcionarem uma interface mais natural e intuitiva, estas ferramentas possuem a flexibilidade para edição de ambientes virtuais de treinamento e simulação para reabilitação.

Dentre novas interações e interfaces apresentadas, a utilização de jogos virtuais no ambiente terapêutico (nos quais os pacientes a serem tratados tem um maior envolvimento com a reabilitação) tem se mostrado como uma considerável ferramenta de apoio.

Assim, tem se observado nos últimos anos, uma tendência do uso de simuladores, muitas vezes baseados em jogos, juntamente com técnicas de Realidade Virtual e Realidade Aumentada para fins de reabilitação.

Mais recentemente ainda observa-se o emprego da Realidade Aumentada Imersiva (permeada por dispositivos que promovem uma imersão cognitiva mais profunda) em aplicações de Simulação e Reabilitação.

Entretanto, vários desafios são identificados quando pesquisadores fazem o uso destas tecnologias com fins da melhoria da saúde humana. Por exemplo, a necessidade de sincronia em tempo real da leitura e processamento do sinal biomédico e o controle do ambiente virtual. Igualmente, não é trivial a troca da camada de visão (por exemplo, RV) para uma por outra camada da visão (por exemplo, RA).

Daí, a necessidade de se investigar mecanismos que permitam que essa mudança seja menos trabalhosa. Na realidade, o ideal é que a aplicação suporte diferentes formas de visualização e interação da interface. Isto porque, além da diversidade de possibilidades de interfaces naturais, tais ambientes são úteis até na perspectiva do paciente durante sua terapia.

Há ainda que acrescentar que, do ponto de vista do profissional de saúde, um ambiente que proporcione análise de diferentes sinais biomédicos é mais atrativo para diferenciação de diagnósticos e sessões de terapia.

Entretanto, não se encontrou na literatura nenhum aplicativo que permitá, ao mesmo tempo, a possibilidade de análise de diferentes sinais biomédicos, juntamente com diferentes ambientes de visualização 3D.

## **1.1 HIPÓTESES**

Considerando-se o modelo discutido e as questões decorrentes sobre sistemas de reabilitação, algumas hipóteses são identificadas a fim de investigar e comprovar suas veracidades.

H1: É possível desenvolver uma arquitetura de software que é capaz de interoperar os dados de diversos dispositivos de Interface Humana Computador (IHC). Este aparato tem o potencial para propiciar mais opções de Entrada/Saída de dados e *feedback* para a construção de sistemas que façam uso de interfaces gráficas.

H2: A possibilidade de usar simultaneamente uma ou mais interfaces de visualização poderia proporcionar mais ergonomia no uso de simuladores.

H3: A criação de uma arquitetura orientada a conexão que divide as ações de comunicação, processamento e interface poderia possibilitar a atualização ou troca de parte do sistema sem comprometer o todo.

## **1.2 OBJETIVOS E METAS**

O objetivo desta tese é investigar técnicas computacionais que possibilitem o desenvolvimento de uma arquitetura de software que permita a definição dos componentes de

software, suas propriedades externas, e seus relacionamentos com outros softwares, flexibilizando o uso de Realidade Aumentada e Virtual em sistemas de simulação utilizando aplicações modulares independentes que se interligam permitindo a criação de um sistema como por exemplo o auxílio a recuperação de pacientes através de emuladores gráficos. Além disso, esta pesquisa propõe adequabilidade de uma arquitetura, que possibilite um *framework* (aquisição/processamento/interface gráfica) flexível a diferentes tecnologias de entrada/saída de dados inclusive RV e RA. Para atingir tal objetivo as seguintes metas foram traçadas:

- Pesquisar sistemas de simulação ou reabilitação que usem técnicas de RV e RA no auxílio à reabilitação motora do ser humano, investigando suas arquiteturas e integração de módulos de aquisição e processamento com sua respectiva interface gráfica;
- Projetar um sistema de reabilitação que funcione em tempo real suportando técnicas de RV e RA;
- Avaliar o sistema proposto junto a potenciais usuários.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE**

A presente Tese consiste de 7 capítulos, dentre os quais a introdução que já foi descrita neste capítulo, e os demais que são descritos a seguir:

2. **FUNDAMENTOS:** Apresenta uma visão geral sobre conceitos Biomédicos (Sinais Eletromiográficos e Eletroencefalográficos), interfaces homem computador, sistemas distribuídos e interfaces gráficas (Realidade Virtual e Realidade Aumentada).

3. **TRABALHOS RELACIONADOS:** Introduce estado da arte e apresenta alguns sistemas computacionais relacionados à sistemas de reabilitação usando sinais biológicos EMG, suas potencialidades e limitações focando na arquitetura de integração de interfaces de aquisição e interfaces de visualização.

#### **4. ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS:**

Apresenta os requisitos do sistema, detalhes de implementação da arquitetura proposta.

#### **5. IMPLEMENTAÇÃO DO FRAMEWORK E DAS INTERFACES:**

Descreve a construção do *framework* e a implementação a partir do mesmo das interfaces de visualização e aquisição de dados.

#### **6. ESTUDOS DE CASO, SUAS APLICAÇÕES E RESULTADOS E LIMITAÇÕES:**

Durante a pesquisa desenvolve se três estudos de caso, aplicações distintas são geradas a partir da combinação das interfaces de aquisição e interfaces gráficas, para fins de teste. Além de confrontar as questões levantadas no Capítulo 3 com resultados obtidos nos Estudos de caso.

## 7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Apresenta as considerações finais, conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

---

## 2. FUNDAMENTOS

---

### 2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo foi organizado para promover o entendimento sistemático dos conceitos abordados nesta tese.

Alguns conceitos básicos sobre a área de Engenharia Biomédica, mas especificamente sinais eletromiográficos e eletroencefalográficos.

No que tange à computação, abre-se espaço para os conceitos de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA), seguidos dos conceitos de Redes de computadores (Comunicação entre processos), que são fundamentais na compreensão do funcionamento do protótipo desenvolvido e as características tecnológicas envolvidas na aplicação.

### 2.2 INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR

O termo Interface Humano-Computador (IHC) surgiu na segunda metade dos anos 80, como forma de descrever um campo de investigação preocupado não somente com o design e interface de sistemas computacionais, mas também com o foco de interesse e de demandas do público (GUEDES, 2008). Não obstante, a falta de concepção devidamente estabelecida, face à citada dificuldade de formar conceitos, IHC pode ser definida como a área preocupada com design, avaliação e implementação de sistemas computacionais interativos para uso humano, e,

ainda, com o estudo dos principais fenômenos subjacentes a eles (ROCHA, 2003). Esta área do conhecimento é de extrema relevância no contexto atual onde se procura interagir de forma alternativa em certos casos, como em sistemas de reabilitação ou mesmo de forma mais natural buscando conforto e ergonomia.

## **2.3 INTERFACES GRÁFICAS**

As interfaces gráficas surgiram na década de 80, e ganharam destaque frente as interfaces de texto, até então dominantes, onde o usuário interagira com o computador por meio de comandos escritos, o que dificultava a sua utilização por pessoas leigas, devido à necessidade de decorar estes comandos e ainda conhecer todas as suas particularidades (STEFANELLI, 2002).

Neste trabalho as interfaces de Realidade Virtual e Realidade Aumentada serão destaque, enquanto a RV cria ambientes totalmente virtuais, a RA mistura elementos do mundo real com elementos virtuais. Contudo, ambas tecnologias, em graus diferentes, têm como características a imersão (a aplicação deve ser apresentada de forma que o usuário se sinta integrado ao ambiente); a interação (possibilidade de executar ações que tenham reflexos neste ambiente); e o envolvimento (engajamento do usuário na atividade) (GUIMARÃES, 2014).

### **2.3.1. REALIDADE VIRTUAL**

A Realidade Virtual pode ser definida como uma das formas mais avançadas de interface do usuário com o computador até o momento (GUIMARÃES, 2014 apud KIRNER, 2007). Com aplicação na maioria das áreas do conhecimento, e com um grande investimento das indústrias na produção de hardware, software e dispositivos de E/S (Entrada/Saída) especiais, a Realidade Virtual vem experimentando um desenvolvimento acelerado indicando perspectivas bastante promissoras para os diversos segmentos vinculados com a área (GUIMARÃES, 2014 apud KIRNER, 2007). Uma definição um pouco mais refinada de Realidade Virtual pode ser vista como uma interface avançada para aplicações computacionais, onde o usuário pode navegar e interagir, em tempo real, em um ambiente tridimensional gerado por computador, usando dispositivos multisensoriais (KIRNER et al., 1995). Essa interface está sendo utilizadas nas mais variadas áreas de pesquisa, como em simuladores, a Figura 1 ilustra o uso de um ambiente de Realidade Virtual para reabilitação, onde um paciente realiza terapia no mesmo.

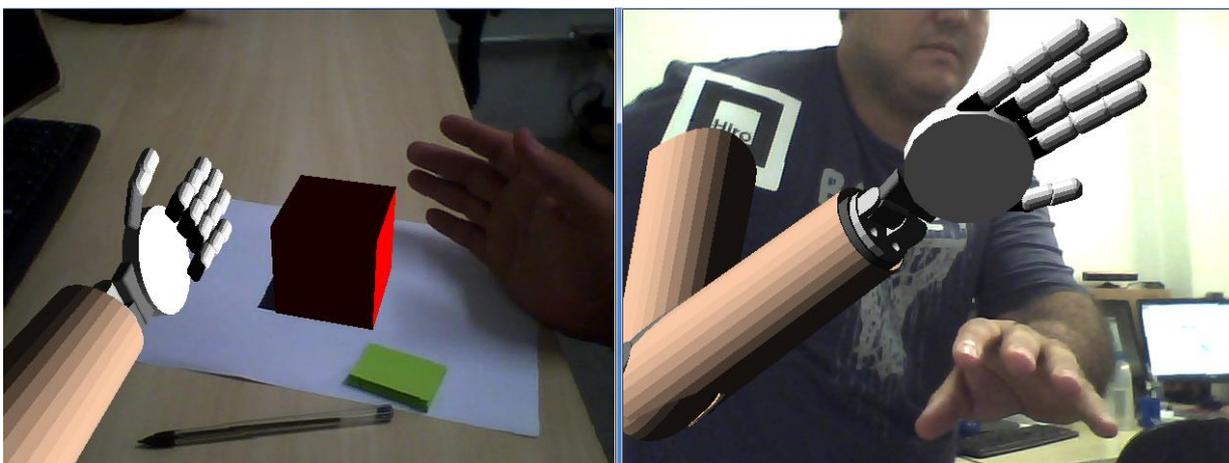


**Figura 1 - Reabilitação Virtual para pacientes com câncer (ONCOFISIO, 2014).**

### **2.3.2. REALIDADE AUMENTADA**

Realidade Aumentada promove a inserção de objetos virtuais no ambiente físico em tempo real, com o apoio de dispositivo tecnológico, que permita a captura e sincronismo de apresentação de objetos reais e virtuais (KIRNER et al., 2008).

A Figura 2 exibe um ambiente de Realidade Aumentada utilizando a tecnologia ArtoolKit onde o usuário interaja com objetos virtuais controlados por sinais provenientes do corpo humano.



**Figura 2 - Ambiente em Realidade Aumentada prótese Virtual (NEVEUX, 2012).**

## **2.4 INTERFACES RV e RA IMERSIVAS**

A idéia de imersão está ligada ao sentimento de fazer parte do ambiente. Normalmente,

um sistema imersivo é obtido com o uso de capacete de visualização, ou cavernas; sistemas imersivos baseados em salas com projeções das visões nas paredes, teto, e piso [Cruz-Neira, 1992]. Além do fator visual, dispositivos ligados aos demais sentidos também são importantes para o sentimento de imersão, como o som [Begault, 1994; Gradecki, 1994], o posicionamento automático da pessoa e dos movimentos da cabeça, controles reativos, etc. A visualização de uma cena 3D em um monitor é considerada não imersiva. Dessa forma, tem-se a conceituação de RV imersiva e não imersiva [Leston, 1996].

De modo geral, do ponto de vista da visualização a RV imersiva utiliza capacete ou cavernas, enquanto a RV não imersiva utiliza monitores. Entretanto, dispositivos baseados nos demais sentidos podem introduzir algum grau de imersão à RV que usa monitores [Robertson, 1993]. Os monitores ainda apresentam alguns pontos positivos, como o baixo custo e a facilidade de uso, evitando as limitações técnicas e problemas decorrentes do uso do capacete.

## **2.5 SINAIS BIOMÉDICOS**

Esta seção apresenta uma breve introdução sobre os principais tipos de sinais biomédicos. Estes sinais refletem variáveis fisiológicas e, portanto, um meio de condução de informações. As fontes geradoras de sinais biomédicos são as células nervosas e musculares. Estudos mostram que a atividade de uma rede de neurônios ou de músculos pode ser medida por eletrodos posicionados, por exemplo, na superfície da pele (GUYTON E HALL, 2002).

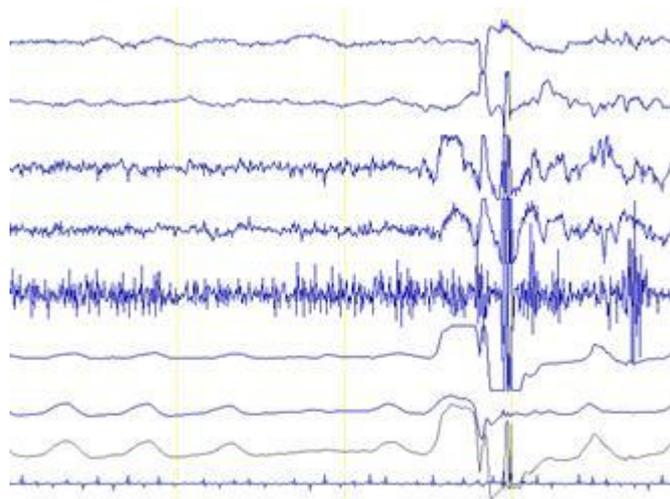
A fonte geradora do sinal biomédico é o potencial de membrana que sobre certas condições, pode ser excitado para gerar um potencial de ação. Em coleta de dados, onde os eletrodos de superfície são utilizados como sensores, o campo elétrico gerado pela ação de muitas células, distribuído na vizinhança dos eletrodos, constitui o sinal bioelétrico. O campo elétrico se propaga através do meio biológico. Desse modo, o potencial pode ser adquirido em posições relativamente adequadas na superfície, reduzindo a necessidade de uma medição interna do sistema (NORTHROP, 2004).

As próximas seções apresentam uma breve descrição dos tipos mais comuns de sinais biomédicos.

### **2.4.1. ELETROENCEFALOGRAFIA (EEG)**

Em 1929, um psiquiatra alemão chamado Hans Berger, anunciou ao mundo científico e médico que era possível registrar as fracas correntes elétricas geradas no cérebro humano, sem

a necessidade de abrir o crânio e ainda mostrá-las na forma de registro em papel (SABBATINI, 1997). Berger denominou a esta nova forma de registro fisiológico de eletroencefalograma (ou EEG). Além disso, foi demonstrado que esta atividade muda de características de acordo com o estado funcional do cérebro, tais como no sono, na anestesia, na hipóxia (falta de oxigênio) e em certas doenças nervosas, como na epilepsia. A eletroencefalografia é o estudo dos registros gráficos das correntes elétricas, desenvolvidas no encéfalo capturadas por meio de eletrodos aplicados no couro cabeludo (Figura 3), na superfície encefálica, ou até mesmo dentro da substância encefálica. A maioria dos sinais cerebrais observados situam-se entre 1 e 20Hz (SABBATINI, 1997).



**Figura 3 - Registros Gráficos das Correntes Elétricas de Eletroencefalografia (SABBATINI, 1997).**

#### **2.4.2. ELETROMIOGRAFIA (EMG)**

A eletromiografia (EMG) é uma técnica para avaliar e registrar a atividade elétrica produzida por músculos (KAMEN, 2004). Ela é realizada por meio de um instrumento chamado eletromiógrafo. Na Figura 4 se observa um sistemas de coleta de sinais EMG, onde a esquerda se encontra um eletromiógrafo. O EMG é um recurso que capta o sinal mioelétrico resultante dos potenciais de ação das fibras musculares, que ocorrem antes da sua contração, portanto não é uma medida da força muscular (CARVALHO et al., 2001). A origem do sinal eletromiográfico é o potencial de ação que é disparado por cada unidade motora ativada durante a contração muscular. É a soma da atividade de todas as unidades motoras que constitui o sinal eletromiográfico (CAMARGOS, 2006), que poderá ser captado por eletrodos superficiais colocados na pele (CARVALHO et al., 2001).



**Figura 4 - Coleta de sinais EMG (CAETANO, 2012).**

Um eletromiógrafo (Figura 5) detecta o potencial elétrico gerado pelo músculo quando essas células são eletricamente ou neurologicamente ativadas. Os sinais podem ser analisados para detectar anormalidades médicas, nível de ativação, da ordem de recrutamento ou para analisar a biomecânica do movimento humano ou animal.



**Figura 5 – Eletromiógrafo MyosystemBr1 PXX (DATAHOMINIS, 2014).**

## **2.6 INTERFACES DE REDE**

Este tópico apresenta as principais formas utilizadas, contemporaneamente, para interligar processos que trabalham juntos, sendo locais ou remotos, ou seja, que podem ou não estar no mesmo computador, se comunicação usando tecnologia de sistemas distribuídos.

### 2.5.1. SOCKETS

*Socket* é definido como a combinação de:

- um endereço *Internet Protocol (IP)*;
- o número de uma porta do protocolo de transporte (TCP ou UDP), acessado por um programa específico que utiliza este protocolo (IANA, 2014).

Um *socket* pode ser usado em ligações de redes de computadores para estabelecer um elo bidirecional de comunicação entre dois programas que utilizam o mesmo protocolo.

### 2.5.2. CORBA

O padrão CORBA é um modelo proposto pela OMG (*Object Management Group*), objetivando promover uma tecnologia de objetos de forma distribuída, ou seja, é uma estrutura comum para o desenvolvimento de aplicações independentes (SIEGEL, 2000). Ele visa diminuir, consideravelmente, os custos e a complexidade, proporcionando caminhos para o surgimento de novas aplicações a partir dos conceitos propostos pela OMG. O CORBA, resumidamente, propõe a interoperabilidade local ou remota entre aplicações, independente das linguagens de programação em que foram desenvolvidas e sobre quais plataformas serão executadas. A primeira versão do CORBA, surgiu em 1991, momento este, onde se definiu a IDL (*Interface Definition Language*) e a API (*Appliation Programing Interfaces*) (SERRA, 2004).

### 2.5.3. RMI

O RMI (*Remote Method Invocation*) é uma interface de programação que permite a execução de chamadas remota de procedimento (RPC, acrônimo de *Remote Procedure Call*) em aplicações desenvolvidas em Java. É uma das abordagens da plataforma Java para prover as funcionalidades de uma plataforma de objetos distribuídos (RICARTE, 2002).

### 2.5.4. COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE SISTEMAS DISTRIBUÍDOS

Em um estudo comparativo feito por (TRAMONTINA, 2002) os resultados dos testes comprovaram que a transmissão de mensagens utilizando *Socket* em C++ foi cerca de quatro vezes mais rápida, em relação ao RMI do Java e do CORBA, e cerca de duas vezes mais rápida do que o *Socket* em Java, outro estudo mostrou que a tecnologia de *Socket* foi mais rápida, quando comparada, com as outras tecnologias. Para o teste os dados transmitidos foram os mesmos, o desempenho entre as tecnologias como pode ser visto na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1 - Comparação entre *Socket*, RMI e RMC**

<b>Tecnologia</b>	<b><i>Socket</i></b>	<b>RMI</b>	<b>RMC</b>
<b>Tempo gasto</b>	<b>0,0027 ms</b>	<b>0,37 ms</b>	<b>1,5 ms</b>

O procedimento constava em iniciar o servidor e o cliente e fazer com que este último requisitasse ao primeiro à realização de 100.000 operações (TRAMONTINA, 2002). Em um mecanismo muito simples, usando chamadas diretas do sistema operacional, o *Socket* obteve melhor tempo de execução (TRAMONTINA, 2002).

## **2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo, foram abordados os conceitos básicos sobre eletromiografia e *Graphics User Interfaces* (GUI), especificamente, Realidade Virtual e Aumentada e ainda conceitos de redes de computadores focando em mecanismos de comunicação.

Os conceitos vistos neste capítulo são essenciais para o bom entendimento deste trabalho. O próximo capítulo trata-se da análise de trabalhos relacionados que de alguma forma contribuíram para a realização desse estudo.

---

## 3. TRABALHOS RELACIONADOS

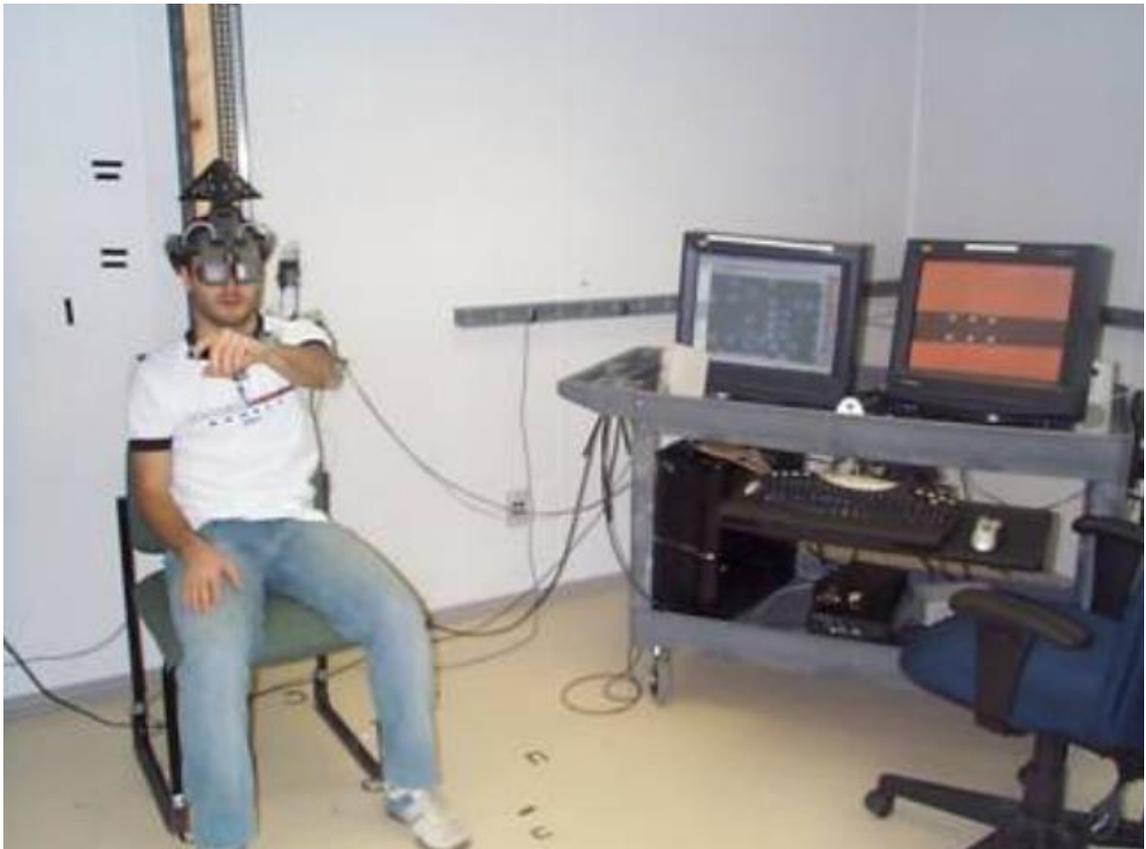
---

### 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta um estudo sobre o uso de sistemas computacionais que permitam o uso de sinais biomédicos com fins de reabilitação. Esta pesquisa visou enfatizar o uso de sinais EMG e interfaces gráficas com usuários (GUI) em RV e/ou RA. O objetivo aqui é apresentar uma análise comparativa do uso de técnicas de RV e RA em processos de reabilitação.

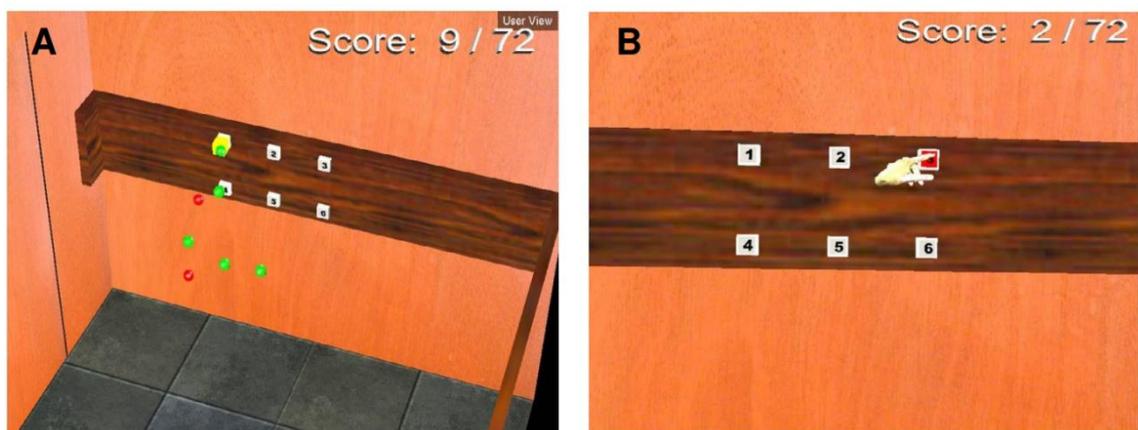
### 3.2 REABILITAÇÃO USANDO REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA – Sistema SIS-OPTOTRACK TEM

O sistema SIS-OPTOTRACK TEM é um sistema utilizado para auxiliar na reabilitação de pessoas, após um AVC, o mesmo pode ser observado na Figura 6 (SUBRAMANIAN, 2011).



**Figura 6 - Um teste do sistema: realização do experimento (à esquerda), sistema de Realidade Virtual (à direita) (SUBRAMANIAN, 2011)**

Trata-se de um sistema de rastreamento com uso de HMD (*Head Mounted Display*) e *CyberGloves*. Durante, o treinamento o paciente é estimulado a utilizar um elevador, por meio da seleção de botões (Figura 7).



**Figura 7 -Elevador cenas: A - Esferas representam marcadores de posição no braço e tronco do usuário e o cubo em frente a Meta 1 é o deslocamento adicionado ao detectar colisão entre a ponta do dedo e o alvo (botão). B - O ambiente virtual onde o *score* do participante é indicado no canto superior direito do painel. (SUBRAMANIAN, 2011)**

O sistema utiliza a plataforma CAREN *Computer Assisted Rehabilitation Environment* (VAN DER EERDEN, 1999) que permite a integração de ambientes de Realidade Virtual a sistemas biomédicos.

### 3.2.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS:

Apesar da integração proposta pelo trabalho (SIS-OPTOTREK TEM), não é possível analisar diferentes sinais biomédicos em sua plataforma. Além disso o sistema não suporta diferentes interfaces para apresentação e dificulta a análise dos resultados obtidos, durante o processo de reabilitação.

### 3.3 REABILITAÇÃO USANDO REALIDADE VIRTUAL, SEM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS, USANDO RASTREADOR

Este trabalho utiliza técnicas de Realidade Virtual como *feedback* visual a uma terapia de reabilitação de pacientes pós traumatizados com tempo de AVC superior a 3 anos (SANGWOO, 2014). O paciente movimenta seu membro superior, sob um anteparo que cobre o movimento do mesmo. No ambiente virtual um membro se movimenta e quando o paciente achar que o mesmo toca uma esfera o paciente clica com mouse utilizando a mão saudável. O sistema mede a diferença entre o real e o virtual mensurando a percepção espacial do paciente. A Figura 8 ilustra o uso do sistema, onde o paciente se posiciona em frente ao ambiente virtual, a aquisição da posição do membro afetado (Mão direita) se faz com o uso de um rastreador e um mouse na mão direita é usado para disparar comparação da posição real e virtual.



Figura 8 - Sistema de treinamento baseado propriocepção-VR. (SANGWOO, 2014)

O sistema foi desenvolvido utilizando o *engine 3D Game Studio (Conitec Datasystems Corp., Germany)*. Este sistema se enquadra em uma nova tendência de aplicações denominadas *serious games*. A fim de avaliar o *feedback* do sistema sobre propriocepção Virtual, foram recrutados 10 pacientes com AVC (idade:  $54,7 \pm 7,83$  anos, traumatizados há:  $3,29 \pm 3,83$  anos) e 10 indivíduos saudáveis, pareados por idade (idade:  $56,4 \pm 4,53$  anos).

### **3.3.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS:**

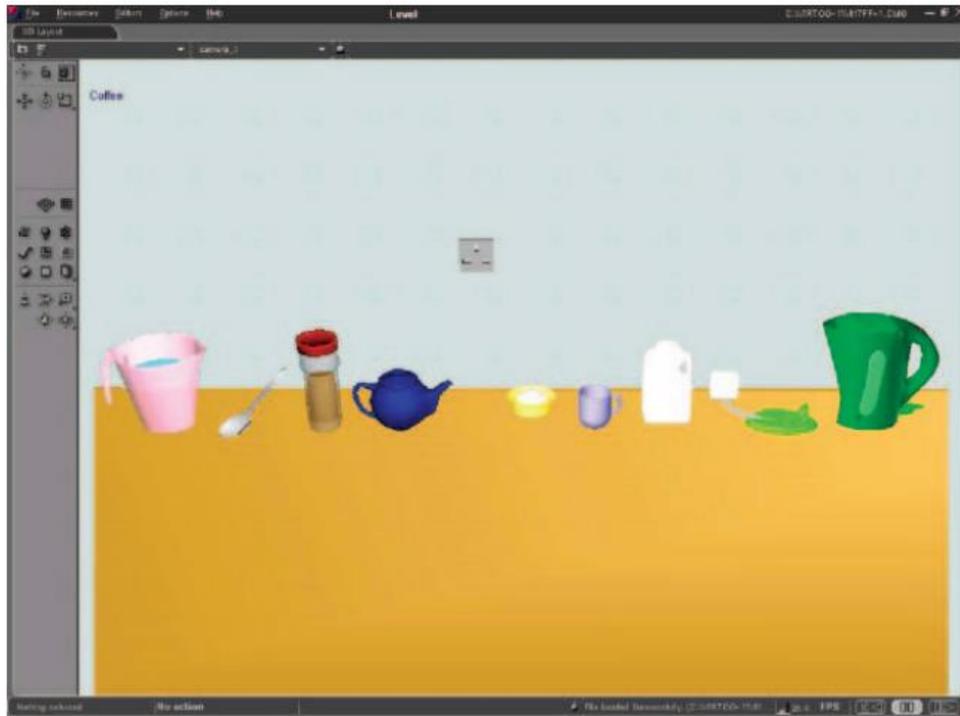
O sistema provê *Feedback* visual de acertos ao alvo (apertar o botão). Toda reabilitação é realizada em um ambiente de Realidade Virtual, não permitindo a escolha de outras interfaces visual. O sistema não faz uso de sinais biomédicos, fazendo mapeamento de movimentos utilizando sensor de posição magnético.

### **3.4 REABILITAÇÃO USANDO REALIDADE VIRTUAL SEM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS**

Neste trabalho, um ambiente virtual é desenvolvido e utilizado na reabilitação de pacientes com AVC. O sistema consiste em um exercício de reabilitação, através da realização de uma tarefa, (por exemplo, preparar uma bebida quente e beber a mesma) (EDMANS et al., 2006).

Cinquenta pacientes acometidos de AVC em fase de reabilitação em uma unidade de hospital Reino Unido estavam envolvidos. Deficiências neurológicas foram medidas através de avaliações padronizadas. E erros no desempenho da tarefa foram avaliados através de gravações de vídeo, onde foram classificados os tipos de erros.

O ambiente virtual onde os pacientes interagem com utensílios para preparação da bebida quente é ilustrado na Figura 9, o paciente seleciona e movimenta os ingredientes usando mouse.



**Figura 9 - Ambiente virtual de Reabilitação (EDMANS ET AL., 2006).**

#### **VANTAGENS E DESVANTAGENS:**

O sistema faz uso de mouse para interagir com ambiente virtual (selecionar, arrastar). Não utiliza sinais biomédicos, avaliação dos erros realizada em análise visual de vídeo da sessão de fisioterapia não processando dados em tempo real e análise dos dados de forma não computadorizada. Utiliza unicamente a Interface de Realidade Virtual não permitindo outras interfaces de visualização.

### **3.5 REABILITAÇÃO USANDO REALIDADE VIRTUAL COM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS**

Este trabalho tem como finalidade desenvolver um sistema de *biofeedback* susceptível de ser aplicado na reabilitação de indivíduos que perderam funções motoras e neurológicas (MARIANA et al., 2013).

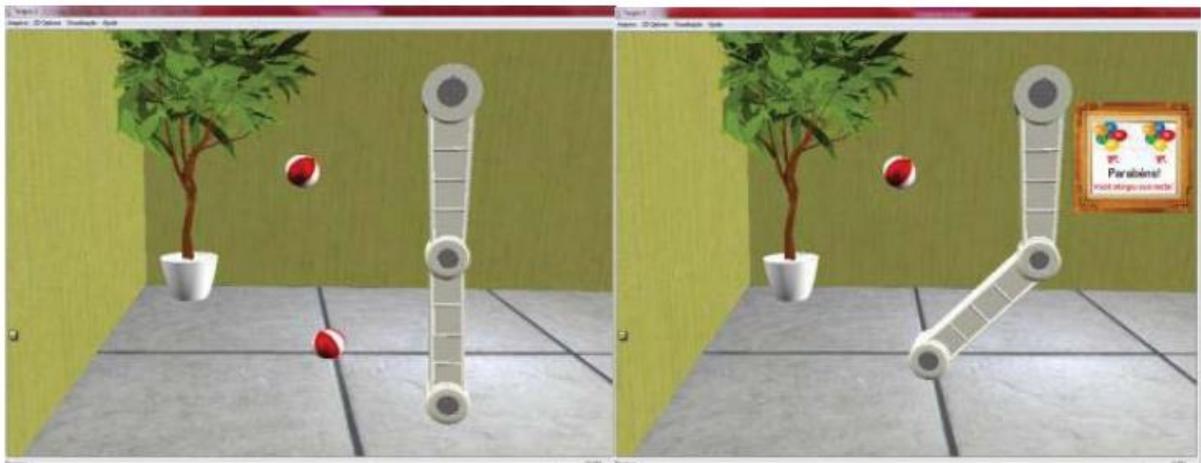
Como exemplo, têm-se vítimas de acidente vascular cerebral (AVC), por meio de terapias que permitam o reforço muscular ou relaxamento. O sistema consiste em uma série de exercícios onde os pacientes, através de estímulos do membro afetado tentam realizar tarefas, como as ilustradas nas Figuras 10 e 11.



(a)

(b)

Figura 10 - Execução da terapia por um voluntário, (a) Realização de contração (b) Feedback visual da contração sobre o ambiente virtual (MARIANA et al., 2013).



(a)

(b)

Figura 11 - O movimento do braço durante a execução de terapia, Controle do braço com duas bolas (alvos) (a) exemplo quando o braço não acerta a bola (b) mostra a mensagem "Parabéns" aparece quando o paciente toca na bola (MARIANA et al., 2013).

### 3.5.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS:

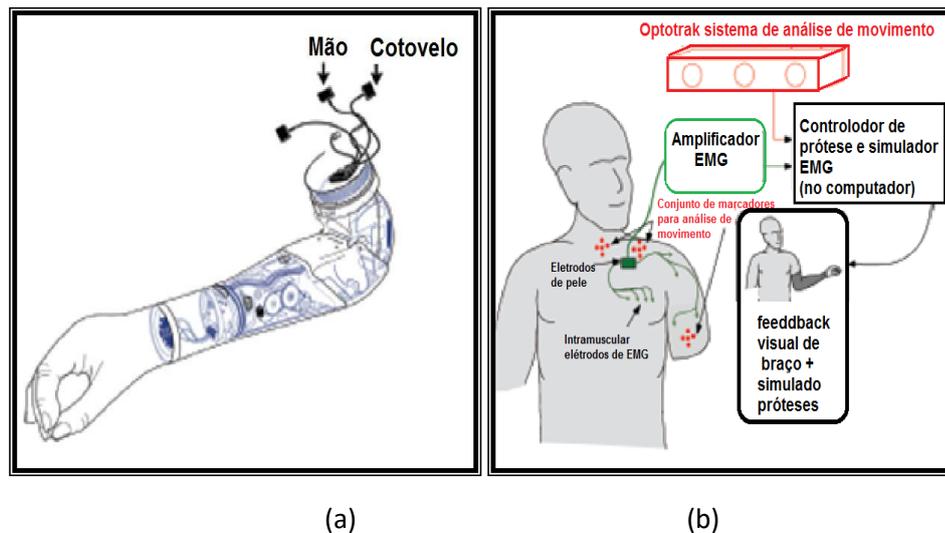
O sistema possui interface gráfica em Realidade Virtual não contemplado Realidade Aumentada. O sistema é baseado em Jogos para reabilitação (*Serious Games*). O Sistema com interfaces de aquisição e gráfica integradas na aplicação.

### 3.6 REABILITAÇÃO USANDO REALIDADE VIRTUAL COM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS

O objetivo deste projeto foi criar um sistema de controle para próteses, utilizando sinais EMG para reproduzir ações humanas cotidianas. Investigações preliminares foram conduzidas

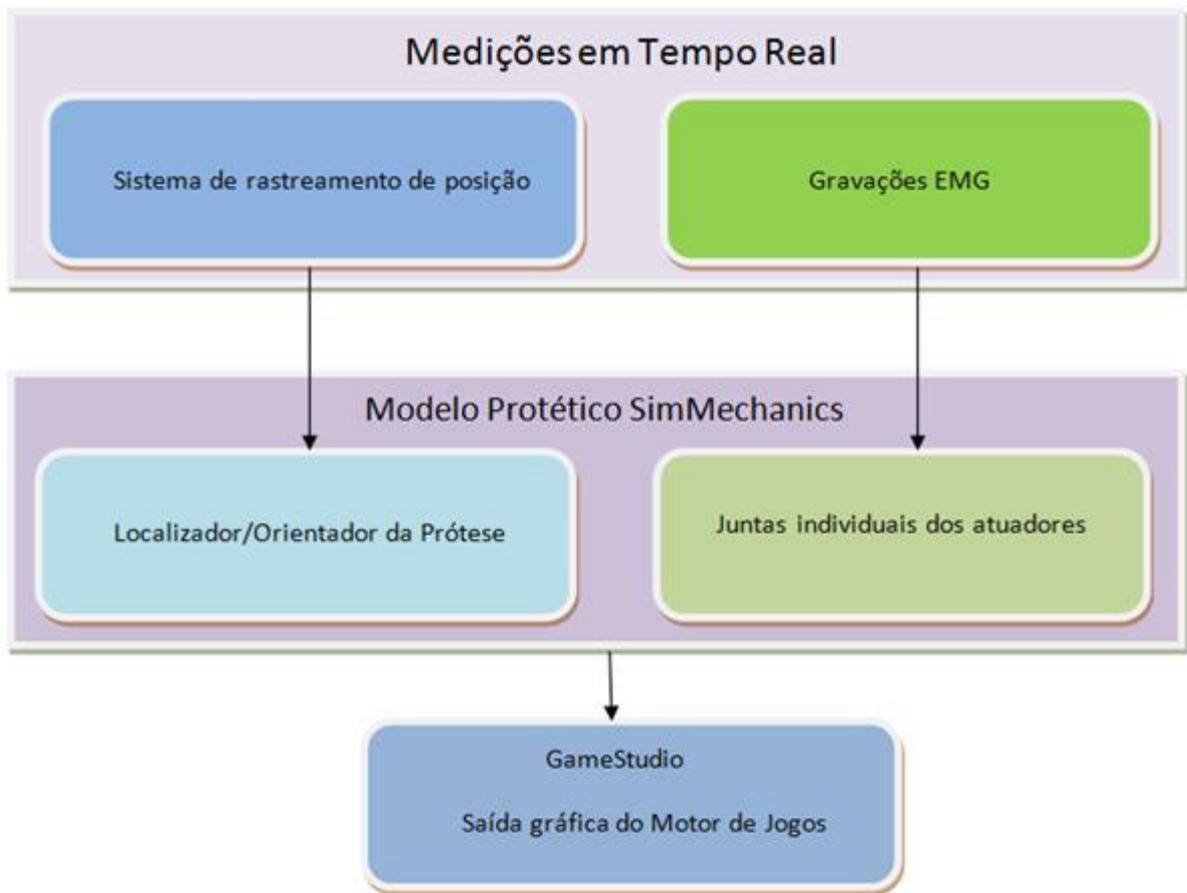
usando modelos músculo-esquelético (ORSBORNAND, 2007). O sistema realiza simulações em tempo real com medições de sinais EMG de músculos selecionados, permitindo que a resposta do sistema aos movimentos pudessem ser avaliadas. O sistema utiliza eletrodos de superfície implantados para reduzir o esforço de adaptação e para possibilitar o movimento natural do braço protético. Cada um destes eletrodos fornece informações diferentes. Esses dados são processados e finalmente, os dados cinemático são enviados para o software de visualização *GameStudio* (ORSBORNAND, 2007).

O esquema proposto pode ser observado nas Figuras 12(a) e 12(b).



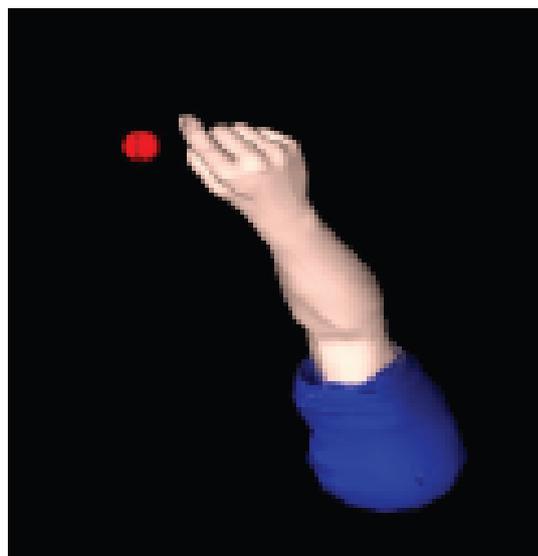
**Figura 12- Esquema do sistema proposto. Adaptado de (ORSBORNAND, 2007).**

Na Figura 13 ilustra a utilização de dois sistemas de aquisição: um de sinais EMG e outro de rastreamento de posição que alimentam o sistema de simulação. Este por sua vez controla o ambiente virtual no *Game Studio*.



**Figura 13 - Fluxograma descrevendo o fluxo de informações dentro do simulador. Adaptado de (ORSBORNAND, 2007).**

O ambiente virtual em execução pode ser observado na Figura 14, onde no ambiente um braço virtual interage com objetos. O exercício consiste em movimentar braço virtual até o alvo (Bola Vermelha).



**Figura 14 – GameStudio visualização do braço interagindo com o alvo (ORSBORNAND, 2007).**

### 3.6.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS:

Sistema utiliza Motor de visualização utilizando *GameStudio* não permitindo o uso de Realidade Aumenta. Informações cinemáticas da prótese geradas em *SimMechanics* (SIMMECHANICS, 2015) para alimentar o motor *GameStudio* gerando alto grau de integração entre o módulo de aquisição e a interface gráfica conectados através de arquitetura cliente servidor para comunicação inter processos do sistema de reabilitação. O sistema não faz *Feedback* ao usuário de forma visual.

### 3.7 REABILITAÇÃO USANDO REALIDADE VIRTUAL COM USO DE SINAIS BIOMÉDICOS

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema de controle que pode gerar vários movimentos para dedos e mão mecânicos, utilizando sinais eletromiográficos de superfície (SUEMATSU, 2006). No entanto, devido ao alto nível de detalhamento dos movimentos dos dedos, apenas por meio da análise do sinal de eletromiografia de superfície não se pode controlar os membros, assim foi proposto um sistema que gera um movimento alvo automaticamente, através da combinação da característica de alguns movimentos que alimentam uma rede neural.

O diagrama de funcionamento do sistema de controle de mão e dedos pode ser observado na Figura 15.

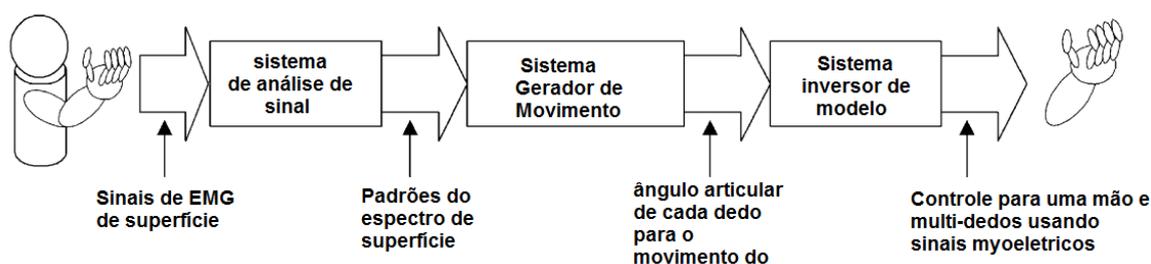


Figura 15 - Diagrama esquemático de um sistema de controle de múltiplos dedos e mão mioelétrica, traduzido de (SUEMATSU, 2006).

### 3.7.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS:

Sistema com interfaces de aquisição e gráfica integradas na mesma aplicação dificultando a atualização das tecnologias. Uso de Realidade Virtual sem possibilidade de uso de Realidade Aumentada.

### 3.8 ESTUDO COMPARATIVO DOS TRABALHOS RELACIONADOS

De forma a identificar as vantagens e desvantagens de cada trabalho analisado na literatura revisada e com intuito de estabelecer uma linha guia para a construção de um protótipo que seja, computacionalmente, eficiente e que possa ser considerado clinicamente viável, foi criada a Tabela 3.1, na qual se estabeleceu nove características.

Cada característica é descrita abaixo.

- **Interface de aquisição:** a interface de aquisição é fonte de entrada de sinais biológicos provenientes do usuário “paciente” é utilizado para fins de análise, controle. Quase na sua maioria os sistemas de reabilitação são alimentados por sinais biométricos em tempo real ou provenientes de bancos de dados. A variedade de sinais é enorme, mas pode-se destacar: EMG, EEG.
- **Interface RV:** Suporta técnicas de Realidade Virtual, especificamente uma interface que busca a imersão e o envolvimento do usuário.
- **Interface RA:** Suporta técnicas de Realidade Aumentada, um tipo de interface que mistura elementos virtuais ao ambiente real.
- **Sistemas Fechados:** é aquele que está formado por um pacote de aplicações que podem compartilhar dados, ou pelo menos intercomunicar suas informações (CONCEITO, 2014). Quando a solução suporta somente um tipo de interface na camada de visão. Quando necessita de um tipo diferente de interface, o sistema demanda um grande tempo de re-escrita de código. Analogamente, o sistema permite apenas um tipo de sinal biomédico a ser analisado.
- **Comunicação via Redes:** São sistemas que interligam suas interfaces usando redes RS232, Ethernet, Internet etc.
- **Feedback ao usuário:** o sistema deve fornecer algum aviso ou mensagem ao usuário quando o mesmo realize um exercício de forma correta ou errônea. Esta aferição é necessária para mensurar a evolução do tratamento.
- **Análise em Tempo Real:** o critério de análise avaliado foi a capacidade do sistema de realizar a captura do movimento, e sua concomitante análise de amplitude de movimento, de forma a gerar uma informação clínica sobre o movimento realizado pelo paciente.
- **Multi-GUI:** Esta característica analisa o suporte e uso simultâneo de mais de uma interface gráfica de forma simultânea ou mesmo uma de cada vez.

- **Programação Orientada a Eventos:** sistema que trata os dados e troca os mesmos entre as interfaces, na forma de pacotes classificados por eventos (troca de dados, comandos, *feedbacks*).
- **Multi-Sinais:** Critério de suportar mais de um sinal biomédico de uma vez ou mesmo permitir a troca do sinal ou alternância do mesmo.

Tabela 3.1 – Comparação entre trabalhos relacionados explorando suas características principais

Característica		Interface Aquisição (Sinais Biomédicos)	Interface RV	Interface RA	Sistemas Dedicado	Comunicação via Redes	Feedback ao usuário	Análise em Tempo Real	Uso simultâneo de mais de uma GUI	Programação Orientada a Eventos
AVC	(SUBRAMANIAN, 2011)									
	(SANGWOO, 2014)									
	(EDMANS et al., 2006)									
	(MARIANA et al., 2013)									
MEMBRO SUPERIOR	(ORSBORNA ND, 2007)									
MÃO	(SUEMATSU, 2006)									

Analisando as características de cada trabalho e considerando os requisitos elencados na Tabela 3.1, pode-se perceber que alguns não possuem exibição em ambientes virtuais interativos, outros não contemplam a análise de sinais naturais e outros possuem somente um tipo de interface de entrada ou saída. Dentre os trabalhos avaliados não existe um que trate módulos de aquisição e gráfico como interfaces independentes e que possuam uma linguagem comum de comunicação (troca de dados). Muito menos a possibilidade de acrescentar um novo módulo para visualização de dados ou mesmo novas interfaces de aquisição.

Assim, justifica-se a necessidade de se explorar e investigar técnicas mais eficientes que permita a construção de uma arquitetura de uma que possa ser usada com diversas estratégias reabilitadoras em um único sistema.

### **3.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo apresentou alguns trabalhos de pesquisa em Reabilitação Virtual e Aumentada descrevendo diferentes técnicas e abordagens.

A possibilidade de troca de interface RV para RA e vice versa pode ser considerada um ganho por permitir flexibilidade na aplicação de uma sessão de fisioterapia, muitas pessoas não se adaptam a equipamentos fixados ao corpo caso do RA imersivo e podem usar RV não imersivo com projeção em telas.

A mesma lógica se aplica ao uso de múltiplos sinais biomédicos de controle ou monitoramento, com a possibilidade de troca ou uso simultâneo possibilitando o reaproveitamento da interface gráfica para outros fins de reabilitação.

Identificou-se que todos os trabalhos analisados fazem uso de somente uma Interface gráfica para fins de reabilitação e sua comparação, e ainda notou-se que nenhum trabalho examinado faz uso da segmentação de um sistemas em interfaces ou módulos distintos, sendo este um grande diferencial para permitir agregar novas interfaces para fins de comparação de desempenho, atualização de tecnologia ou mesmo agregar nova funcionalidade ao sistema.

No próximo capítulo serão apresentados os requisitos funcionais e não funcionais para permitir que interfaces individuais se comuniquem formando um sistema, para isso um o framework IHCIntegrator de integração é proposto, serão abordados ainda principais casos de uso e, uma arquitetura de software que possa suportar as especificações do IHCIntegrator.

---

## 4. ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

---

### 4.1 INTRODUÇÃO

A partir do estudo realizado no Capítulo 3, foi possível notar que a maioria dos sistemas de simulação de sinais biomédicos possuem módulos de aquisição e visualização integrados. Ou seja, as etapas de aquisição/processamento/visualização que compõem o sistema estão fortemente interligadas. Entretanto, tais sistemas não podem ter sua funcionalidade alterada durante o uso. Isto é, caso queira-se modificar, por exemplo a troca do hardware de aquisição ou mesmo a troca da tecnologia de visualização, um considerável esforço é necessário. Isso demanda grande esforço computacional, mesmo quando essas funcionalidades são separadas.

Este capítulo é dedicado a análise de uma solução computacional que suporte diferentes interfaces em sua camada de visão, podendo ser utilizadas de forma conjunta ou isolada. Assim, propõem-se um Framework que permita a criação de interfaces independentes de linguagem ou plataforma. Portanto, este Framework visa para o desenvolvedor:

- Eliminar a necessidade de rescrita de código para o acoplamento de uma nova forma de interface.
- Diminuir o tempo de inserção de uma nova funcionalidade.

Para o profissional de saúde:

- Possibilidade de tornar o do diagnóstico mais eficiente, uma vez que este pode ter a sua disposição diversos sistemas de entrada e saída.

Para o Paciente IHCIntegrator:

- Busca principalmente fornecer uma interface mais ergonômica e eficiente de forma a aumentar a autoconfiança e acelerar a recuperação do paciente.

## 4.2 REQUISITOS DO SISTEMA

Para iniciar a construção desse Framework o levantamento dos requisitos funcionais e não funcionais é fundamental. Os requisitos funcionais tratam de funções que o sistema deve fornecer, como o sistema deve se comportar a estradas e a determinadas situações (PRESSMAN, 2001). Em outras palavras, descrevem a funcionalidade ou serviço que se espera que o sistema forneça. Os requisitos não funcionais dizem respeito às restrições sobre os serviços ou funções do sistema. Por exemplo, restrição de tempo, restrição do processo de desenvolvimento, padrões, etc, (PRESSMAN, 2001).

Ao se projetar um sistema que suporte uma integração de interfaces é necessário o esclarecimento de quais eventos são comuns e quais funcionalidades são essenciais. Isto porque o Framework deve conter os elementos necessários para suprir o funcionamento das interfaces de RV e RA e ainda deixar entradas extras (*slots*) para uma futura interface que se deseje adicionar posteriormente. Para isso a definição das funções e delimitação do projeto se faz necessário, isso pode ser feito utilizando casos de uso, que são narrativas em texto, descrevendo a unidade funcional, e são amplamente utilizados para descobrir e registrar requisitos de sistemas. Logo para extrair os principais requisitos, pode-se ressaltar as seguintes características esperadas a principio do sistema.

O Framework deve dar suporte a comunicação bidirecional entre as partes de uma aplicação de reabilitação. Neste caso, cada modulo é dividido e tratado como uma interface que se interliga ao sistema por meio de um núcleo de distribuição de eventos. Esta interligação entre as interfaces e o núcleo é realizado por meio de troca de mensagens, baseados em comunicação de sistemas distribuídos.

Onde, cada interface é um cliente deste sistema distribuído e possui dentro de si uma organização em camadas bem definidas e organizadas:

- Camada de conexão: interliga as interfaces.
- Camada de Eventos: codifica ou decodifica os Dados em Datagramas.
- Camada de Interface: provê suporte a funcionalidade (aquisição, GUI).

### 4.3 PRINCIPAIS REQUISITOS FUNCIONAIS (RF)

Os requisitos funcionais definem as funções de um sistema de software ou seu componente. Uma função é descrita como um conjunto de entradas, seu comportamento e as saídas, logo é necessário o esclarecimento de quais funções que o software desempenhará, de forma compreensível e rigorosa, para que esta descrição seja resultante no produto final. A seguir o quadro 4.1 lista os principais requisitos funcionais do *framework* com uma descrição sucinta de cada requisito.

**Quadro 4.1 – Requisitos Funcionais**

Código	Descrição do Requisito
RF01	O sistema deverá permitir o registro das atividades de exercícios aplicados pelo terapeuta.
RF02	O sistema deverá permitir a alteração e seleção de novos exercícios pelo terapeuta. Novos exercícios podem ser elaborado e desenvolvidos pelos desenvolvedores seguindo recomendação dos terapeutas usando o modelo de fases muito comum em <i>serious games</i> .
RF03	O sistema deve ser dividido em interfaces que se comunicam de forma independentes.
RF04	O sistema tem que manter pelo menos duas interfaces ativas para representar um sistema de controle por sinais biomédicos, sendo obrigatoriamente uma de aquisição e uma interface gráfica.
RF05	Os dados devem trafegar pelo sistema na forma de eventos.
RF06	O sistema deverá permitir a análise do movimento em tempo real.
RF07	O sistema deverá permitir a troca de Interfaces de forma rápida e simples para o Terapeuta. Onde o mesmo só liga ou desliga a mesma.
RF08	O sistema deve suportar o movimento de objetos virtuais baseado em parâmetros fornecidos pela camada de processamento de sinais biomédicos, por exemplo, ângulo do movimento é a descrição das medidas angulares permitidas para cada exercício, que servirão de parâmetro para a análise do movimento na interface de Realidade Aumentada. Por meio destes parâmetros são associadas informações

relativas ao exercício.

#### 4.4 PRINCIPAIS REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS (RNF)

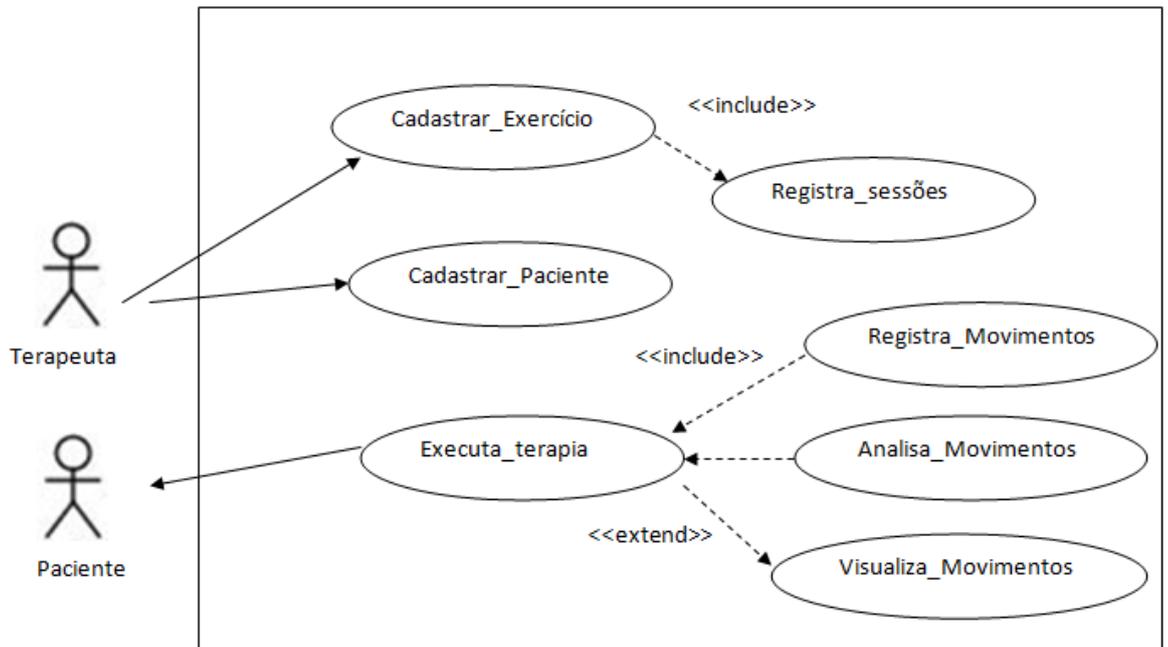
Para garantir a qualidade, os Requisitos Não Funcionais (RNF) foram estabelecidos de maneira a criar um protótipo que seja de fácil entendimento de suas informações no domínio de sua aplicação e principalmente que seja tolerante a falhas.

**Quadro 4.2 – Requisitos Não Funcionais**

Código	Descrição do Requisito
RNF01	O Framework deve permitir a liberdade de escolha de linguagem e plataforma de sistema operacional para as interfaces de visualização.
RNF02	A comunicação entre as interfaces deve ocorrer em tempo real ou tempo hábil de forma a manter a imersão em ambientes virtuais.
RNF03	O sistema deve permitir a troca de hardware (capacetes, óculos, sistemas de aquisição).
RNF04	O sistema deve suportar atualizações.

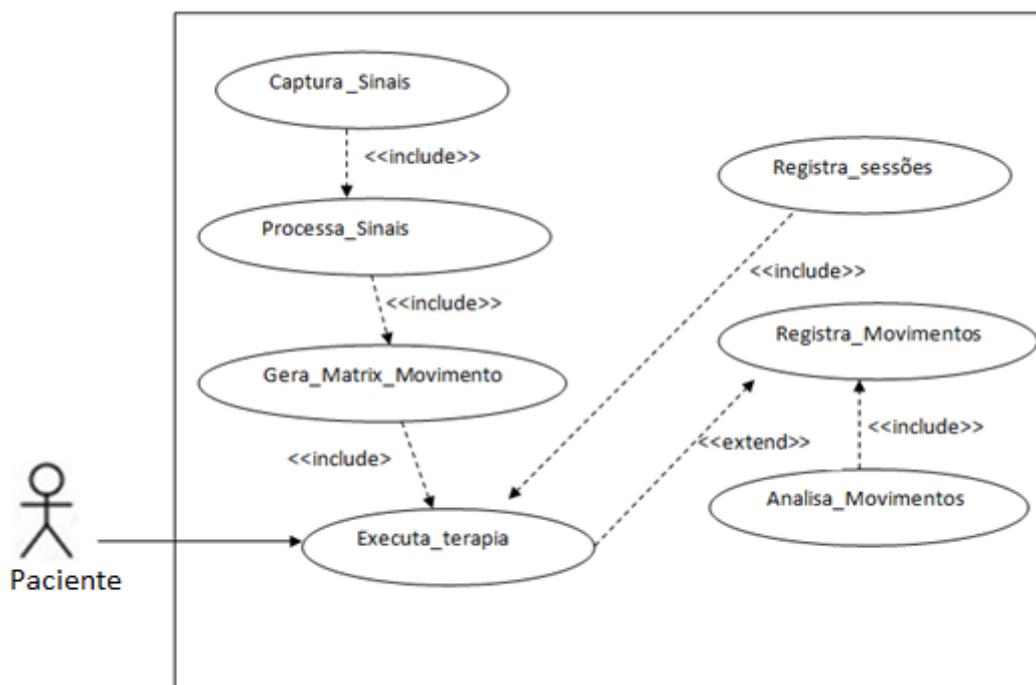
#### 4.5 CASOS DE USO DO SISTEMA

De forma a ilustrar o funcionamento do Framework, foi elaborado o caso de uso mostrado na Figura 16. Este possui dois atores principais, o ator “Terapeuta” e o ator “Paciente” que utilizarão o sistema com propósitos diferentes. O ator “Paciente” é parte integrante do caso de uso “Executa\_Terapia” no qual se encontra a Captura de Movimentos. O Terapeuta, inicialmente, realizará o registro dos exercícios pertinentes a terapia. O sistema captura o tempo de execução da terapia e o desempenho do paciente "Registra\_Movimentos".



**Figura 16 - Caso de uso do sistema proposto**

A Figura 17 apresenta o caso de uso onde o sistema em execução começa capturar dados provenientes do paciente “Captura\_Sinais” estes dados são processados “Processa\_Sinais” gerando um conjunto de dados que são formatados em matrizes de controle de movimento estes são gravados “Registra\_Movimentos” para posterior análise “Analisa\_Movimentos”.

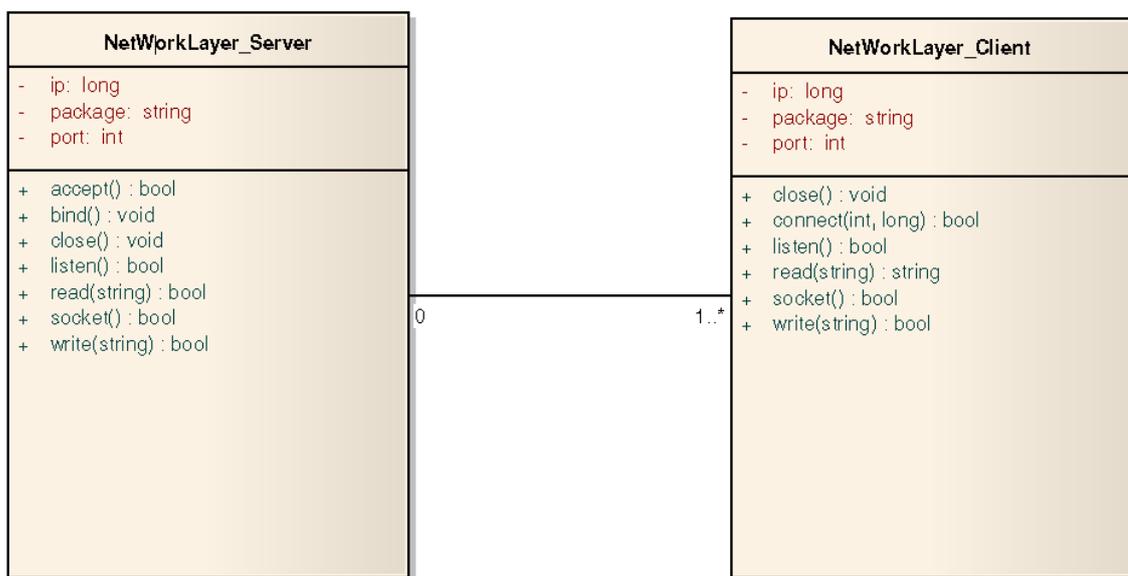


**Figura 17 - Caso de Uso para Análise**

## 4.6 DIAGRAMAS DE CLASSE

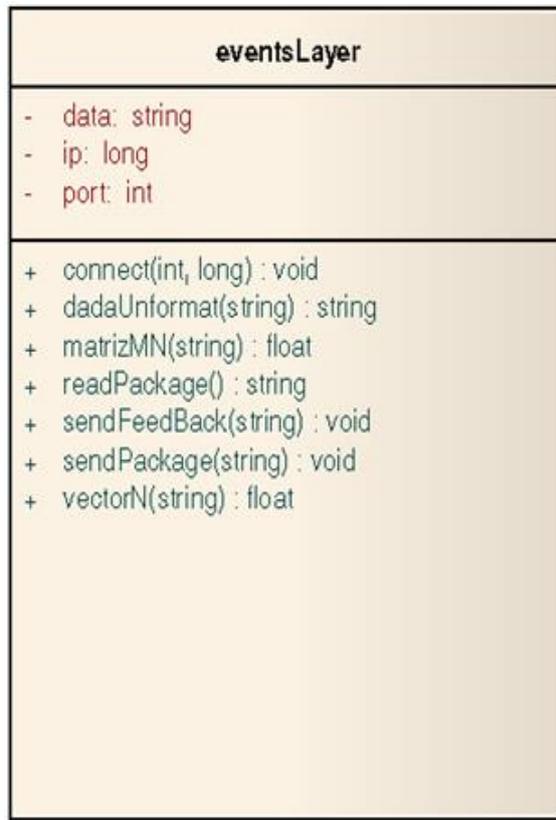
Para ilustrar a estrutura da arquitetura e ao mesmo tempo documentá-la, o diagrama de classes é de relevante, pois é um dos mais importantes diagramas da UML. Ele está no centro da sua arquitetura e a partir desse diagrama outros diagramas são elaborados (GUEDES, 2011).

A camada de rede responsável pela distribuição dos pacotes de dados pela rede é composta por duas classes, *NetWorkLayer\_Server* que é usada no servidor de distribuição e a classe *NetWorkLayer\_Client* presente em todos os clientes (interfaces com usuário). O diagrama destas classes é representado na Figura 18, são na qual destacados os atributos de cada classe e seus métodos.



**Figura 18 - Diagrama de classes da camada de redes**

A Camada Gerenciadora de eventos possui uma única classe responsável por encapsular e retirar da cápsula os dados, entregando os mesmos à camada superior, a classe que representa essa camada pode ser observada na Figura 19.



**Figura 19 - Diagrama de classes da camada de eventos.**

O atributos da classe eventsLayer e seus respectivos tipos de dados estão ilustrados no Quadro 4.3. A Classe eventsLayer recebe da interface os seguintes atributos:

**Quadro 4.3 – Atributos e seus respectivos tipos de dados da classe eventsLayer.**

Nome do atributo	Tipo
Data	string
Ip	long integer
Port	integer

Os Métodos da classe eventsLayer são do tipo public ou seja podem ser acessados de outras classes a descrição dos mesmos se encontra no quadro 4.2.

**Quadro 4.4 – Métodos da classe eventsLayer, e suas respectivas descrições.**

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>
<b>Connect()</b>	método responsável pela conexão da interface ao sistema.
<b>dadaUnformat()</b>	método que envia um Datagrama de dados sem formatação
<b>matrizMN()</b>	método que envia Datagrama com matriz MxN
<b>readPackage ()</b>	Faz leitura da porta especificada em uma thread
<b>sendFeedBack</b>	Envia <i>Feedback</i> de uma interface para outra.
<b>sendPackage ()</b>	Envia Datagrama formatado.
<b>vectorN</b>	Envia Datagrama com vetor de N posições.

#### **4.7 ARQUITETURA DO SISTEMA**

A arquitetura do Framework proposto é baseada na topologia TCP/IP. A camada inferior trata de redes e a camada intermediária se encarrega pela formatação dos dados envio e recebimento de mensagens. Finalmente a camada superior se destina ao desenvolvimento de interfaces (aquisição, visualização).

Cada Interface é composta por 3 camadas: Conexão (rede), Controle de eventos, Interface com usuário (vide Figura 20). Cada uma das mesmas serão detalhadas posteriormente.

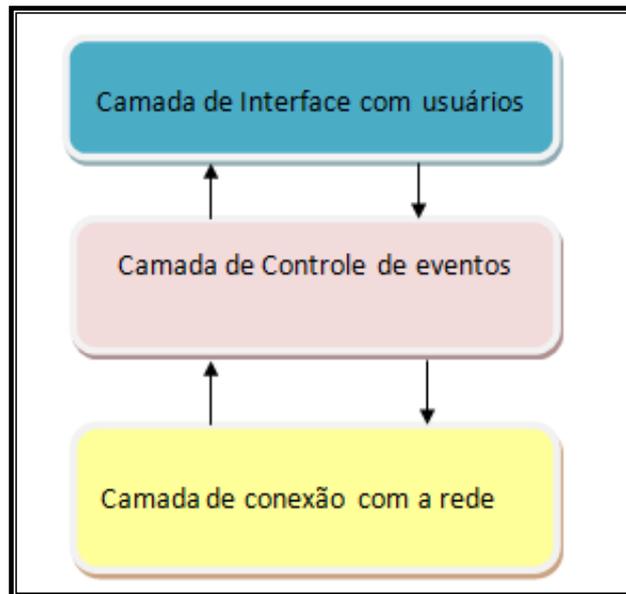


Figura 20 – Camadas que compõem uma Interface.

#### 4.7.1 CONEXÃO (CAMADA DE CONEXÃO COM A REDE)

A camada de conexão é responsável pela interligação entre as interfaces. Cada interface está inserida em um módulo cliente que se comunica por meio de um servidor, enviando e recebendo pacotes de dados. A Figura 21 ilustra como um cliente se comunica com as demais.

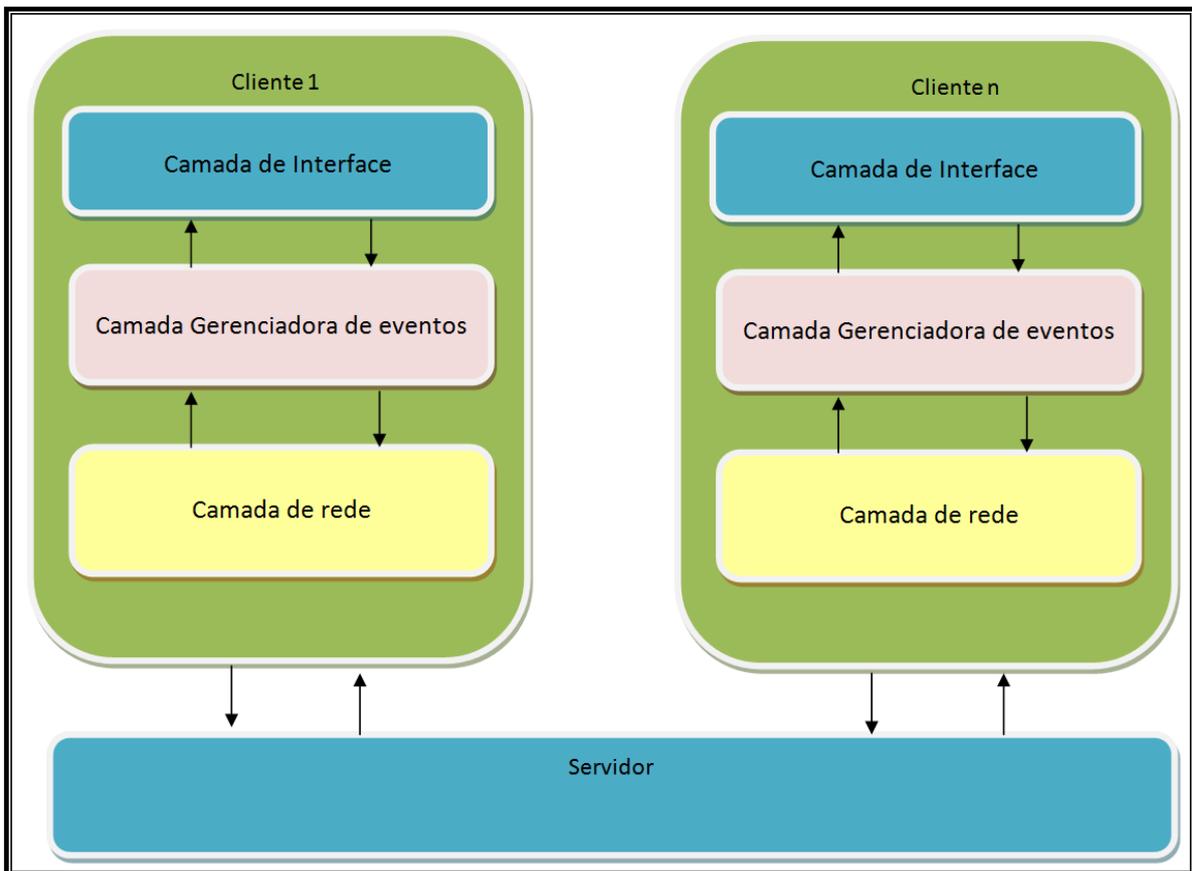


Figura 21 - Camada de rede da arquitetura

A comunicação é sempre ponto a ponto (origem-destino) onde cada um é uma interface distinta. O servidor fornece uma função ou serviço (no caso de repetidor – *broadcast*) a um ou muitos clientes, que, por sua vez, ficam ouvindo a rede e aguardando eventos para os mesmos.

#### 4.7.2 EVENTOS (CAMADA GERENCIADORA DE EVENTOS)

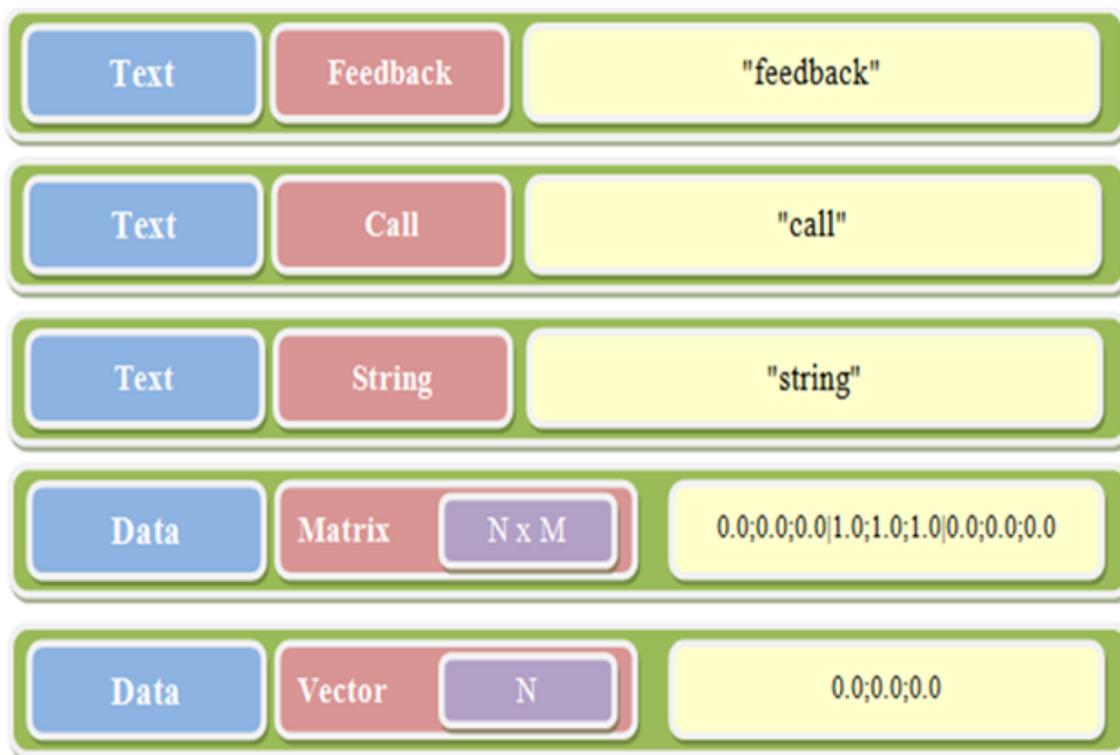
Programação orientada a eventos é um paradigma de programação diferente dos tradicionais que seguem um fluxo de controle padronizado, o controle de fluxo de programas orientados a evento são guiados por indicações externas, chamadas eventos. Sua aplicação é grande no desenvolvimento de sistemas de interface com o usuário. Diferente de aguardar por um comando completo que processa a informação, o sistema em tal paradigma é programado em sua base em um laço de repetição de eventos, que recebem repetidamente informação para processar e disparar uma função de resposta de acordo com o evento (PALMER, 2003).

Os dados trocados pela camada de rede são encapsulados em mensagens que serão chamados de Datagramas por sua analogia aos usados em comunicações de redes de computador. Em seu interior, todos os comandos e dados brutos são formatados em Datagramas que são indenticados por eventos. Estes são fundamentais para indenticação de destino uma vez que a comunicação se faz por difusão na rede (*broadcast*). A orientação a eventos é muito eficaz e delimita o papel de cada Cliente. Existem eventos comuns como *Calls* e *Feedback*. Outros são pertinentes a interfaces gráficas como matrizes de translação e rotação e ainda eventos genéricos que são dados brutos (*Strings*, Matrizes e vetores).

Para facilitar o gerenciamento dos Datagramas, existe um cabeçalho definindo a natureza do mesmo, sua especificação e conteúdo. Pode-se observar essa estrutura do Datagrama na Figura 22, no campo em Azul se especifica a natureza do evento: Texto “*text*” ou Dados pré-processados chamados de “*Data*”. Em Vermelho o evento: (resposta de interface “*feedback*”, chamada para interface “*Call*”, texto sem processamento “*String*”, dados processados de controle no formato de matrix “*Matrix*” e dados processados no formato de vetor “*Vector*”. O ultimo campo do Datagrama são os dados propriamente ditos. Todos os possiveis Datagramas estão ilustrados na Figura 23.



Figura 22 – Datagrama genérico e seus campos de dados.



**Figura 23 – Formatação dos possíveis Datagramas.**

A seguir um detalhamento de cada datagrama utilizado no escopo deste framework:

### **A. ESQUEMA GENÉRICO DE DATAGRAMA**

O Esquema genérico de um Datagrama tem a finalidade de ser um para criação de um novo evento. Pode ser usado para criação de um evento não contemplado ou planejado a princípio por uma implementação. No campo NATUREZA pode ser definida uma das naturezas disponíveis (texto, vetor, matriz), no campo ESPECIFICAÇÕES pode-se detalhar características mais específicas dos dados e por fim o campo DADOS armazena um conjunto de informações, como ilustrado na Figura 24.



**Figura 24 - Esquema genérico de um Datagrama**

## B. DATAGRAMA DE TEXTO

O Datagrama de texto pode ser usado quando deseja-se trocar um fluxo de texto entres as interfaces. O campo *TEXT* define que o conteúdo do Datagrama é texto. O campo *FEEDBACK/CALL* indica que o texto transmitido não é um texto qualquer, mas sim um texto de solicitação ou resposta a outros eventos, no campo *DATA* contém a mensagem de texto propriamente dita, vide Figura 25.

<i>TEXT</i>
<i>FEEDBACK/CALL</i>
<i>DATA</i>

Figura 25 - Datagrama de Texto para *Feedback/Call*

## C. DATAGRAMA DE DADOS

Os Datagramas de DADOS são divididos em dois grupos: VETOR e MATRIZ. Isto é os sistemas de aquisição podem transferir dados brutos "vetores" ou dados pré tratados "matrizes" como ilustrado nas Figuras 26 e 27. Essa matriz pode ser usada para controle de um modelo virtual por exemplo, onde as linhas podem conter vetores de translação ou rotação, isso dependerá do desenvolvedor que utilizará o framework.

DADOS					
MATRIZ					
LINHAS			COLUNAS		
0,0	0,1	0,2	0,3	....	0,M
1,0					
...					
N,0					N,M

Figura 26 - Datagrama de Dados Numéricos do tipo Matriz

Este Datagrama é composto pelo cabeçalho que define a natureza dos dados, neste caso dados em formato de matriz, onde especificando o tamanho Linhas e colunas e por fim os dados.

<b>DADOS</b>					
<b>VETOR</b>					
<b>TAMANHO</b>					
0	1	2	3	...	Tamanho

**Figura 27 - Datagrama de Dados Numéricos do tipo Vetor.**

Este Datagrama é semelhante ao anterior alterando apenas que os dados agora estão organizados em um vetor de posições iguais a “Tamanho”.

#### **D. VETOR GENÉRICO**

Outras variações são possíveis como Vetor Genérico que é uma variação do vetor de dados que passa dados referentes ao tipo de aquisição, como número de canais tempo de janela, limiar de movimento e outros dados, como pode ser observado na Figura 28.

<b>GENÉRICO</b>			
<b>NUMERO DE CANAIS</b>	<b>TEMPO DA JANELA</b>	<b>LIMIAR</b>	<b>NUMERO DE DETECÇÕES</b>
<b>TAMANHO</b>			
<b>VETOR</b>			

**Figura 28 - Datagrama de Dados do tipo Genérico**

#### **4.7.3 CAMADA DE INTERFACE:**

Essa camada é específica para cada aplicação, pois engloba processamentos e ações particulares. Trata-se da única camada aberta ao desenvolvedor que pode implementá-la segundo suas necessidades, desde que utilize as camadas inferiores.

As interfaces mais comuns são: aquisição, processamento e gráfica. Na Figura 29, pode-se observar alguns exemplos:

A – Interface de aquisição, aplicação que faz comunicação com Hardware.

B – Interface de Realidade Aumentada, aplicação onde objetos virtuais mesclados ao ambiente real compõem o cenário de reabilitação.

C – Interface de Realidade Virtual, aplicação onde tudo é Virtual, este cenário de reabilitação pode ser imersivo ou não.

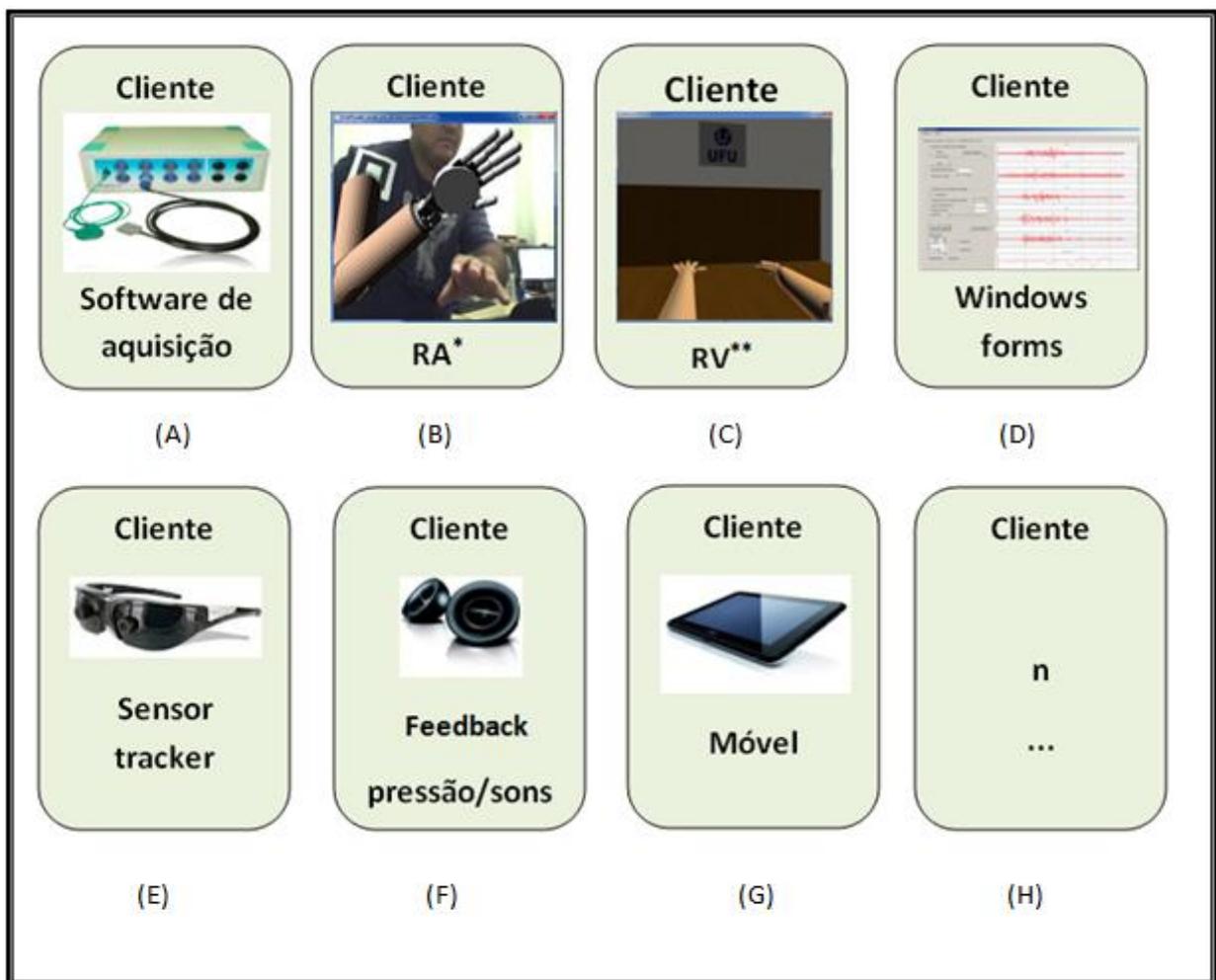
D – Interface *Windgets*, usada para monitorar dados em formato bruto (sinais EMG, ou mesmo o conteúdo de um Datagrama).

E – Interface sensor *tracker*, responsável pela captura dos dados de localização, rastreamento do paciente.

F – Interface *Feedback*, responsável pelo estímulo de reação do ambiente a uma ação.

G – Interface Móvel, responsável por monitoramento portátil.

H – Interface n, como o Framework pode ser instanciado dependendo da necessidade existe uma porta aberta (*slot*) a futuras implementações.



**Figura 29 - Exemplos de Interfaces Clientes (\*Realidade Aumentada, \*\* Realidade Virtual)**

O uso de orientação a eventos através de troca de mensagens formatadas associado ao fato de tratar cada módulo de interface como um cliente, permite grande flexibilidade de para utilização de mais de uma interface simultaneamente. As possibilidades de aplicação são enormes respeitando as limitações do uso de redes para integração dos módulos.

#### **4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo deste capítulo foi realizar um estudo e a composição de uma proposta de arquitetura, abrangendo os requisitos necessários para o desenvolvimento do Framework que será apresentado no Capítulo 5, o qual se destina a discutir os detalhes da elaboração do mesmo.

Foi investigada e apresentada neste capítulo a abordagem de uma arquitetura em três camadas, sendo que a camada de Aplicação um slot para conectar um interface de visualização, a camada intermediária responsável por formatar os dados em Datagramas orientados a eventos e a camada inferior dedicada a conexão e troca destes Datagramas entres os módulos.

O próximo capítulo destina-se a relatar as particularidades da implementação do *framework* que fornecerá subsídios estruturais para o criação dos protótipos, considerando para isso a tecnologia do tipo de dispositivo aplicada e o aparato tecnológico utilizado.

---

## 5. ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO FRAMEWORK

---

### 5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são relatadas as técnicas computacionais bem como as ferramentas de programação usadas para a implementação do Framework, como detalhes da construção de suas camadas internas e a criação das principais interfaces que foram usadas na validação do mesmo.

Percebe-se, através da análise de estudos anteriores, a existência de várias linguagens de programação e ambientes de desenvolvimento (IDEs) que permitem a criação de sistemas de autoria, como o Visual Basic, Visual C++, C++ Builder, Delphi, Java, Flash, Visual Prolog, dentre outros. Cada um dos sistemas tem particularidades e linguagens de programação específicas, dentre as quais se destacam algumas, com classes e objetos pré-definidos, com funções e procedimentos já existentes.

Para implementação do Framework foram escolhidas as linguagens (C++,C#, Java) implementados nas seguintes IDEs Visual C++, Visual C# versão 8.0, C# versão 10.0 e Java Netbeans, para ressaltar a facilidade de integração entre os módulos de bibliotecas gráficas e os sistemas de aquisição.

## 5.2 DESCRIÇÃO DA CAMADA DE REDE

Esta camada é responsável pela conexão cliente(s)-servidor, pelo envio e recebimento de pacotes de dados entre módulos distintos como de aquisição e interface ou ainda módulos em linguagens diferentes como C++, C# ou Java. Para este fim, optou-se pelo uso de *sockets*.

A escolha da tecnologia de *sockets* foi baseada na análise realizada por (TILLEY, 1999) que comparou o desempenho na transmissão de *callbacks* entre uma GUI cliente e uma aplicação servidora. Para tanto, foi utilizado um *Socket* em C++, um *Socket* em Java, um RMI do Java e um RMI do CORBA, os resultados foram exibidos na Seção 2.5.4 no Capítulo 2 desta tese.

Assim, durante o desenvolvimento do *framework*, foi definido que cada módulo seria um cliente *socket*, que por sua vez enviaria seus dados ao servidor e este repassaria para todos os clientes "*broadcast*".

O relacionamento entre o cliente e o servidor é composto de trocas de mensagens de forma ordenada e controlado:

- O cliente deve contatar o servidor que deve estar em execução.
- O servidor deve ter criado o *socket* (porta) que aceita o contato do cliente.

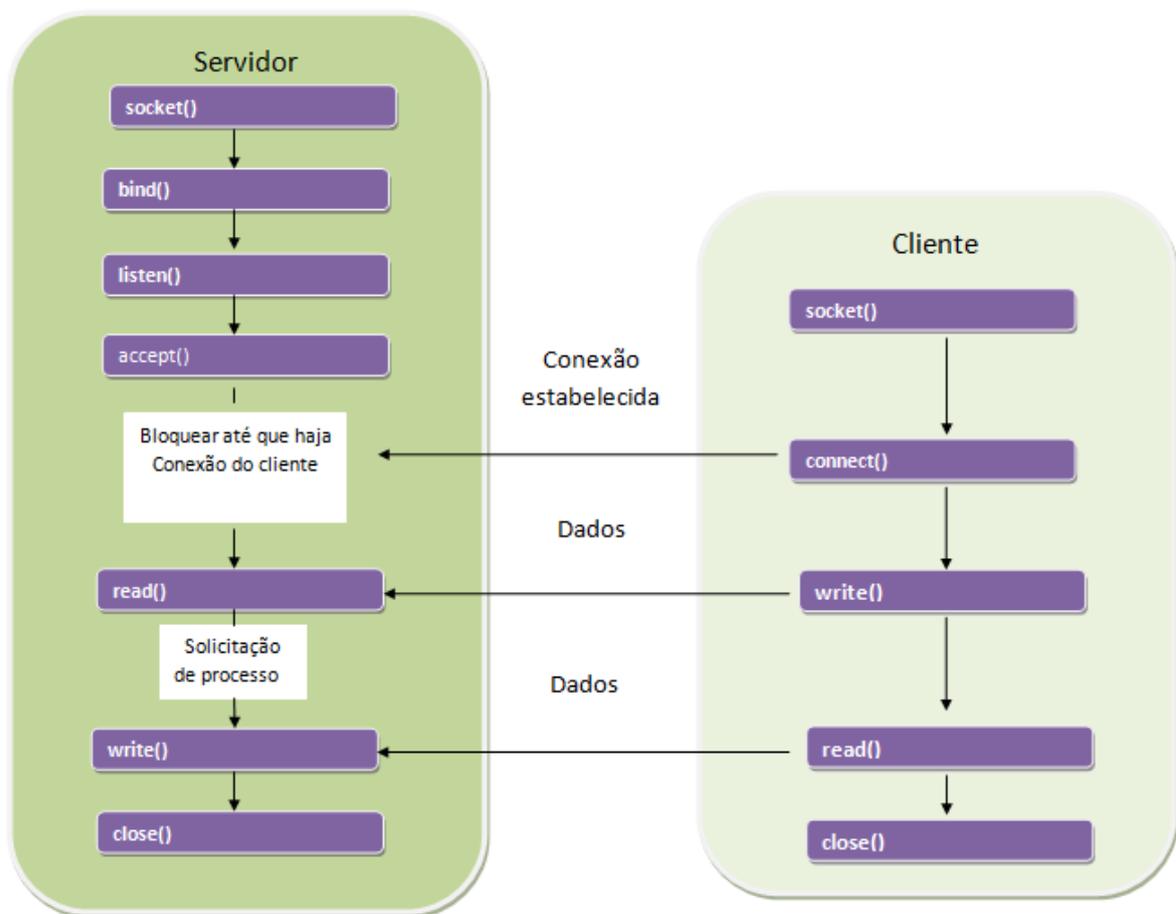
Cliente contata o servidor:

- Criando um *socket* TCP local.
- Especificando endereço IP e número da porta do processo servidor.

Quando o cliente cria o *socket*:

- O cliente TCP estabelece conexão com o servidor.
- Quando contactado por um cliente, o servidor cria um novo *socket* para garantir que outros clientes possam se conectar.

Esse processo pode ser observado na Figura 30, onde um cliente e um servidor se relacionam.



**Figura 30 - Relacionamento Cliente-Servidor via sockt.**

Para efetivar a troca de Datagramas entre as interfaces, cada uma das mesmas foi desenvolvida como um cliente. Na Figura 31 observa-se o relacionamento entre as interfaces clientes e o servidor do *Framework* utilizando *sockets*. O primeiro módulo trata de uma interface de Aquisição EMG de superfície que faz coleta de dados e processa os mesmos. Este repassa os eventos para o segundo módulo que é uma interface de RV, onde os eventos controlam o movimento de um braço virtual. O servidor atua como um repetidor, recebendo os Datagramas e encaminhando os para todos os clientes na rede. O evento indica se este Datagrama é pertinente ou não à interface que o recebe.

O servidor trabalha continuamente como repetidor (*broadcast*) para a um ou muitos clientes, que, por sua vez, ficam ouvindo a rede e aguardando os seus eventos.

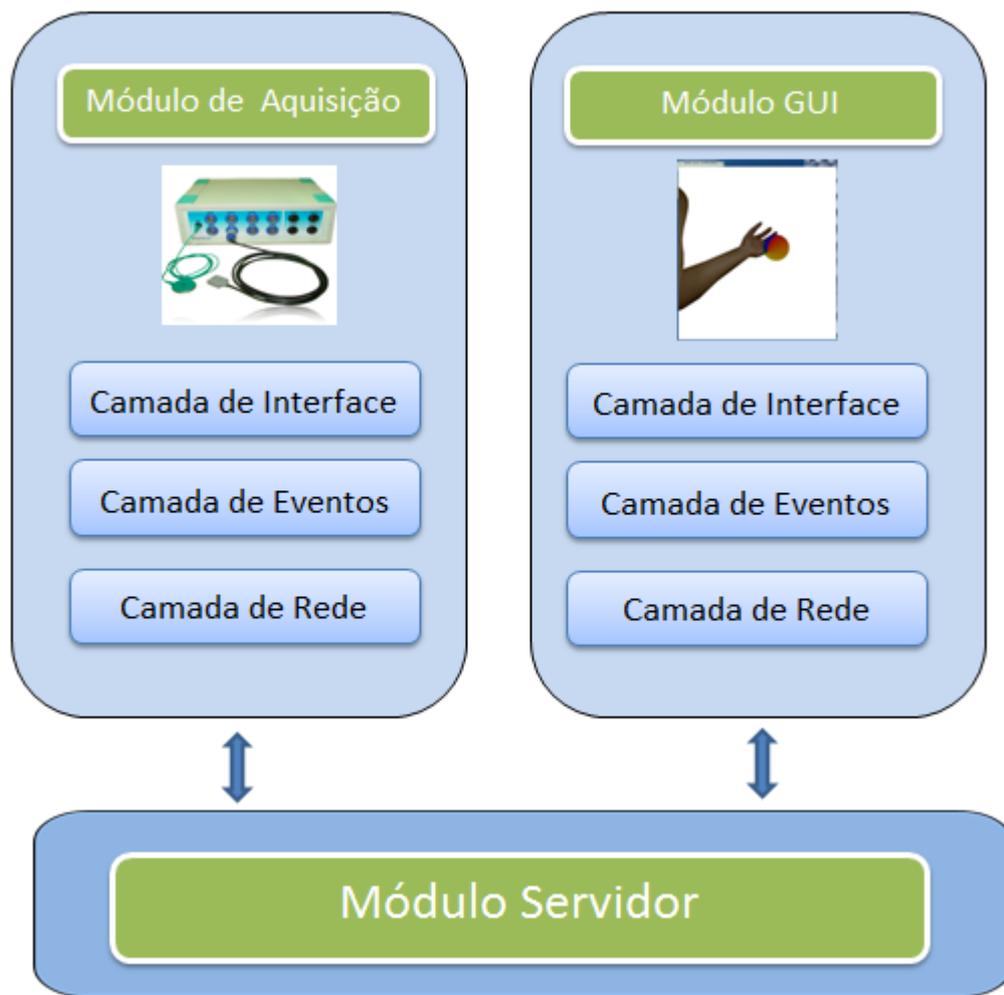
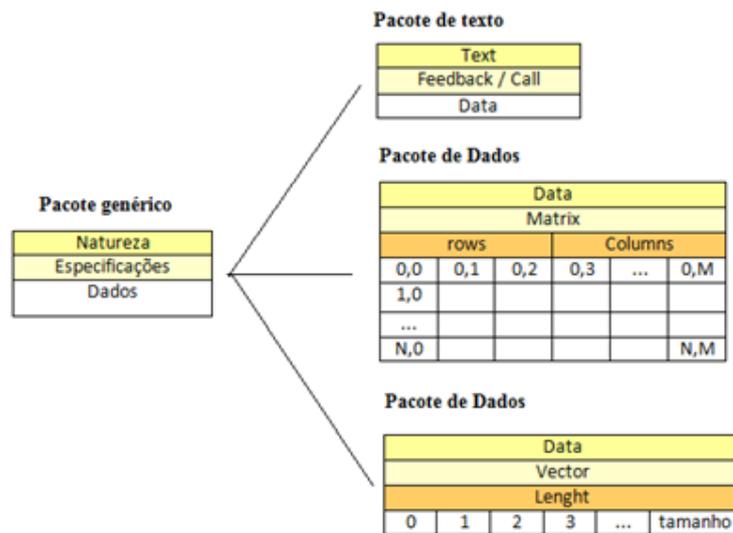


Figura 31 –Implementação de sistema usando duas interfaces (aquisição/visualização).

### 5.3 DESCRIÇÃO DA CAMADA GERENCIADORA DE EVENTOS

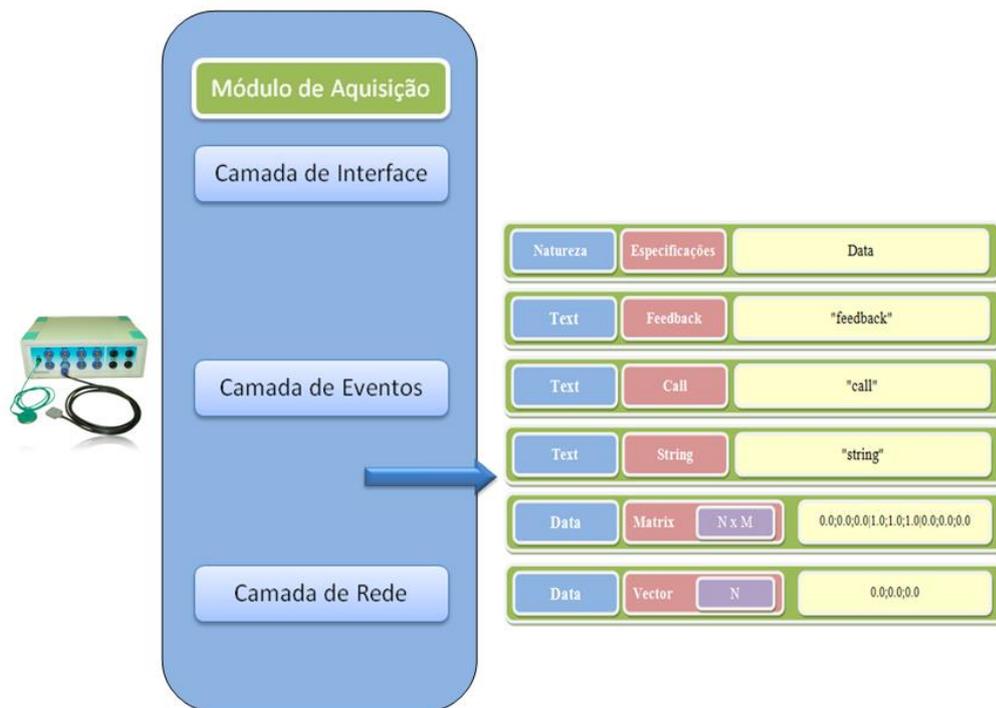
Como já dito anteriormente, os dados trocados pela camada de rede são encapsulados nos Datagramas. Estes dados podem ser comandos de controle, dados pré-processados ou dados brutos. Eles são formatados em eventos, existem eventos comuns como *calls* e *feedback*. Outros são pertinentes à interfaces gráficas como matrizes de translação e rotação e ainda eventos genéricos que são dados brutos (*Strings*, Matrizes e vetores) que podem ser úteis para outras situações.

Para criação deste Datagrama são usados *strings* com separador especiais que delimitam um campo de informação. A Figura 32 exhibe os tipos contemplados de eventos que foram implementados neste *Framework*.



**Figura 32 - Criação dos Datagramas.**

A Figura 33, ilustra as camadas do módulo de aquisição destacando a camada de rede com os vários possíveis Datagramas, representando os eventos pertinentes a este módulo.



**Figura 33 - Camada de eventos responsável por identificar os Datagramas.**

Como se observa, a camada de eventos do módulo supra citado pode enviar uma matriz, vetor de dados, chamadas e respostas e até *string* sem formatação.

Para exemplificar, pode-se observar a chamada do evento e seus dados implementados em c++:

- A. Envio de um *feedback* de uma interface para outra.

```
sendPackage ("text|feedback|testando feedback");
```

B. Solicitação de um serviço de uma interface para outra.

```
sendPackage ("text|call|testando chamada remota");
```

C. Envio de uma Matriz 2X2.

```
sendPackage ("data|matrix|2;2|0.0;0.0|1.0;1.0");
```

D. Envio de uma Matriz 2X2.

```
sendPackage ("data|matrix|3;3|0.0;0.0;0.0|1.0;1.0;1.0|0.0;0.0;0.0");
```

E. Envio de um vetor com 3 posições.

```
sendPackage ("data|vector|3|0.0;0.0;0.0");
```

Como visto nos exemplos de envio de Datagramas, o separador utilizado entre os campos de dados é o símbolo "|". O gerenciador de eventos usa esse símbolo para quebrar e identificar que tipo de evento e dados estão sendo enviados.

Quando um cliente recebe um Datagrama ele decompõe a mensagem sempre usando o símbolo "|" como separador de campos, os campos decompostos são analisados e alimentam a interface, essa estrutura hierarquica de decomposição do Datagrama é mostrado na Figura 34.

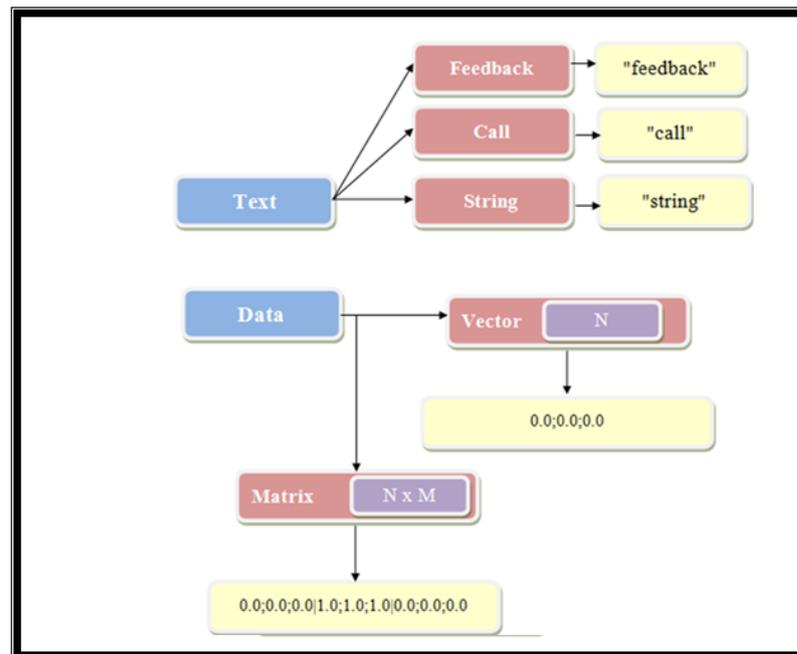


Figura 34 – Diagrama de decomposição de eventos e tipos.

#### 5.4 DESCRIÇÃO DA CAMADA DE INTERFACE

Essa camada é dependente de cada aplicação, pois engloba processamentos e ações específicas. É a única camada aberta ao desenvolvedor que pode implementá-la segundo suas necessidades, desde que utilize as camadas inferiores.

#### 5.5 FRAMEWORK

A partir da implementação das camadas em classes e a organização dessas em DLLs, concebeu-se o *framework*, este que permite acoplar de uma interface gráfica ou de aquisição dependendo da necessidade do projeto, através do uso de programação distribuída onde as interfaces se comunicam entre si utilizando uma arquitetura de camadas um para acesso a dispositivos, como forma de abstrair o mecanismo de escrita e leitura de dados em dispositivos de hardware e também GUI.

#### 5.6 INTERFACES

Um vez concebido o *IHCIntegrator* algumas *interfaces* foram implementadas a partir do mesmo Figura 35. A combinação destas interfaces pode gerar um ou mais sistemas de apoio a terapia Figura 36.

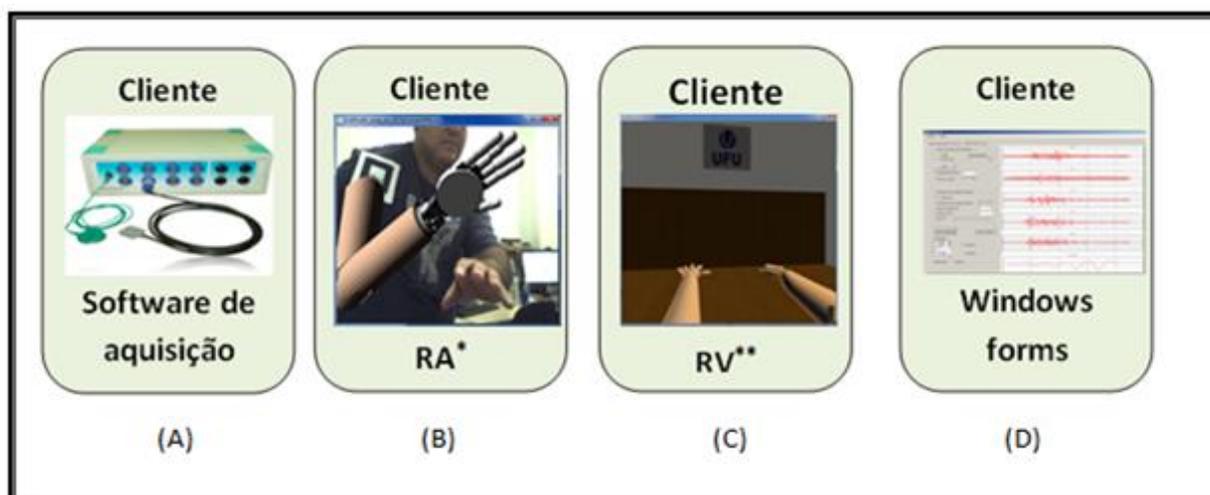


Figura 35 – Interfaces Implementadas para testes em casos de Uso.

Como em um quebra cabeças a combinação de interfaces pode montar um novo sistema, e claro que o processamento dos dados deve ser alterado, contudo o simples fato dos módulos permitirem esse acoplamento de forma simplificada ajuda o desenvolvedor a concluir o processo de concepção.

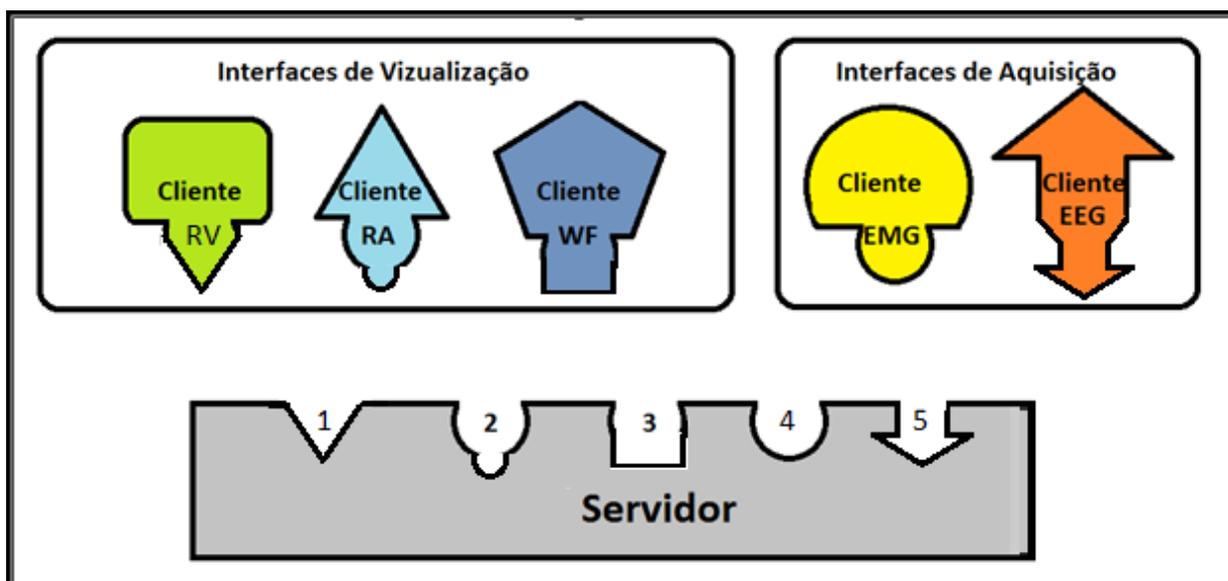
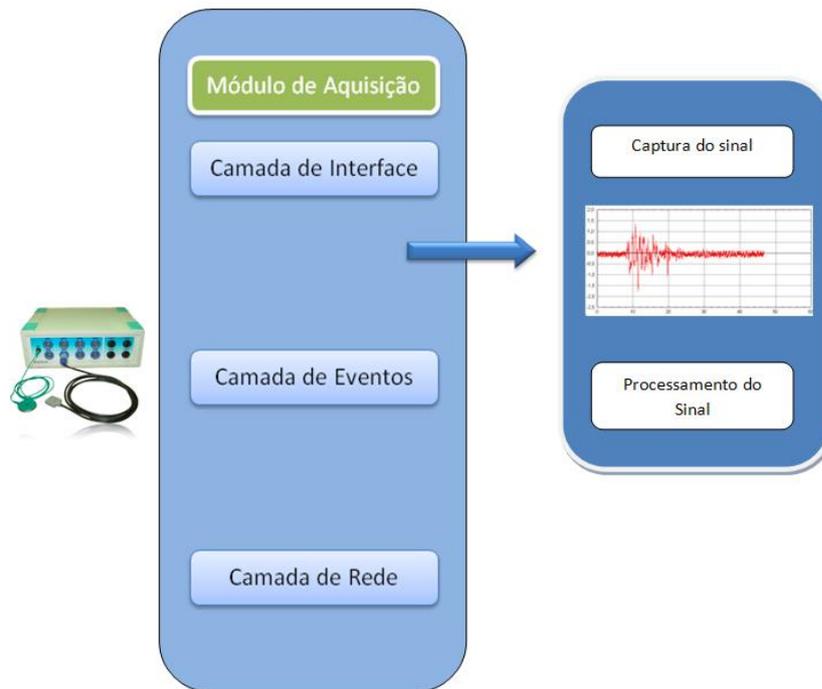


Figura 36 - Representação da montagem de sistemas utilizando combinação de interfaces

Cada interface implementada para fins de teste no estudo de caso será detalhada a seguir.

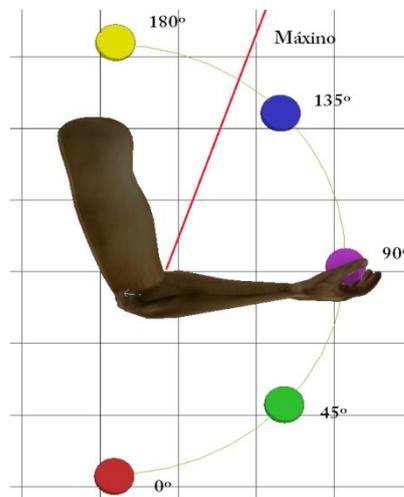
### 5.6.1 INTERFACE DE AQUISIÇÃO - INTERFACE EMG (A)

O estudo de caso de *biofeedback* desenvolvido consiste na movimentação de um braço Virtual a partir de contrações musculares do paciente, sendo um tipo alternativo de terapia de reabilitação motora (como ilustrado na Figura 37).



**Figura 37 - Camada de interface, Interface biomédica de aquisição EMG.**

O sinal eletromiográfico (EMG) gerado por essas contrações é processado e então a angulação que o braço deve percorrer é calculada, variando entre  $0^\circ$  e  $145^\circ$  que é a faixa de movimento de um braço humano em condições normais (vide Figura 38).



**Figura 38 -Representação dos ângulos possíveis do Braço Virtual**

Para calcular o valor do ângulo é feita uma coleta do sinal EMG para a definição da linha de base. Nesta tese, a linha de base é o valor médio da máxima contração voluntária (MVC) do paciente. O sinal EMG é processado utilizando-se MAV (*MeanAbsoluteValue*), resultando na envoltória deste sinal. Desta forma, tem-se uma curva bem definida, cuja amplitude representa a variação no grau de contração muscular. O cálculo do ângulo se dá por

uma equação encontrada por meio de uma regressão linear simples que estabelece a relação entre o ângulo e a amplitude da envoltória do sinal EMG.

Do sinal processado é extraída a linha de base e, a partir dela, são estabelecidos os limites mínimo e máximo de amplitude que formam o intervalo no qual o sinal EMG deve variar para controlar o braço Virtual. O padrão utilizado foi de 5% para o mínimo e de 60% para o máximo, valores obtidos experimentalmente visando melhor performance de resposta do sistema, minimizando a interferência por ruídos. A interface de aquisição desenvolvida para esta aplicação pode ser visualizada na Figura 39.

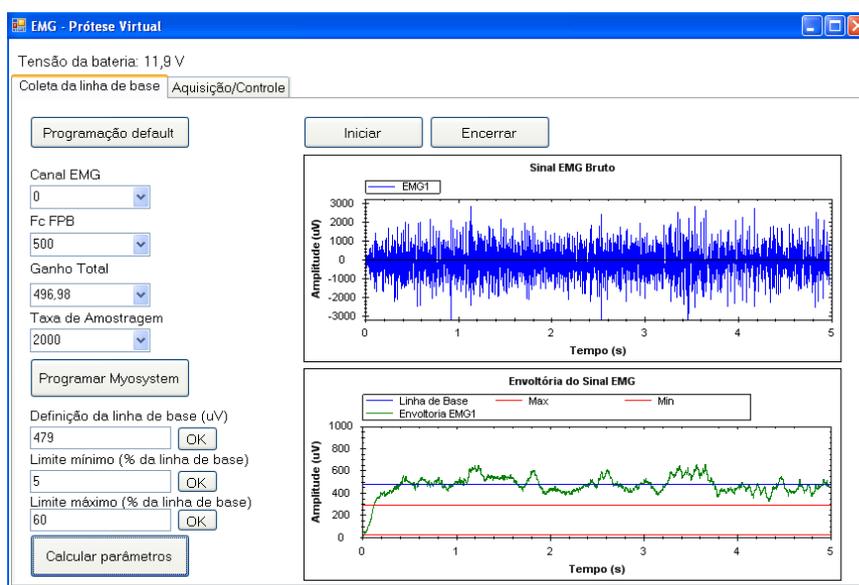


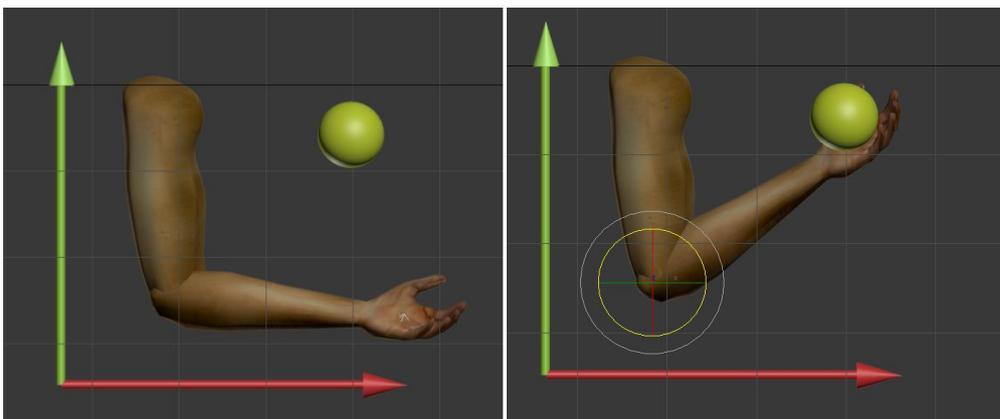
Figura 39 - Tela para coleta do sinal EMG

Os cálculos realizados para obtenção do ângulo do braço Virtual foram desenvolvidos pela equipe do laboratório de engenharia biomédica (SILVA, 2012) e foram utilizados em dois estudos de caso que serão vistos no próximo capítulo.

### 5.6.2 INTERFACE RV (C)

O módulo foi desenvolvido em *Microsoft XNA<sup>TM</sup>* (um *Framework* que serve para o desenvolvimento de jogos para PCs com Windows) utilizando a linguagem de programação C#.

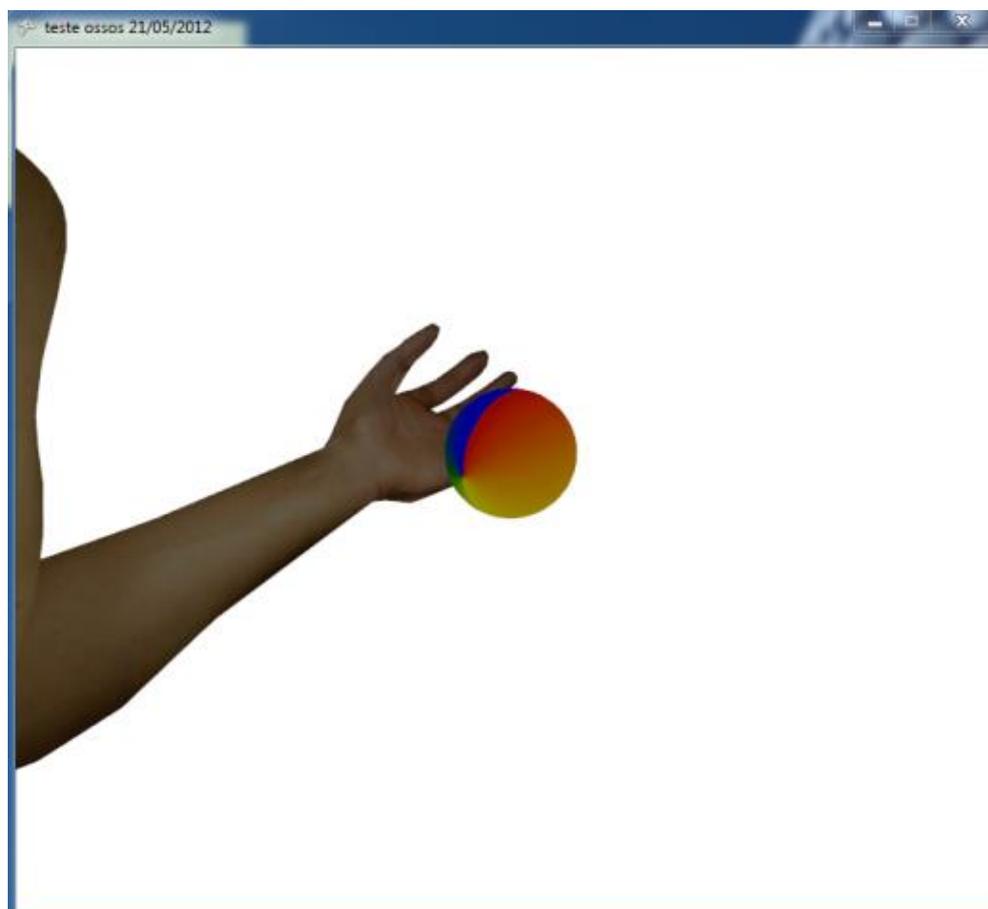
A interface de Realidade Virtual é composta de um ambiente de reabilitação onde um modelo de braço Virtual tem que tocar um alvo. O exercício proposto pela terapeuta Maristella Borges tem por objetivo estimular as unidades motoras dos pacientes com AVC (veja Figura 40).



(a) braço flexionado aproximadamente em 90º (b) braço flexionado tentando atingir o Alvo

**Figura 40 – Ilustração do exercício proposto pela terapeuta.**

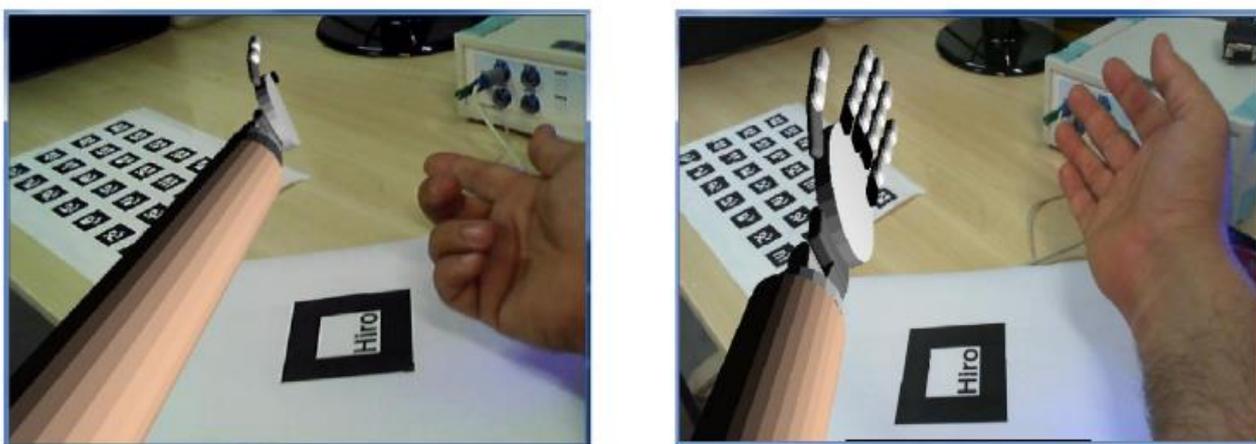
O ambiente recebe os eventos de rotação do ângulo do cotovelo, causando a pronação ou supinação do membro Virtual. O objetivo do exercício de reabilitação é tocar o alvo que é uma esfera. Quando o paciente tem êxito o tempo gasto é computado e um contador é incrementado, salvando o número de acertos. Além disso, o ambiente exibe um *feedback* visual que é a rotação da esfera, como ilustrado na Figura 41.



**Figura 41 – Interface de Realidade Virtual, exercício de reabilitação.**

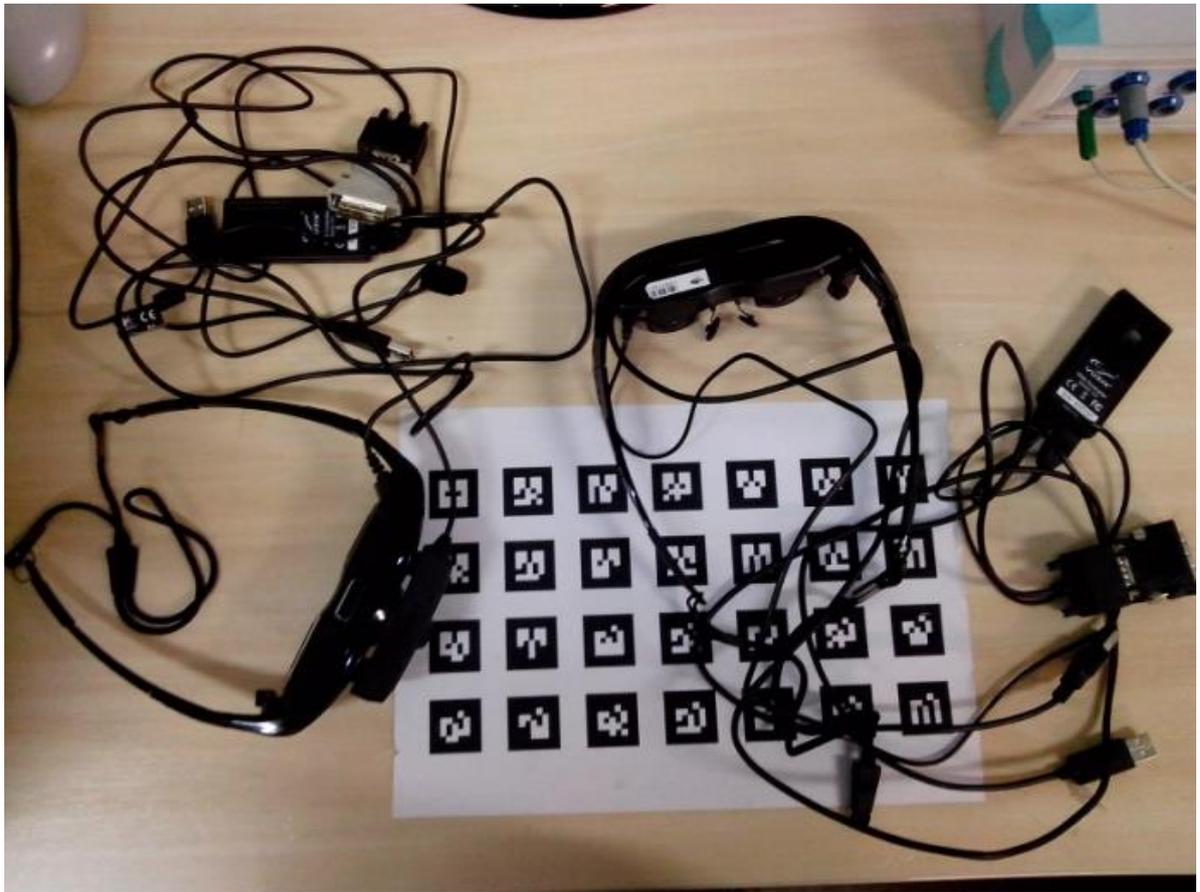
### 5.6.3 INTERFACE RA IMERSIVA (B)

Para desenvolvimento da interface RA imersiva foram usados 3 óculos (modelo Vuzix Wrap 920AR) provenientes do projeto FAPEMIG APQ-02134-10 Demanda Universal 2010 (Anexo IV), sob a coordenação do Prof. Alexandre Cardoso. A aquisição dos óculos possibilitou a realização de testes. Porém, os resultados apresentados não foram satisfatórios. A sensação de realidade (imersão natural) estava prejudicada devido às projeções em perspectivas providenciadas pelos respectivos óculos. Portanto, a equipe optou por comprar uma versão mais atual dos óculos (Wrap 1200 – lançada após aprovação deste projeto). Apesar de suportar ajustes, notou-se que os óculos Vuzix 920 distorcem o modelo virtual como se pode comparar nas imagens da Figura 42.



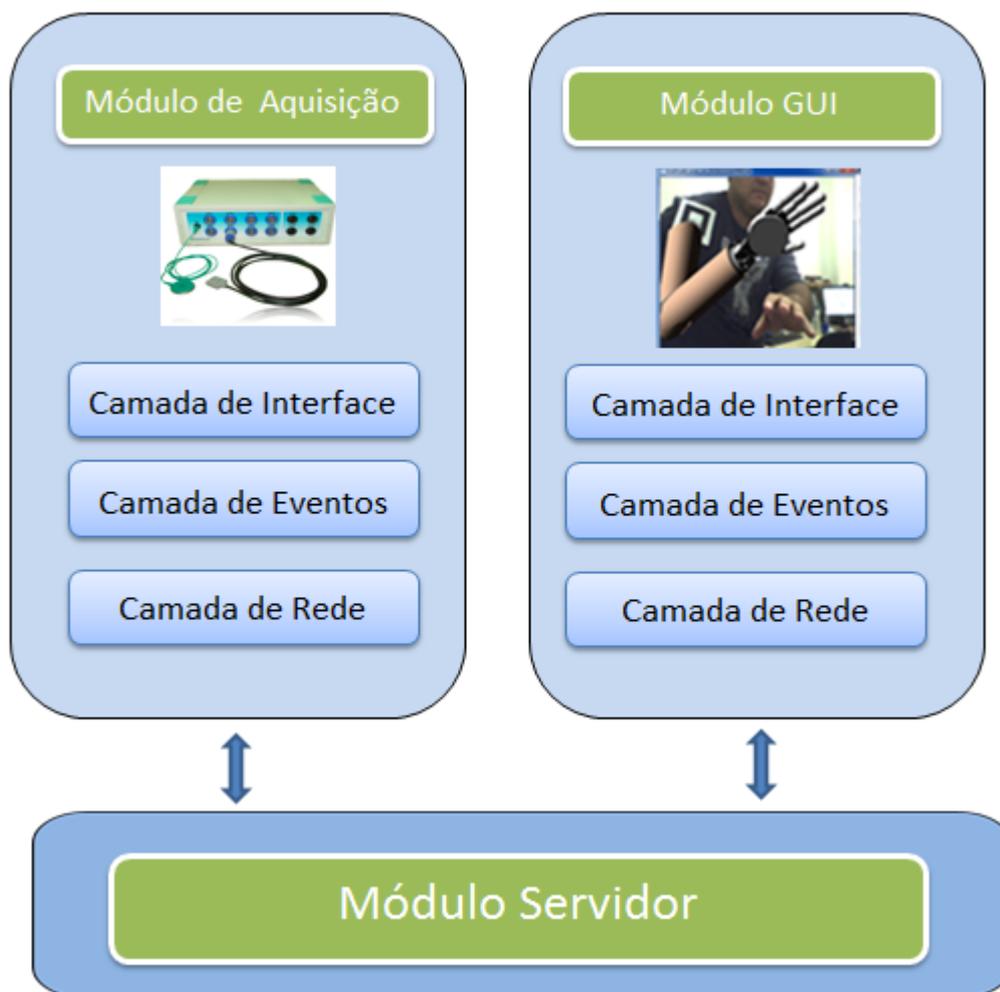
**Figura 42 - Comparação entre Vuzix 920 AR (esquerda) e Vuzix 1200 AR (direita).**

Uma vez definido os óculos, o próximo passo foi a construção do módulo que suporta a interface de Realidade Aumentada, foi utilizado a plataforma Goblin XNA™(CODEPLEX, 2012) que é uma plataforma para a pesquisa sobre interfaces de usuário 3D, incluindo a Realidade Aumentada móvel e Realidade Virtual, com ênfase em jogos. Ele é escrito em C# e com base no *Microsoft XNA Game Studio 3.1* (Goblin XNA v3.6) e *Microsoft XNA Game Studio 4.0* (Goblin XNA v4.0). A escolha do XNA se deve a vários fatores, entretanto um dos mais relevantes é uso de um marcador composto que pode sofrer oclusão parcial, o que ajuda muito aos pacientes com problemas de controle motor. Outro fator está baseado no número de fios de aquisição e dos óculos de RA (Figura 43) que podem prejudicar a identificação de um marcador único. A figura 43 exhibe os óculos usados no projeto e o marcador especial que a plataforma Goblin XNA usa para mapeamento de posição em Realidade Aumentada Imersiva.



**Figura 43 - Óculos RA imersivo sobre marcador XNA Goblin.**

A interface de RA é análoga a de Realidade Virtual contemplando os mesmos exercícios de reabilitação. A figura 44 ilustra o sistema com todos seus módulos e camadas internas, camada de rede, camada gerenciadora de eventos e por fim a camada de aplicação, a esquerda o modulo de aquisição que é responsável pelo captura e processamento do sinal este envia os datagramas via rede para o modulo de RA que recebe o datagrama verifica qual evento foi enviado e atualiza o ambiente.



**Figura 44 – Sistema de Reabilitação em Realidade Aumentada, usando interfaces (Aquisição EMG/ Visualização RA).**

Sistema de Reabilitação em uso pode ser visto na Figura 45.



(a) Sistema com todas as interfaces ao mesmo tempo

(b) interface RA

**Figura 45 - Modulo RA em funcionamento**

#### 5.6.4 INTERFACE DE AQUISIÇÃO - EMULADOR DA INTERFACE EMG (D)

Um emulador do hardware foi construído para ser utilizado como prova de conceito. Este emulador é um software que emula o hardware, envia Datagramas semelhantes ao verdadeiro e pode ser usado para testar as interfaces visuais, sua aparência é a mesma do hardware e seu funcionamento é simples quando o usuário clica sobre o botão o mesmo envia dados para serem processados (vide Figura 46).



Figura 46 - Emulador de Interface de aquisição

#### 5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

A partir da análise de requisitos, um escopo do sistema foi desenhado. Como consequência os módulos foram implementados e a junção dos códigos classes e Dlls ajudaram a criar um Framework. Este, por sua vez, materializa a idéia de reutilização e flexibilização de manutenção de interfaces posteriormente a implementação do sistema. O próximo capítulo descreve a implementação de Estudos de caso que fazem uso das interfaces criadas a partir do IHCIntegrator.

---

## 6. ESTUDOS DE CASO DO FRAMEWORK, SUAS APLICAÇÕES, RESULTADOS E LIMITAÇÕES

---

### 6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os detalhes de implementação de três Estudos de Caso que utilizam o IHCIntegrator descrito no capítulo anterior, seus resultados, as dificuldades encontradas e as contribuições (software, patentes e publicações). E confrontar os resultados encontrados com as hipóteses levantados no Capítulo 1.

Para testar o Framework de Interfaces alguns prototipos foram criados:

- A. O primeiro Estudo de Caso (principal), aplica os conceitos e põe em prova as hipóteses levantadas no capítulo 1. Sistema de reabilitação para pacientes com AVC a partir de controle EMG usando interfaces, Realidade Virtual e Realidade Aumentada.
- B. O segundo trabalho, o IHCIntegrator foi utilizado pelo grupo de pesquisa criar um sistema biomédico de controle usando sinais EMG, que controla cadeiras de rodas com interface usando LABVIEW.
- C. O terceiro, por sua vez, aproveita a estrutura criada no caso A, trocando a fonte de dados de EMG para EEG, esboçando novos desafios a serem pesquisados,

uma vez que a análise de padrões EEG e seu uso em controle, ainda se encontram em fase de investigação.

## **6.2 PROTOCOLO DE TRATAMENTO**

Considerando a Resolução do Conselho Federal de Fisioterapia e Terapia Ocupacional (COFFITO), nº. 396/2011, no qual, também é considerado o uso de terapias com base em sistemas de RV, o protocolo de tratamento deve ter como objetivo atender os requisitos funcionais da atividade terapêutica, de forma a adequar-se aos requisitos computacionais limitantes do sistema, sem prejuízo para o paciente (COFITTO, 2011).

Para realizar os testes com pacientes houve uma solicitação ao conselho de ética permanente com registro CEP/UFU - 314/11.

Aplicação do estudo de caso a voluntários saudáveis e pacientes pós AVC, para fins de validação da ferramenta e aferição de melhoras tanto no aspecto motivacional quanto funcional dos pacientes com emprego do mesmo.

O teste é composto por:

- Explicação dos objetivos;
- Procedimentos de limpeza e implantação de sensores;
- Etapa de calibração;
- Etapa de teste;
- Avaliação do sistema;

## **6.3 REABILITAÇÃO PARA PACIENTES DE AVC COM CONTROLE EMG USANDO INTERFACES REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA**

Este Estudo de caso tem por objetivo movimentar um membro superior em um ambiente de Realidade Virtual ou Aumentada para reabilitação. A princípio, este se destinava a facilitar a adaptação de pessoas amputadas a próteses. Contudo percebeu-se que com poucas adaptações, ele poderia também ser utilizado com pacientes de Acidente Vascular Cerebral (AVC). Assim, para ajudar no processo de reabilitação dos mesmos, obteve-se orientação de terapeutas que realizaram testes com voluntários.

Para esse estudo de caso para reabilitação de pessoas que sofreram AVCs foram considerados que "Estas pessoas possuem membros superiores flexionados e não conseguem movimentar os mesmos voluntariamente". É frequente nestes casos, com o passar do tempo, a substituição de um quadro de hipotonia, por um quadro de hipertonia em que há um aumento

da resistência ao movimento passivo (característico dos padrões espásticos) (SULLIVAN, 1993).

A espasticidade tende a aumentar gradualmente nos primeiros 18 meses com os esforços e atividades desenvolvidas pelo indivíduo (fase espástica), podendo provocar posturas anormais e movimentos estereotipados (SULLIVAN, 1993).

Os pacientes sofrem desequilíbrio postural, espasticidade, padrão flexor do membro superior e padrão extensor do membro inferior, entre outros (Sullivan, 1993). Como estudo de caso um protótipo de sistema de reabilitação baseado em técnicas usadas por terapeutas para recuperação dos movimentos e força do membro comprometido, este protótipo possui um módulo de aquisição eletromiográfico EMG, que coleta sinais provenientes dos membros afetados, estes sinais são tratados de forma a identificar a intenção de movimento.

#### **6.4 FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADAS**

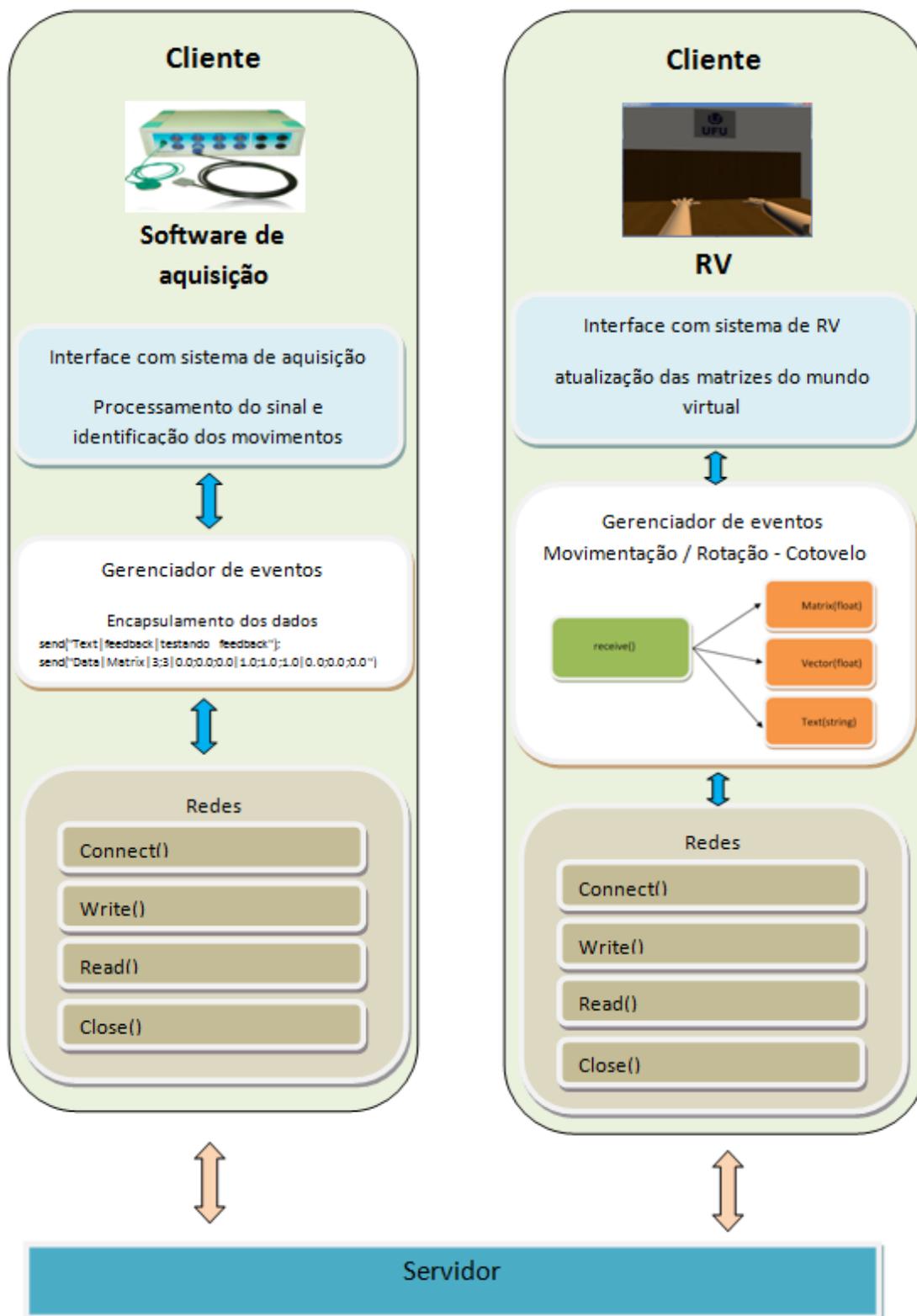
O ambiente de desenvolvimento integrado, Visual Studio. NET oferece ferramentas para integração de projetos .NET. Isso é importante porque o presente trabalho utiliza duas bibliotecas já implementadas nesta plataforma. Uma que controla a parte de exibição em Realidade Aumentada (XNA GOBLIN), e outra que é responsável pela captura do sinal EMG.

Neste trabalho optou-se por utilizar como ambiente de programação (Visual Studio) a linguagem C#, pelos motivos expostos a seguir:

- A estrutura de funcionamento da linguagem permite o carregamento de códigos e Dlls (a implementação feita pela Microsoft para o conceito de bibliotecas compartilhadas nos sistemas operacionais Microsoft Windows) feitas no ambiente .NET.
- O software gerado a partir do Visual Studio pode ser usado em qualquer computador pessoal, que utilize sistema operacional Windows (XP, 2003, Vista,7 e 8). E considerando que o mesmo utiliza arquivos e registros compatíveis com esse sistema operacional.
- Ter boa quantidade de recursos, com funcionalidades similares às já existentes em outras linguagens e novas funcionalidades, para que o usuário possa manipular, sem dificuldades objetos virtuais em OpenGL (PINHO, 2010) ou DirectX, (MICROSOFT, 2013) que são ferramentas responsáveis por renderização de ambientes virtuais.

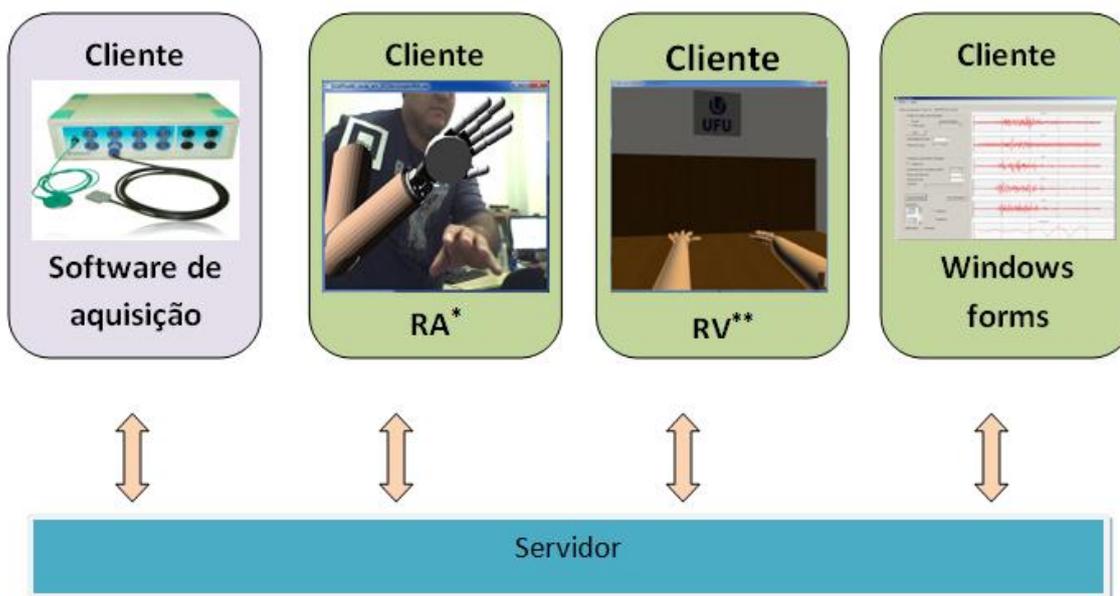
As camadas de cada módulo foram implementadas em *Dynamic Link Library* (biblioteca de vínculo dinâmico) ou DLL. Isso permite a integração do *Framework* à interface desenvolvida no ambiente *Visual Studio*. No ANEXO II se encontra a forma de integração das interfaces com o Framework de integração. A Figura 47 ilustra as camadas de cada módulo encapsulado em DLLs, excetuando o módulo de interface que as instanciam.

A representação de parte do sistema implementado pode ser acompanhado a seguir, onde se percebe uma interface de aquisição EMG que coleta os sinais provenientes dos músculos do membro afetado e faz um processamento do sinal extraíndo a intenção de extensão ou flexão do membro, neste instante o sistema de aquisição envelope os dados em uma Datagrama seguindo o protocolo orientado a eventos e passa o mesmo para a camada de redes. Esta camada se encarrega de enviar para interface de visualização ou gráfica, que posteriormente faz o sentido inverso da informação, recebe através da camada de redes um Datagrama verifica se ele é pertinente à aquela interface, e no caso positivo encaminha para camada de eventos, esta camada identifica o evento, e repassa para a camada de interface gráfica que executa o mesmo.



**Figura 47 - Sobreposição da Arquitetura ao relacionamento entre interfaces.**

O sistema encaminha do módulo de aquisição para o módulo de treinamento que é representado em ambientes de Realidade Virtual e Aumentada e ainda para interface de monitoramento de dados. A Figura 48 ilustra os módulos de interfaces contemplados no Estudo de Caso.

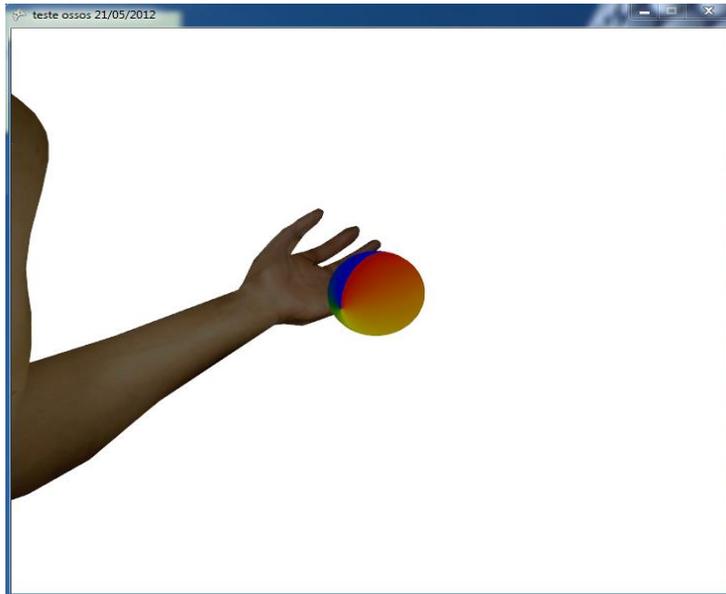


**Figura 48 - Módulos usados no sistema reabilitação de pacientes de AVC. \* Imersiva,\*\* Não Imersiva.**

A interface de treinamento é composta por módulos distintos e separados que podem ser ativados simultaneamente ou não, dependendo da necessidade. O protótipo implementado possui um cliente de aquisição e 3 clientes de interface gráfica. Para fins de comparação entre o qual sistema de visualização (Interface) seria mais eficiente para reabilitação de pacientes de AVC, este estudo de caso foi implementado com um Cliente de Visualização em Realidade Virtual, com um módulo de visualização em Realidade Aumentada e para controle do fluxo de informação um Cliente de Visualização em *Windows forms* onde pode-se monitorar os sinais *EMG*.

O ambiente é dividido em exercícios, pré definidos por terapeutas, com o objetivo da reabilitação motora dos pacientes.

A finalidade do exercício proposto pelas terapeutas é estimular a extensão voluntária do membro afetado por meio de jogos, como tocar a bola Figura 49.



**Figura 49 - Jogo criado para reabilitação de pacientes AVC.**

#### **6.4.1 TESTES**

O projeto foi testado por dez indivíduos saudáveis e três terapeutas, alguns voluntários podem ser observados realizando seus testes na Figura 50. Estes testes foram de extrema relevância para verificar falhas, testes de adaptação do sistema a pacientes e ajudaram a melhorar o mesmo.



**Figura 50 - Voluntários saudáveis**

Cada voluntário teve que passar por cada etapa definida no protocolo apresentado anteriormente. Após o teste, todos os sujeitos responderam a um questionário para avaliar o sistema. As perguntas foram baseadas em ISONORM9126-1, que é aplicado a interfaces de software em questões como a aplicabilidade, facilidade de uso e resposta (ANEXO III).

Os resultados indicaram que todos os indivíduos foram capazes de adaptar seu controle motor através de *feedback* visual fornecido para atingir o objetivo do teste. De acordo com a avaliação, os utilizadores acreditam que o sistema pode ser utilizado como uma ferramenta auxiliar terapias de reabilitação e sugere que ele deve sofrer uma modificação de calibração para ser usado com outros músculos além dos bíceps, de modo que possa atender aos pacientes com limitações do músculo citado.

Após alterações o sistema passou a permitir calibração individual para personalizar o mesmo para as particularidades de cada paciente. Essas alterações contribuíram para concepção de um sistema de reabilitação que por sua vez gerou um **registro de software (ANEXO I)**.

Novos testes com voluntários foram realizados, com um grupo de pacientes voluntários que sofreram AVC, como ilustrado na Figura 51. Estes pacientes foram selecionados junto a UFU, como voluntários e apresentam as seguintes características pós-AVC (Tabela 6.1).

**Tabela 6.1 – Características dos Pacientes**

**1 - Escala para medir o grau de espasticidade.**

Os pacientes seguiam o seguinte protocolo de testes:

- Apresentação do procedimento;
- Limpeza e fixação dos eletrodos;

PACIENTE	IDADE	TIPO AVC	TEMPO LESÃO (MESES)	LADO COMPROMETIDO	ASWORTH <sup>1</sup>
1	52	Isquêmico	12	esquerdo	1+
2	73	Isquêmico	19	esquerdo	2
3	57	Isquêmico	9	direito	1
4	69	Isquêmico	5	esquerdo	2
5	64	Isquêmico	6	esquerdo	1+

- Aplicação do teste em RV;
- Aplicação do teste em RA;
- Aplicação de Ficha Avaliativa.

A Figura 51 ilustra pacientes durante sessão, em A paciente utilizando RA Imersivo em B paciente usando RV não Imersivo.



(A) Interface RA

(B) Interface RV

**Figura 51 - Sistema de reabilitação em uso por pacientes que sofreram AVC.**

#### **6.4.2 AVALIAÇÃO DO ESTUDO DE CASO**

Para avaliação dos resultados e análise das discussões geradas pela apresentação dos dados desta pesquisa, faz-se necessária a apresentação do protocolo de tratamento e o planejamento das intervenções requeridas durante a fase de testes do sistema.

Os resultados são apresentados e classificados em duas vertentes. A primeira apresenta os resultados oriundos do desempenho do sistema, onde são analisados os requisitos computacionais. E a segunda mostra os resultados da avaliação da interface, realizada por um grupo de terapeutas sobre o sistema.

O caso de uso mede a eficácia do paciente alcançar o alvo, no caso ilustrado anteriormente uma bola, o sistema contabiliza a quantidade de movimentos em quais ocorreram o acerto ao alvo, no instante em que o alvo é atingido um *Feedback* visual ocorre no ambiente (a bola gira), deixando claro para o paciente que houve o acerto, essa rotina é igual a Interface de RV e também na RA, todos os pacientes usaram ambas interfaces e relataram sua experiência de qual agradou mais, o resultado dessa auto avaliação pode ser vista na Figura 52.



**Figura 52 - Média de acertos em (%) no exercício**

Além da auto avaliação que o sistema faz, um questionário sobre Ergonomia e expectativa de eficácia do tratamento foi aplicado ao pacientes, essa avaliação leva em conta apenas dois fatores: a dificuldade de uso (vide Figura 53) e as expectativas dos pacientes sobre a utilidade da ferramenta em seus tratamentos, o resultado destes estão ilustrados na Figura 54



**Figura 53 – Usabilidade (facilidade ou dificuldade de utilização do sistema em porcentagem)**

## Expectativa sobre o tratamento

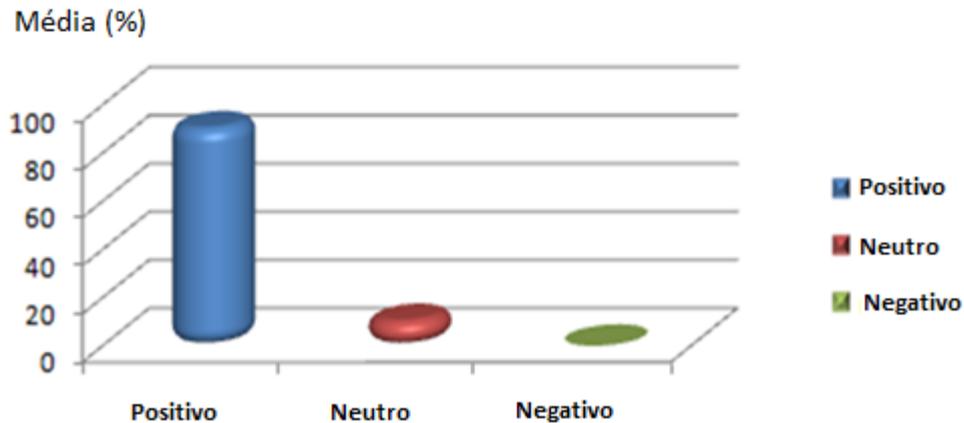


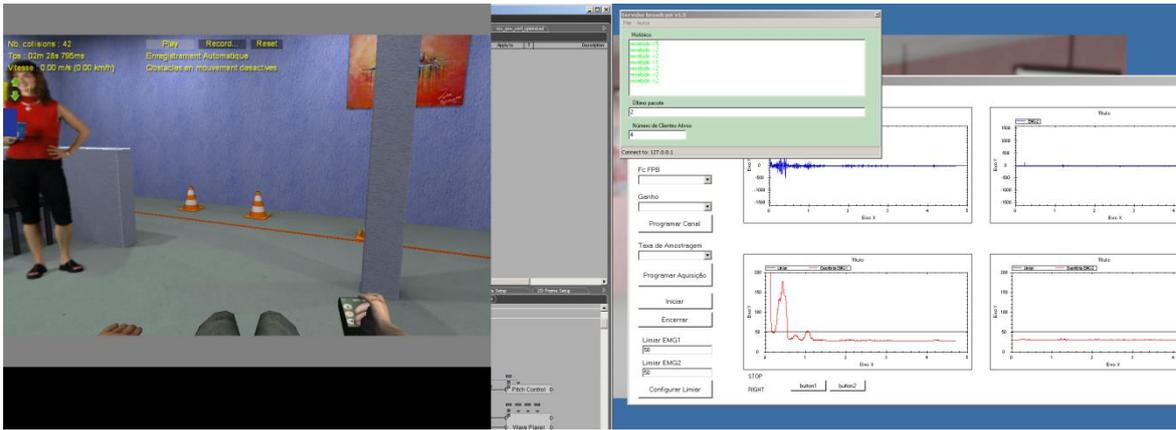
Figura 54 - Expectativa dos pacientes sobre sua recuperação utilizando o exercício proposto em porcentagem.

Sobre a escolha de qual interface agradou mais e porque, os resultados demonstraram que o sistema em RV não imersivo apresentou 80 por cento de aceitação, enquanto o RA deve apenas 20 por cento, a principal motivação para tal escolha foi em relação ao uso do oculos de RA.

### 6.5 INTERFACE DE CONTROLE DE CADEIRAS DE RODAS

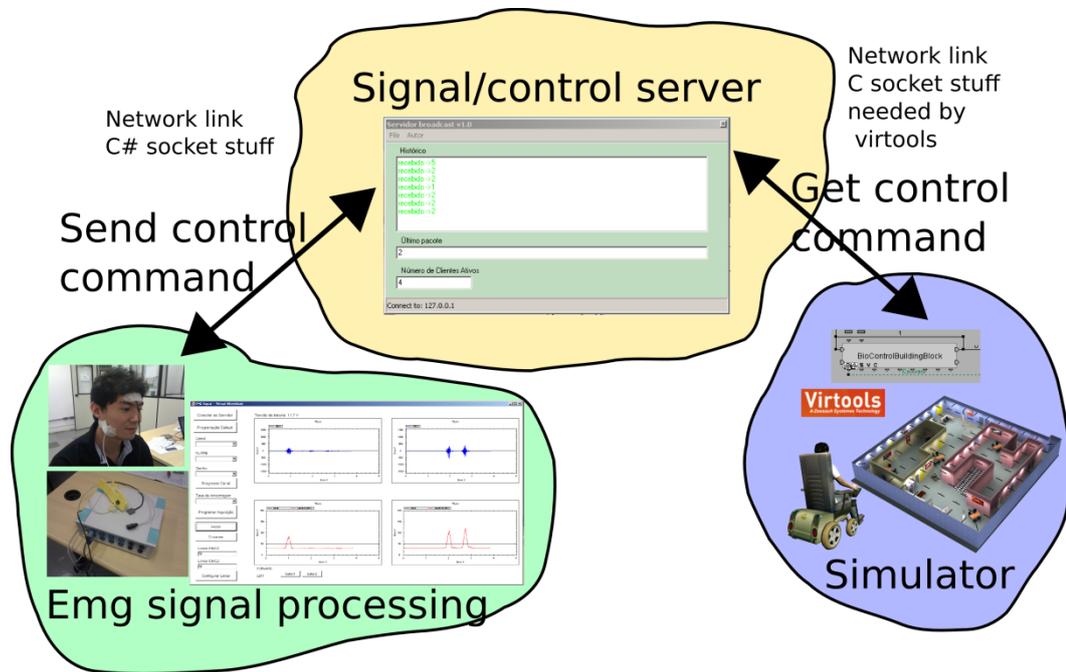
A parceria entre os laboratórios de Computação Gráfica e Engenharia Biomédica da UFU e com os pesquisadores da Universidade de Lorraine na França, um projeto de simulação Virtual de cadeira de rodas controladas por sinais EMG. O grupo da UFU participou com a interface de aquisição e o grupo francês com a interface Virtual de simulação de um ambiente com obstáculos para usuários de cadeira de rodas (vide Figura 55).

Para criação do ambiente virtual foi utilizado a ferramenta **Virtools** (ANDREI, 2012) pelo grupo francês. Trata-se de um ambiente de desenvolvimento para criar aplicações 3D em tempo real e serviços relacionados, destinados a integradores de sistemas, estúdios de jogos e usuários finais corporativos. Desde 2006, o software é chamado *3DVIA Virtools* (como parte da marca 3DVIA da Dassault Systèmes). A plataforma de desenvolvimento é utilizada na indústria para as aplicações de Realidade Virtual.



**Figura 55 - Interfaces de aquisição (direita) e RV(esquerda) integradas**

Usando IHCIntegrator, uma classe cliente foi implementada em C que encapsulava o comando de controle da cadeira de rodas no formato inelegível as demais interfaces, essa classe foi adicionada a interface RV da *Virtools*, já existente no projeto original o que permitiu que a mesma se comunicasse com a interface de aquisição criada pelos membros do BIOLAB-UFU, como pode ser observado na Figura 56. Assim para realizar o controle eletromiográfico da cadeira, apenas foi adicionada a classe e formatado os comandos seguindo o padrão proposto pela arquitetura.



**Figura 56 - Integração de interfaces para simulação de cadeira de rodas controlada por EMG (SILVA, 2012).**

### 6.5.1 TESTES E RESULTADOS DO SEGUNDO ESTUDO DE CASO

Criado o protótipo, as interfaces foram integradas e o controle da cadeira de rodas no ambiente virtual foi realizado com êxito, e testes foram realizados (SILVA, 2012). O ambiente se encontra em adequação para compor um sistema de reabilitação para isso novas funcionalidades estão em desenvolvimento, como passeios virtuais, pistas de treinamento e *feedback* ao usuário.

### 6.6 SISTEMA DE CONTROLE DE PRÓTESES DE BRAÇO UTILIZANDO SINAIS EEG.

Este sistema foi utilizado para testar o Framework na criação de novas interfaces de aquisição e se encontra em desenvolvimento no laboratório de Computação Gráfica da Universidade Federal de Uberlândia, onde pretende se controlar a prótese mecânica com sinais Eletroencefalograma (EEG), utilizando o Framework de integração de interfaces, por meio do módulo cliente de aquisição com o capacete EMOTIV.

O sistema foi desenvolvido em Java e comunica-se com o servidor criado e implementado em (C++) e com a interface RV de simulação já definida anteriormente, como ilustrado na Figura 57.

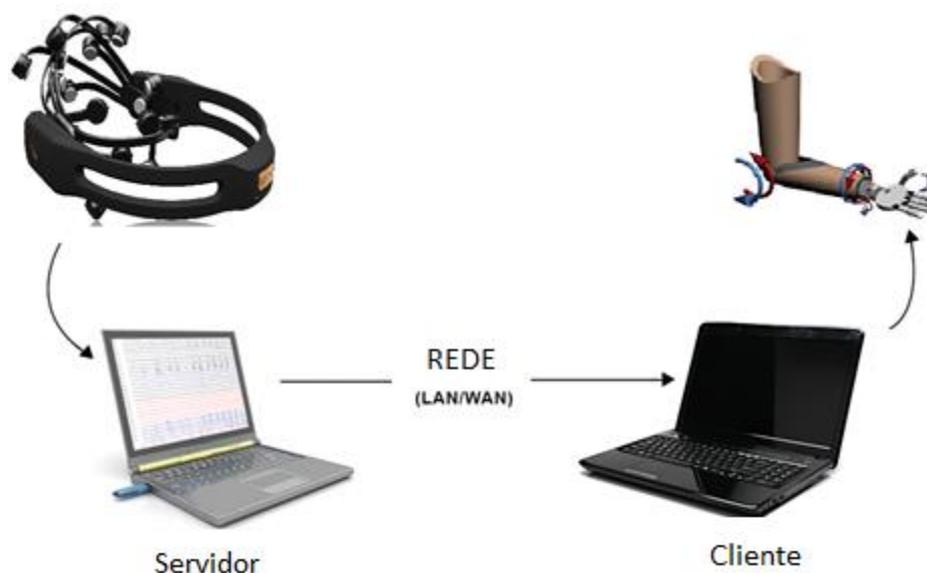
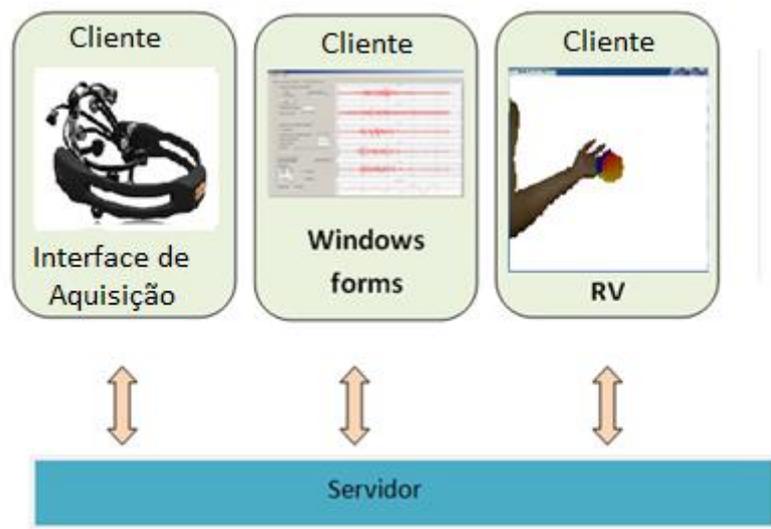


Figura 57 - Esquema de controle de próteses usando sinais EEG.

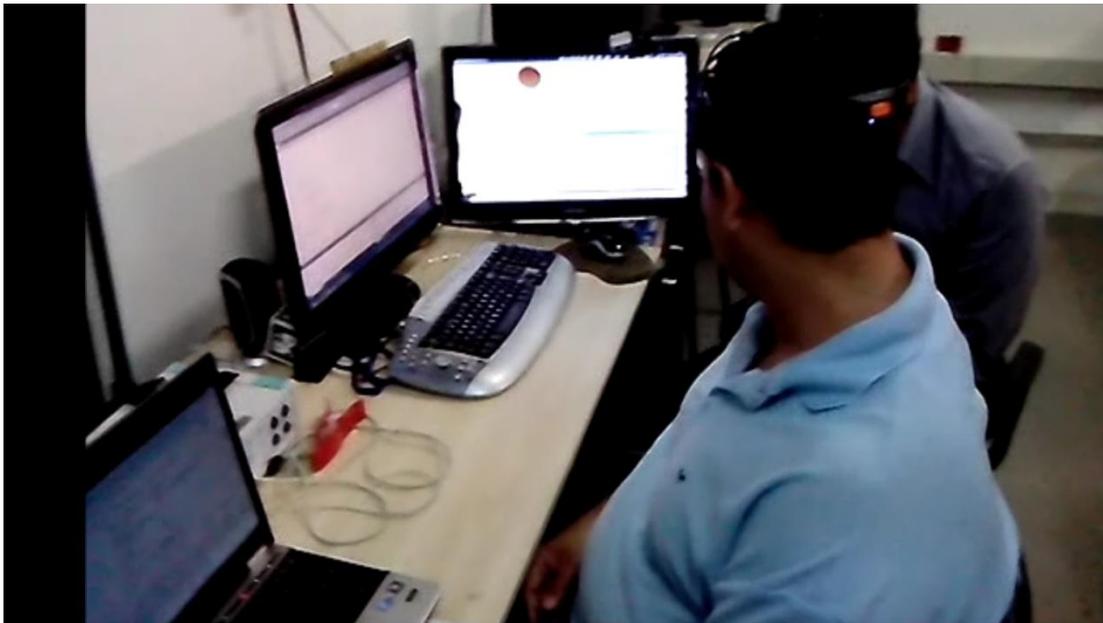
Para o sistema supra-citado somente 3 interfaces foram selecionadas, aquisição, monitoramento gráfico de dados, e simulação RV, por se tratar de um protótipo teste onde seu objetivo é capturar um sinal bruto e repassar o mesmo para a camada de monitoramento de

dados sem pretensão de controle da prótese, fora do escopo dessa tese, uma vez que este Estudo de caso secundário se encontra em desenvolvimento por outro membro do grupo de pesquisa, vide Figuras 58 e 59.



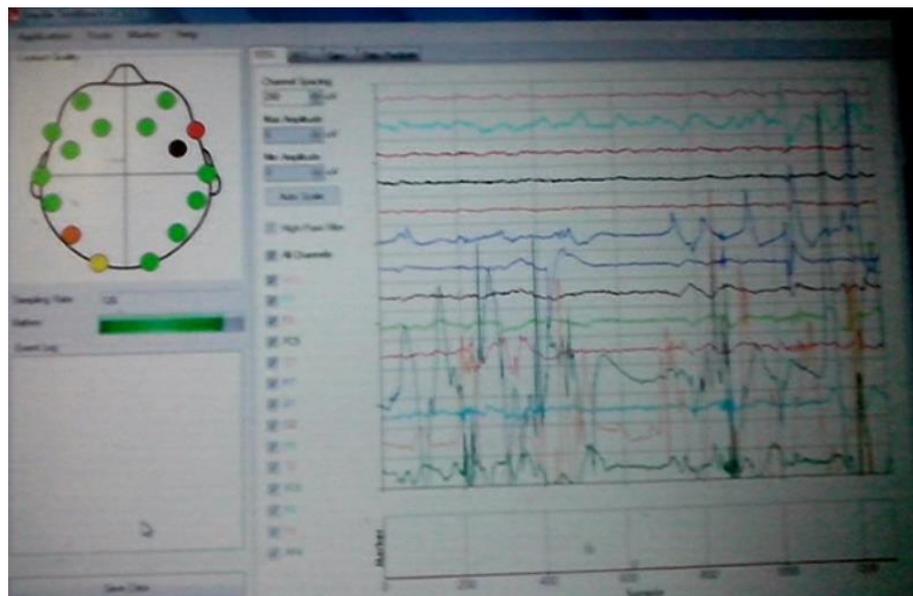
**Figura 58 - Interfaces do sistema de controle de próteses com sinais EEG.**

Para os testes um canal do capacete EMOTIV foi escolhido, sua escolha se deu pelos fatos de possuir sinal ativo e sensível a concentração, esse sinal passou por uma regressão linear gerou um sinal de envoltória onde um limiar de controle foi estabelecido isto foi suficiente para o controle da prótese Virtual de forma grosseira e experimental somente para validar a integração O experimento pode ser observado na Figura 59 onde se vê os sinais capturados em tempo real e o ambiente virtual que sofre uma ação dos sinais coletados. Mas uma vez ressaltando sem controle intencional por falta de técnica para isso.



**Figura 59 - Testes de controle de próteses com sinais EEG.**

A aquisição dos sinais EEG e seu processamento ocorrem em tempo real e podem ser observados na Figura 60.



**Figura 60 - Interface de aquisição de sinais EEG**

### **6.6.1 TESTES E RESULTADOS DO TERCEIRO ESTUDO DE CASO**

O estudo se encontra em desenvolvimento, testes preliminares foram realizados, gerando pesquisas e publicações (NOGUEIRA, 2013).

Apesar das interfaces terem sido integradas com êxito e a transmissão dos dados de uma interface para outra é efetiva, análise dos sinais se encontra em desenvolvimento.

## 6.7 DISCUSSÃO

Com base nos estudos de casos vistos e em seus resultados

As características analisadas, a princípio (capítulo 3), foram:

- Interface de aquisição
- Interface RV
- Interface RA
- Sistemas Fechados
- Comunicação via Redes
- *Feedback* ao usuário
- Análise em Tempo Real
- Multi-GUI
- Programação Orientada a Eventos
- Multi-Sinais

Após a construção do Framework uma nova característica surge:

**Multi-Interfaces:** suportar mais de uma interface simultaneamente (vide quadro 7.1).

Com a construção do Framework possibilitou-se a composição de sistemas de reabilitação que suportem uma ou mais interfaces de visualização de dados o que permite mudar a interface dependendo do estágio do tratamento ou mesmo escolher um interface mais ergonômica respeitando as características de cada paciente. Ainda ressaltando que essa característica também se aplica a interfaces de aquisição podendo combinar o uso de mais de uma simultaneamente.

Levando-se em consideração os questionamentos do Capítulo 1.

H1: É possível desenvolver uma arquitetura de software que é capaz de interoperar os dados de diversos dispositivos de Interface Humana Computador (IHC). Este aparato tem o potencial para propiciar mais opções de Entrada/Saída de dados e *feedback* para a construção de sistemas que façam uso de interfaces gráficas.

H2: A possibilidade de usar simultaneamente uma ou mais interfaces de visualização poderia proporcionar mais ergonomia no uso de simuladores.

H3: A criação de uma arquitetura orientada a conexão que divide as ações de comunicação, processamento e interface pode possibilitar a atualização ou troca de parte do sistema sem comprometer o todo.

Podemos afirmar que as hipóteses levantadas foram confirmadas.

Tabela 7.0-1 – Comparação entre trabalhos relacionados explorando suas características principais

Característica		Interface Aquisição (Sinais Biomédicos)	Interface RV	Interface RA	Sistemas Fechados	Uso de Redes	Feedback ao usuário	Análise em Tempo Real	Uso simultâneo de mais de uma GUI	Programação Orientada a Eventos
AVC	(SUBRAMANI AN, 2011)									
	(SANGWOO, 2014)									
	(EDMANS et al., 2006)									
	(MARIANA et al., 2013)									
MEMBRO SUPERIOR	(ORSBORNAN D, 2007)									
MÃO	(SUEMATSU, 2006)									
MULTI APLICAÇÃO	NOGUEIRA, 2014									

Mediante aos resultados obtidos na integração com os estudos de caso aqui expostos, pode-se afirmar que o *Framework* desenvolvido permitiu a criação um sistema de reabilitação que pode suportar varias interfaces de visualização, de forma individual ou simultaneamente, acredita-se que com o advento de novas tecnologias esse Framework pode desempenhar um papel importante na atualização de sistemas que o utilizarem, um vez que uma de suas principais características é poder permitir isso.

## **6.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo ilustrou o uso do Framework em 3 aplicações de engenharia biomédicas todas com resultados e ou publicações.

A primeira aplicação demonstrou a integração de uma interface de aquisição (EMG) e 3 interfaces de visualização de dados que podem trabalhar simultaneamente ou separadas.

No segundo protótipo foi ilustrado o uso de duas interfaces uma (EMG) e outra Virtual que compõe um circuito de treinamento de cadeira de rodas por sinais eletromiográficos.

E o terceiro trabalho usando a interface RV do primeiro sistema citado e uma nova interface de aquisição (EEG) foi acoplada ao sistema proporcionando o recebimento de dados.

Demonstrado a flexibilidade de implementação de novos módulos através do IHCIntegrator.

O próximo capítulo apresenta as conclusões e as pesquisas futuras que poderão herdar características deste trabalho para impulsionar as atividades de reabilitação virtual.

---

## 7. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA PESQUISAS FUTURAS

---

### 7.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo discutir os aspectos positivos e negativos do desenvolvimento desta Tese, além, de apresentar as conclusões alcançadas. Por fim com base na análise do sistema apontar sugestões para trabalhos futuros e continuidade da pesquisa.

### 7.2 DISCUSSÃO

Foi abordado neste estudo a aceitação ao se realizar um exercício de terapia em um ambiente 3D imersivo, utilizando diferentes interfaces gráficas como Realidade Virtual e Aumentada.

Algumas diferenças no desempenho motor, foram detectadas dependendo do meio de visualização utilizada.

Sobre o Ambiente de Realidade Aumentada, apesar dos exercícios propostos terem sido realizados com êxito, por todo grupo saudável e por grande parte dos pacientes que sofreram AVC foram relatados desconforto ao utilizar o óculos de Realidade Aumentada os principais argumentos foram:

- Grande número de fios;

- Confusão visual;
- Confusão sobre a percepção de distância;
- E ainda o peso do óculos e câmera que juntos tem peso de aproximadamente 350 gramas.
- O aparato também esquenta com aproximadamente 15 minutos.

Quanto ao Ambiente de Realidade Virtual Imersiva, o mesmo manteve a imersão dos grupos de teste. Os relatos sobre desconforto ergonômicos foram os mesmos observados na RA. O ambiente de Realidade Virtual Não Imersivo, fez o uso de projeção do ambiente virtual mostrou-se, ergonomicamente, mais confortável para os pacientes e não demonstrou perda de imersão na realização dos testes.

### 7.3 CONCLUSÕES

Este trabalho investigou o potencial de Realidade Virtual e Realidade Aumentada na forma de interfaces idenpendentes entre si na composição de sistemas de reabilitação. Além disso, proporcionou a criação de um Framework que formaliza regras de comunicação entre interfaces, através de eventos (*call*, *feedback*, matrizes e vetores). Testes realizados com o Framework demonstraram que a comunicação entre as interfaces foram eficientes e agilizam o processo de alteração e ou criação de novos sistemas, como observado nos estudos de caso. Todas as interfaces se comunicam usando *sockets*, podendo ser ligadas ou desligadas sem afetar o sistema como um todo. Isto confirma que a Hipótese inicial de um sistema flexível de reabilitação possível de ser construído.

Testes com usuários saudáveis ajudaram a detectar falhas e ajustes ao sistema. Posteriormente, após liberação do conselho de ética (registro CEP/UFU - 314/11), testes realizados em um grupo de pacientes voluntários ajudaram a lapidar ainda mais o sistema e coletar suas expectativas (impacto psicológico) sobre o tratamento e impacto real, mensurável sobre sua evolução utilizando o mesmo. Sobre este grupo pôde-se detectar, com base em análise dos resultados coletados, uma evolução dos pacientes no aumento da dispasidade dos mesmos. Isto demonstrou a potencialidade das técnicas de RV e RA imersiva como ferramenta de auxílio a reabilitação.

Como fruto desta pesquisa destaca-se o registro de software apresentado no Anexo I.

### 7.4 TRABALHOS FUTUROS

Investigar técnicas que permitam o processamento em tempo real utilizando módulos remotos na Internet. Uma vez que os testes foram realizados em uma rede local (LAN).

Investigar novas tecnologias de RA como *Google Glass*, para avaliar a aceitação dos pacientes à tecnologia.

## **7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este projeto apresentou uma abordagem de sistemas com uso de interfaces homem computador enfatizando as interfaces gráficas, Realidade Virtual e Aumentada. Esta abordagem sustenta a possibilidade de agregar funcionalidades e flexionar implementações que utilizam essas interfaces com em sistemas de simulação e reabilitação.

Finalmente, é esperado que as técnicas computacionais aqui propostas contribuam para a melhoria da qualidade de vida de seres humanos vítimas de traumas que necessitem de reabilitação.

## BIBLIOGRAFIA

A. N. Silva\*, A. B. Soares\*, E. A. Lamounier\*\*, K. L. Nogueira\*\*, A. A. R. de Sá\*.DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ELETROMIOGRAFIA PARA CONTROLE DE AMBIENTE VIRTUAL DE BIOFEEDBACK APLICADO À REABILITAÇÃO MOTORA.XXIII Congresso Brasileiro em Engenharia Biomédica – XXIII CBEB. Brasil. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

AUKSTAKALNIS,S.; BLATNER,D. - Silicon Mirage: The Art and Science of Virtual Reality, Peatchpit Press, Berkeley, CA, 1992.

BEGAULT, D. R. 3-D Sound for virtual reality and multimedia, Academic Press, Cambridge, MA, 1994.

BURDEA, G.; DESHPANDE, S.; POPESCU, V.; LANGRANA, N.; GOMEZ, D.; DIPAOLO, D. and KANTER, M.; Computerized hand diagnostic/rehabilitation system using a force *feedback* glove. in Proc. MMVR 5, 1997, pp. 141–150.

BURDEA, GRIGORE C., POPESCU, VIOREL G., VINCENT R. " A Virtual-Reality-Based Telerehabilitation System with Force *Feedback*" TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE, VOL. 4, NO. 1, MARCH 2000

CAETANO, D. S. D. ; MATTIOLI, F. E. R.,NOGUEIRA, K. L., LAMOUNIER, Edgard, CARDOSO, Alexandre:Comparisonbetween MLP and LVQ Neural Networks for Virtual Upper Limb Prosthesis Control. Lecture Notes in Computer Science **JCR**, v. 7435, p. 382-389, 2012.

CAMARGOS, A. C. O efeito do posicionamento dos membros inferiores durante o movimento de sentado para de pé em hemiparéticos crônicos. 2006. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Reabilitação) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CARDOSO, L. R; SOUSA, L. B.; LOPES, L. G. Proposta de manual de aplicação do biofeedbackeletromiográfico modelo PATHWAY MR-20 no músculo tibial anterior de pacientes portadores de seqüelas de acidente vascular cerebral (AVC). Arquivo Ciências Unipar, Paraná, p.77-82, Jan/Abr.2003.

CARVALHO, L.; MARINHO, L.; FERREIRA, J. et al. Eletromiografia superficial na avaliação da função muscular de pacientes hemiparéticos sob tratamento fisioterapêutico. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – NETEB, Centro de Ciências da SAÚDE E DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Disponível em: <<http://www.memso.bio.sld.cu/arrepdf/00122.pdf>>  
Acesso em: 12 out. 2013.

CRIASAUDE, "Estatísticas AVC", 2013 disponível em:  
<<http://www.criasaude.com.br/N11463/doencas/estatisticas-avc.html>> acessado em: 24 nov. 2013.

CONCEITO, Conceito de Software. Disponível em:  
< <http://queconceito.com.br/software> > acesso em: 10 set. 2014.

CODEPLEX, Goblin XNA, 2013. disponível em:  
<<http://goblinxna.codeplex.com/>> acesso: 29 nov. 2013.

COFITTO, Conselho Federal de Fisioterapia e Terapia Ocupacional. Resolução 396/2011. Brasília (DF): 2011. Disponível em:  
<[http://www.coffito.org.br/publicacoes/pub\\_view.asp?cod=2126&psecao=9](http://www.coffito.org.br/publicacoes/pub_view.asp?cod=2126&psecao=9)>.

CRUZ-NEIRA, C. et al. The CAVE audio visual experience automatic virtual environment, Communication of the ACM, 35(6):64-72, June, 1992.

DATAHOMINIS, MyosystemBr1 PXX, 2014 DataHominis Tecnologia Ltda. Disponível em:<<http://www.datahominis.com.br/myosystem/>> Acesso em: 02 ago. 2014.

DAVITA, " History and Term ECG (Electrocardiogram)", 2013.

Disponível em: <<http://www.davita-shop.co.uk/ecg-instruments.html>> Acesso em: 19 mar. 2013.

EDMANS J. A., GLADMAN J. R.F., COBB S., Sunderland A., Pridmore T., Hilton D., Walker M. F., Validity of a Virtual Environment for Stroke Rehabilitation, American Heart Association, Inc, Dallas, USA, 2006 Print ISSN: 0039-2499. Online ISSN: 1524-4628 disponível em: <<http://stroke.ahajournals.org/content/37/11/2770.full.pdf>> acesso em: 22 nov. 2013

GRADECKI, J. The virtual reality construction kit, John Wiley & Sons, 340 Pp., 1995.

GUEDES, G. Interface Humano Computador: prática pedagógica para ambientes virtuais, edição digital, 2008, Disponível em: <[http://www.ufpi.br/uapi/conteudo/disciplinas/video/livro\\_gildasio.pdf](http://www.ufpi.br/uapi/conteudo/disciplinas/video/livro_gildasio.pdf)> Acesso em: 22 nov. 2013.

GUEDES, G. T. A. Uml 2 - Uma Abordagem Prática - 2ª Ed. - 2011 Editora: Novatec.

GUIMARÃES, Marcelo de Paiva; MARTINS, Valéria Farinazzo. Desafios a serem superados para o uso de Realidade Virtual e Aumentada no cotidiano do ensino. Revista de Informática Aplicada/Journal of Applied Computing, v. 9, n. 1, 2014.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. Tratado de Fisiologia Médica. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

HANCOCK, D. - Viewpoint: Virtual Reality in Search of Middle Ground, IEEE Spectrum, 32(1):68, Jan 1995.

HIX, D.; HARTSON, R. "Developing User Interfaces - Ensuring usability Through Product and Process", Ed. John Wiley and Sons Inc., 1993.

KAMEN, G.. Cinesiologia e eletromiográfica. Em Robertson, DGE et al. Métodos de Investigação em Biomecânica. Champaign, IL: Human Kinetics Publ, 2004.

KIRNER, C.; SICOUTO, R. (Org.). Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações. Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality. 1ed.: SBC, 291 páginas, 2007.

KIRNER, C. et al. (1995) – Projeto AVVIC - Ambiente virtual para Visualização Interativa Compartilhada. Outubro, 1995. Disponível em: Disponível em:  
<<http://www.ckirner.com/download/projetos/AVVIC-PROTEM95.pdf>> Acesso em 22 nov.2013.

KIRNER, C.; PINHO, M.S. (1997) - Introdução à Realidade Virtual. Livro do Mini-curso, 1º Workshop de Realidade Virtual.São Carlos, SP, 9-12 de Novembro de 1997. Disponível em:  
<<http://www.ckirner.com/download/tutoriais/rv-wrv97.pdf>> Acesso em: 14 mar. 2013.

LESTON, J. Virtual reality: the it perspective, Computer Bulletin, pp. 12-13, June, 1996.

MELO, M.; Ângela A. R. de Sá; SILVA, A.; SOARES, A.B. "Proposal of a Computational Interface of Biofeedback for Rehabilitation of Victims of Stroke ".4º IEEE Biosignals and Biorobotics Conference (BRC), 2013 ISSNIP. 18-20 Feb. 2013.

Microsoft, Recursos para criar um jogo usando DirectX, 2013. Disponível em:  
<<http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/bb384840.aspx>> acesso em: 20/11/2013.

MILGRAM, P.; TAKEMURA, H.; UTSUMI, A. and KISHINO, F. (1994) Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. TelemanipulatorandTelepresence Technologies, SPIE, V.2351, 1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, AVC: governo alerta para principal causa de mortes, Portal da saúde SUS, 2012. Disponível em:  
<<http://portalsaude.saude.gov.br/portalsaude/noticia/7904/162/avc:-governo-alerta-para-%3Cbr%3Eprincipal-causa-de-mortes.html>> Acesso em: 12 nov. 2013.

MYOBOCK, O. Bock Hand, 2012. Disponível em:  
<<http://www.ferrobotics.at/en/products/gripper-systems/ottobock-hand.html>>. Acesso em: 02 nov. 2012.

NEVEUX, N. ; NOGUEIRA, K. L. ; CAETANO, D. S. D. ; LAMOUNIER, E. A.. Immersive augmented reality interface for upper limbs prosthesis. In: Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2012, Paranaíba. 6º Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2012. v. 1.

NOGUEIRA L. k.,Souza E.,LamounierE.,BarbosaA.,CardosoA.,"Propose of Architecture for Prosthesis Limb Upper Control using Brainwaves"

International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR 2013),Philadelphia, August, 2013.

NOGUEIRA, K. D. F. C., Desenvolvimento de uma arquitetura de distribuição de Realidade Virtual e Aumentada aplicada a ambientes educacionais. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia.

NORTHROP, R. B. Analysis and Applications of Analog Electronic Circuits to Biomedical Instrumentation. Washington, D.C.: CRC Press, 2004.

ONCOFISIO, Reabilitação Virtual para pacientes com câncer, disponível em:

<<http://www.oncofisio.com.br/reabilitacao-virtual-para-pacientes-com-cancer>> Acesso em 24 ago. 2014.

ORSBORNAND A., KIRSCH R., Simulation of an Above-Elbow Myoelectric Prosthetic Arm for Development of an Implanted Myoelectric Control System. SOURCE Annual Symposium for Undergraduate Research, Case Western Reserve University, Cleveland, OH. April 2007.Disponível em:

<<http://www.phys.cwru.edu/undergrad/Senior%20Projects/Posters/Posters2006/AmyOrsbornPOSTER.pdf>> Acesso em 24 nov. 2013.

O'SULLIVAN, Susan B., SCHMITZ, Thomas J. Fisioterapia: avaliação e tratamento. 2. ed. São Paulo: Manole, 1993.

PALMER, GRANT: Java Event Handling, Prentice Hall, 496 Pages, 2003. ISBN 0-13-041802-1.

PANESAR, B.S., Morrison, P., Hunter, J. A comparison of three measures of progress in early lower limb amputee rehabilitation. Clin Rehabil. 2001;15:157–171.

PEQUINI, S. A evolução tecnológica da bicicleta e suas implicações ergonômicas para a máquina humana: problemas na coluna vertebral X bicicletas dos tipos Speed e Mountain Bike. FAU/USP, 2000.

PINHO, M. Computação Gráfica, 2010. Disponível em:  
<<http://www.inf.pucrs.br/~pinho/CG/Aulas/OpenGL/InstalacaoOpenGLVisualC/InstalacaoOpenGLVisualC.html>> acesso em: 20/11/2013.

RICARTE, MARQUES I. L., "Java RMI", DCA/FEEC/UNICAMP, 2002. Disponível em:  
<http://www.dca.fee.unicamp.br/cursos/PooJava/objdist/javarmi.html>

ROBERTSON, G. G. et al. Non-immersive virtual reality, IEEE Computer, pp. 81-83, Feb., 1993.

ROCHA, H. V. da et al. Design e avaliação de interfaces humano-computador. Campinas: Unicamp, 2003.

SABBATINI, R. M.E. PhD. "A História do Eletroencefalograma" Revista Cérebro & Mente, Agosto/Setembro 1997. Disponível em:  
<[http://www.cerebromente.org.br/n03/tecnologia/historia\\_p.htm](http://www.cerebromente.org.br/n03/tecnologia/historia_p.htm)> Acesso em 02/11/2013.

SANGWOO CHO; JEONGHUN KU; YUN KYUNG CHO; IN-YOUNG KIM; YOUN JOO KANG; DONG PYO JANG; SUN I. KIM: Development of Virtual reality proprioceptive rehabilitation system for stroke patients. In: Computer Methods and Programs in Biomedicine, 258-236p, 2014. Disponível em:  
<[http://www.cmpbjournal.com/article/S0169-2607\(13\)00305-2/pdf](http://www.cmpbjournal.com/article/S0169-2607(13)00305-2/pdf) >

SCHACH S. R. "Engenharia de Software: Os Paradigmas Clássico & Orientado a Objetos", 7a. edição, McGraw-Hill. 2009;618p.

SHNEIDERMAN, B. "Designing the User Interface - Strategies for Effective Human-Computer Interaction", 3rd edition, Ed. Addison Wesley PublishingCo., 1998.

SIEGEL, Jon. CORBA 3 fundamentals and programming. Chichester: John Wiley & Sons, 2000.

SILVA, A. N. ; NOGUEIRA, K. L. ; SILVA, M. B. ; CARDOSO, A. ; LAMOUNIER, E. A. ; SOARES, A. B.. A Virtual electro myographic biofeedback environment for motor rehabilitation therapies. In: 2013 ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference: Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC), 2013, Rio de Janeiro. 2013 ISSNIP Biosignals and Biorobotics Conference: Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC). p. 1.

SILVA, A. N. ; SOARES, A. B. ; LAMOUNIER, E. A. ; NOGUEIRA, K. L. ; SA, A. A. R.. Desenvolvimento de um sistema de eletromiografia para controle de ambiente virtual de biofeedback aplicado à reabilitação motora. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2012, Porto de Galinhas. Anais - CBEB2012, 2012. v. 1. p. 763-765.

SILVA, A. N. ; MORERE, Y. ; NAVES, E. L. M. ; SOARES, A. B. ; SA, A. A. R.. Simulador Virtual para treinamento de cadeirantes controlado por sinais eletromiográficos. 2012.

SERRA, A. P. G., O modelo de arquitetura Corba e suas aplicações, Revista Integração USJT Nº 37, 2004, 157-163p

SPITALIERI, M. Site Bionic Woman: Fact vs. Fiction, 2012. Disponível em: <<http://archive.laptopmag.com/Features/Bionic-Woman-Fact-vs-Fiction.htm?view=Print&Page=3>> Acesso em: 02 nov. 2012.

SOUZA, A. R. R. DE, MESQUITA, F. C. C., Monitoramento de Sinais Vitais, Notas de aula, Universidade Federal de Pelotas, RS, Brasil 2013.

SIMMECHANICS. SimMechanics Link Software, acessado em 03/01/2015.  
<<http://www.mathworks.com/help/physmod/smlink/ug/installing-and-linking-simmechanics-link-software.html>>

STEFANELLI, Eduardo José. A importância do profissional de comunicação gráfica na produção de material para EAD. Disponível em <<http://www.abed.org.br/texto04.doc>>. Acesso em: 03 de Fev. de 2014

SUBRAMANIAN, SANDEEP K; LEVIN, MINDY F: Viewing medium affects arm motor performance in 3D Virtual environments. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2011, 8:36 (30 June 2011)

SUBRAMANIAN, S. ; KNAUT, LUIZ A ; BEAUDOIN, C. ; McFadyen, B.J. ; FELDMAN, A.G. ; LEVIN, M.F.: Virtual reality environments for post-stroke arm rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2007, 4:20 (22 June 2007)

SUEMATSU, S.; YOKOI, H. YOKOI, "Multi-Fingered Myoelectric Hand to Generate Various Motions from Surface EMG Signals", IEIC Technical Report (Institute of Electronics, Information and Communication Engineers,) Journal Code:S0532B. ISSN:0913-5685, VOL.105;NO.419(NC2005 63-80);PAGE.79-82(2005), Japan.

SUEMATSU, S. ; YOKOI, H., A motion generating system for multi-fingered myoelectric hand. *International Congress, Series 1291* (2006) p. 257–260.

TANEMBAUM, A.S. *Distributed Operating Systems*. 1. Ed. New Jersey: Prentice-Hall. 2003. 614 pp. ISBN: 0-13-219908-4.

IANA, Lista de portas de protocolos, Disponível em:

<<http://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.xhtml>> Acesso em: 10 set. 2014

TILLEY, T.; POLLITT, S.; EKLUND, P. Evaluating Distributed Graphical User Interface Communication. In *Fifth Australian World Wide Web Conference (AusWeb99)*, 1999.

TRAMONTINA G. B, ATTROT W. Sockets, RPC, RMI e CORBA uma comparação dessas tecnologias para comunicação cliente-servidor. Outer, 2002.

TREU, S. "User Interface Design - A Structured Approach (Languages and Information Systems)", Ed. Plenum Press, 1994.

VAN DER EERDEN, W.J., Otten, E., May, G., Even-Zohar, O. CAREN—computer assisted rehabilitation environment. Stud Health Technol Inform. 1999;62:373–378.

ZORZAL, E. R; CARDOSO, A.; KIRNER, C.; LAMOUNIER Jr., E.A. Técnicas de Interação para Ambientes de Realidade Aumentada. Anais do VI Workshop de Realidade Virtual e Aumentada, 2009.

**ANEXO I**

**RESISTRO DE SOFTWARE**



## DECLARAÇÃO

Declaro para devidos fins que o pedido de registro de programa de computador intitulado "AR\_Rehab", cujos autores são **Edgar Afonso Lamounier, Alcimar Barbosa Soares, Alexandre Cardoso e Kenedy Lopes Nogueira**, foi protocolado na Agência Intelecto em 09/01/2013, e será encaminhado ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial assim que concluir seu rito administrativo.

Por ser verdade, firmo a presente.

Uberlândia 15 de janeiro de 2013.

**Prof. Dr. Foued Salmen Espíndola**  
Diretor de Inovação e Transferência de Tecnologia

<p>Linguagem: OCTAVE  Campo de Aplicação: MT-06  Tipo de Programa: TC-03  Data da Criação: 12/12/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 06/03/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Titular: QUARTZO PSICOLOGIA E MARKETING LTDA  Criador: MARCOS RODRIGO SOL SOUZA, SAMARA DE SOUZA MENDONÇA, THIAGO CANGUSSU DE CASTRO GOMES  Linguagem: RUBY ON RAILS  Campo de Aplicação: AD-01, AD-03, AD-07, TB-02, TB-04  Tipo de Programa: AP-01, AV-01, GI-01, GI-04, TC-02  Data da Criação: 18/06/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 02/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Tipo de Programa: DS-01, FA-01, GI-07, UT-06  Data da Criação: 01/01/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 08/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Linguagem: C++, OBJECTIVE-C  Campo de Aplicação: CO-04, CO-05, EL-03  Tipo de Programa: AP-01  Data da Criação: 20/12/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 10/04/2023  Procurador: GABRIELA TOLEDO DE CAMPOS</p>
<p>Processo: BR 51 2013 000189-7 080  Título: BR PRESCREVO  Titular: OTIMIZE DIVULGACAO E PUBLICIDADE LTDA  Criador: BRUNO DO VALLE PINHEIRO, GEOVANE ANTONIO ROSALINI VIEIRA, IGOR LUCAS DE SOUZA RUSSO, JACKSON DE PAULA BRUGIOLLO, JOSE ROBERTO JARDIM, JULIO CESAR ABREU DE OLIVEIRA, PAULO HENRIQUE DE ASSIS  Linguagem: ASP.NET COM C#, CSS, JAVASCRIPT, JQUERY MOBILE  Campo de Aplicação: SD-01, SD-07, SD-08, SD-10, SD-11  Tipo de Programa: GI-01, GI-02, UT-01  Data da Criação: 01/10/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 06/03/2023  Procurador: TAVARES PROPRIEDADE INTELECTUAL LTDA</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000292-3 080  Título: GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS  Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  Criador: JOSÉ TARCÍSIO DE REZENDE  Linguagem: C++, MATLAB  Campo de Aplicação: EN-04  Tipo de Programa: SM-01  Data da Criação: 05/01/2009  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 02/04/2023  Procurador: PAULO AUGUSTO MALTA MOREIRA</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000344-0 080  Título: AGRIMENCCELL  Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  Criador: CLERISTON APARECIDO DANTAS, ELIZABETH CRISTINA NASCIMENTO FORTUNATO, FERNANDA BONTEMPO FARIA, LEANDRO RESENDE MUNDIM, MARCELO HENRIQUE STOPPA, VASTON GONCALVES DA COSTA  Linguagem: JAVA  Campo de Aplicação: AG-01, AG-04, AG-09, MA-01  Tipo de Programa: AP-01, FA-01  Data da Criação: 30/07/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 08/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000372-5 080  Título: AR_REHAB  Titular: FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DE MINAS GERAIS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  Criador: ALCIMAR BARBOSA SOARES, ALEXANDRE CARDOSO, EDGARD AFONSO LAMOUNIER JUNIOR, KENEDY LOPES NOGUEIRA  Linguagem: C#  Campo de Aplicação: SD-09  Tipo de Programa: SM-01  Data da Criação: 19/11/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 16/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>
<p>Processo: BR 51 2013 000196-0 080  Título: COLLECTA - SISTEMA DE COMPUTAÇÃO PARA COLETA DE DADOS DA UFSC  Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  Criador: ALESSANDRA DE LINHARES JACOBSEN, ANA CARINE GARCIA MONTERO, BEATRIZ FAUST GOUVEIA, FERNANDA CADORI MAFFIOLETTI, JOSE MARCOS DA SILVA, RICHARD HENRIQUE DE SOUZA  Linguagem: JAVA  Campo de Aplicação: AD-02, AD-04, IF-02, IF-07, IF-10  Tipo de Programa: AP-01, AP-02, AP-04, AV-01, SO-02  Data da Criação: 30/08/2012  Regime de Guarda: Sem sigilo  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000339-3 080  Título: WEB SECURITY  Titular: ANDRE SAVIOLI MARTINS  Criador: ANDRE SAVIOLI MARTINS  Linguagem: JAVA, PHP, SHELL SCRIPT  Campo de Aplicação: TC-04  Tipo de Programa: PD-05  Data da Criação: 08/03/2013  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 08/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000345-8 080  Título: ODIN  Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  Criador: FABIO NOGUEIRA DE LUCENA, MARCELO RICARDO QUINTA  Linguagem: JAVA, XML  Campo de Aplicação: ED-04, IF-04, IF-07  Tipo de Programa: GI-01, GI-07  Data da Criação: 31/12/2011  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 08/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000373-3 080  Título: LOGICA MASTER/DELIVERY  Titular: PAULO MARCOS RODRIGUES PEREIRA  Criador: PAULO MARCOS RODRIGUES PEREIRA  Linguagem: DELPHI PASCAL  Campo de Aplicação: CO-04, TC-01  Tipo de Programa: AP-01, CD-01, SO-04, UT-01  Data da Criação: 01/09/2009  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 17/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>
<p>Processo: BR 51 2013 000206-0 080  Título: FUTSYS - SOFTWARE DE SCALT E ESTATÍSTICA PARA FUTEBOL  Titular: CELSO ARATANGI SCAFF, MARCOS PAULO LOPES  Criador: CELSO ARATANGI SCAFF, MARCOS PAULO LOPES  Linguagem: MAC, PC  Campo de Aplicação: IF-02  Tipo de Programa: AV-01, DS-05, GI-01, GI-02, GI-04  Data da Criação: 01/02/2012  Regime de Guarda: SEM SIGILO ATÉ 11/03/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000341-5 080  Título: MAGNUS BILLING  Titular: ADILSON LEFFA MAGNUS  Criador: ADILSON LEFFA MAGNUS  Linguagem: EXTJS, JAVASCRIPT, PHP, YII FRAMEWORK  Campo de Aplicação: CO-04, TC-04  Tipo de Programa: CT-01, GI-01  Data da Criação: 01/06/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 08/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000347-4 080  Título: SWA - CONTROLE PARA ACESSO DE USUARIO  Titular: DAVID BEN SVAITER  Criador: DAVID BEN SVAITER  Linguagem: AJAX, HTML5, JAVASCRIPT, VISUAL STUDIO 2010  Campo de Aplicação: IF-02, IF-07, IF-08, IF-09, IF-10  Tipo de Programa: PD-01, PD-02, PD-05, SO-02, SO-05  Data da Criação: 20/03/2013  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 08/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000382-2 080  Título: SSM - SETTE SERVICE MANAGER  Titular: SETTE INTEGRADORA DE SERVICOS TECNOLOGIA E TELECOM LTDA  Criador: VALÉRIO MADEIRA COELHO  Linguagem: .NET, C#, JQUERY  Campo de Aplicação: AD-02, AD-05, AD-08, AD-09, IF-02  Tipo de Programa: AP-01, AP-03, AT-06, CT-03, GI-01  Data da Criação: 17/04/2013  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 19/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>
<p>Processo: BR 51 2013 000286-9 080  Título: PRODAP TAURUS  Titular: PRODAP LTDA  Criador: LEANDRO JOSE DE SANTIAGO PRATES  Linguagem: .NET, PYTHON  Campo de Aplicação: AD-05, AG-04, AG-09, AG-10, FN-05  Tipo de Programa: AP-01, AP-02, AP-03, AT-06  Data da Criação: 01/01/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 01/04/2023  Procurador: MG MARCAS E PATENTES LTDA</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000342-3 080  Título: WEBY  Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  Criador: ARTHUR HENRIQUE GUIMARES DE OLIVEIRA, DANILO INACIO DE SOUZA RESENDE, JONATAS RANCAN DE SOUZA, KASSIO BORGES DE MELO, MARCELLO HENRIQUE DIAS DE MOURA, NICLOAS LAZARTE KAQUI, RICARDO PAULA DA SILVA  Linguagem: RAILS, RUBY  Campo de Aplicação: IF-01, IF-07  Tipo de Programa: AP-01, DS-04, GI-01  Data da Criação: 01/01/2010  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 08/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000352-0 080  Título: CONTROLE DO FLUXO DE ENERGIA PARA SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO  Titular: ANDRE FIORAVANTE DE OLIVEIRA, ATTENISTER TARCISIO REGO, SERGIO DE MORAIS HANRIOT  Criador: ANDRE FIORAVANTE DE OLIVEIRA, ATTENISTER TARCISIO REGO, SERGIO DE MORAIS HANRIOT  Linguagem: C  Campo de Aplicação: EN-04  Tipo de Programa: AT-01, AT-06, SO-07  Data da Criação: 28/10/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 10/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000389-0 080  Título: FOOD SYSTEM  Titular: FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO MINAS GERAIS - FAPEMIG, INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS  Criador: FERNANDA EFREM NATIVIDADE FERREIRA, FERNANDO ELIAS DE OLIVEIRA, GEOVALIA OLIVEIRA COELHO  Linguagem: HTML, JAVASCRIPT, PHP  Campo de Aplicação: AD-06, AD-08, SV-01  Tipo de Programa: FA-01, GI-06, SO-02  Data da Criação: 30/09/2012  Regime de Guarda: SIGILO ATÉ 19/04/2023  Procurador: Não informado ou inexistente</p>
<p>Processo: BR 51 2013 000290-7 080  Título: SQTO - SISTEMA QUARTZO DE TESTES ONLINE</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000343-1 080  Título: CRANELIFT  Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  Criador: DANILO INACIO DE SOUZA RESENDE, MARCELLO HENRIQUE DIAS DE MOURA  Linguagem: RAILS, RUBY  Campo de Aplicação: IF-01, IF-02</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000353-9 080  Título: EXPLORATORIUM  Titular: ASSOCIACAO INSTITUTO NACIONAL DE MATEMATICA PURA E APLICADA  Criador: LUIZ CARLOS PACHECO RODRIGUES VELHO</p>	<p>Processo: BR 51 2013 000390-3 080  Título: NOTURNO - GERENCIAMENTO DE ADICIONAL NOTURNO  Titular: FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DE MINAS GERAIS, INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO</p>

**ANEXO II**

**INTEGRAÇÃO DO FRAMEWORK PARA C#**

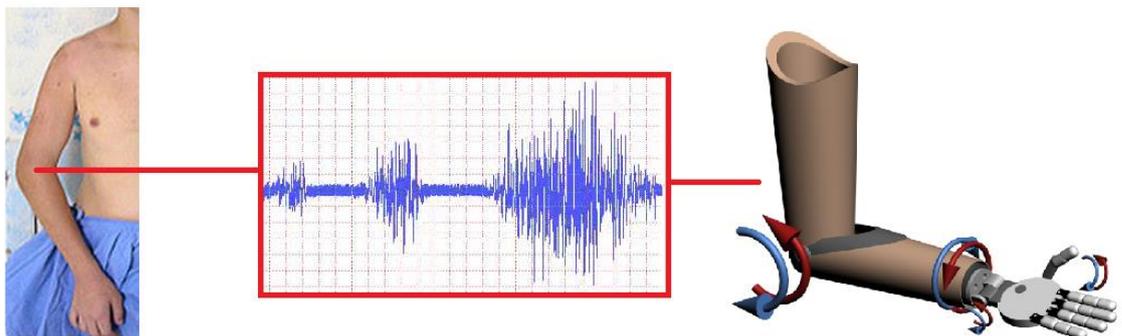
## Integração do Framework para C#

Nesta seção, será apresentado a integração de duas interfaces uma de aquisição e outra Gráfica (RV). O experimento trata de um ambiente de fisioterapia para pacientes com atrofia de membros superiores (vide Figura 61).



**Figura 61 - Este paciente apresenta contratura em rotação interna do ombro**

O objetivo do estudo é coletar dados EMG do paciente e classificá-los a fim de estimular o paciente através de um ambiente virtual, para integrar as duas interfaces uma de aquisição e outra de visualização gráfica (vide Figura 62). A presente Interface foi desenvolvida usando a arquitetura proposta nesta Tese. Este é um exemplo de uso do Framework descrito passo-a-passo.



**Figura 62 - Visão geral do funcionamento do protótipo**

O roteiro abaixo ilustra como referenciar as Dlls de integração em um programa na linguagem C#.

1º Passo

Criação de um novo projeto (vide Figura 63).

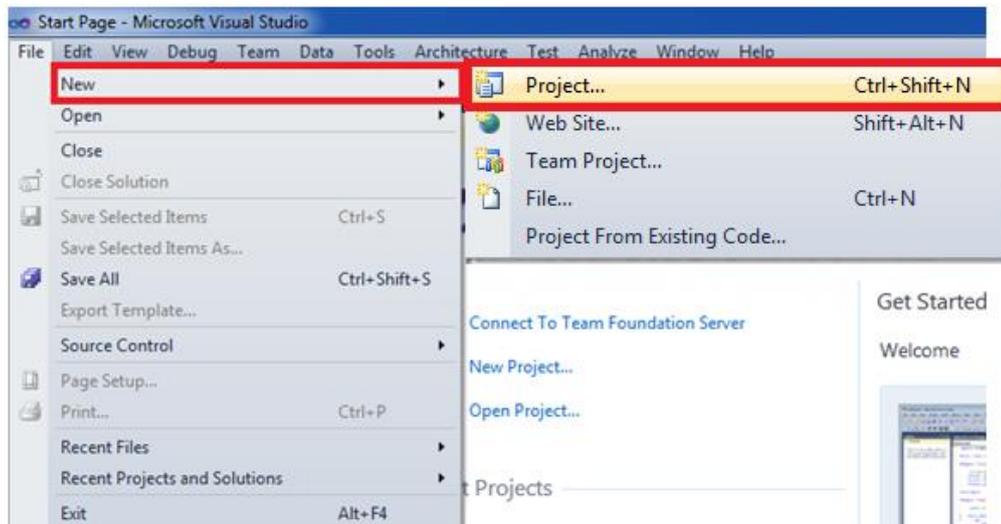


Figura 63 - Criação de um projeto

## 2º Passo

A DLL criada pode ser usada no *Windows forms*, *Console*, *Xna Project*, etc. Mas, para o estudo de caso optou-se por *Windows forms* (vide Figura 64).

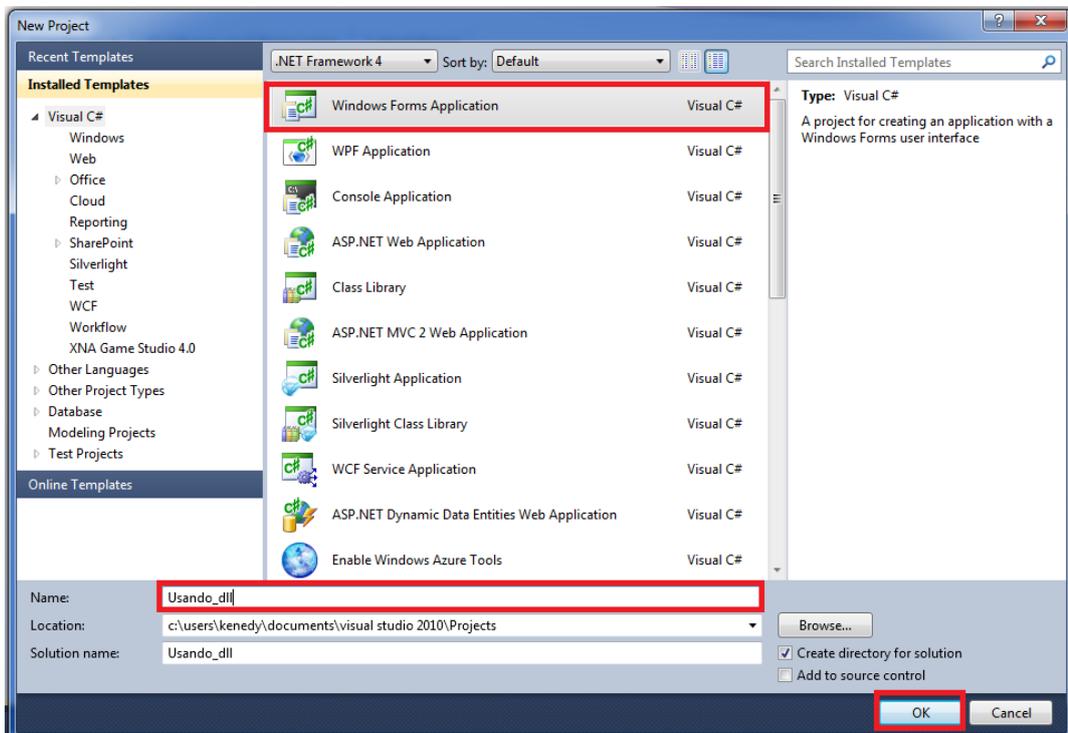
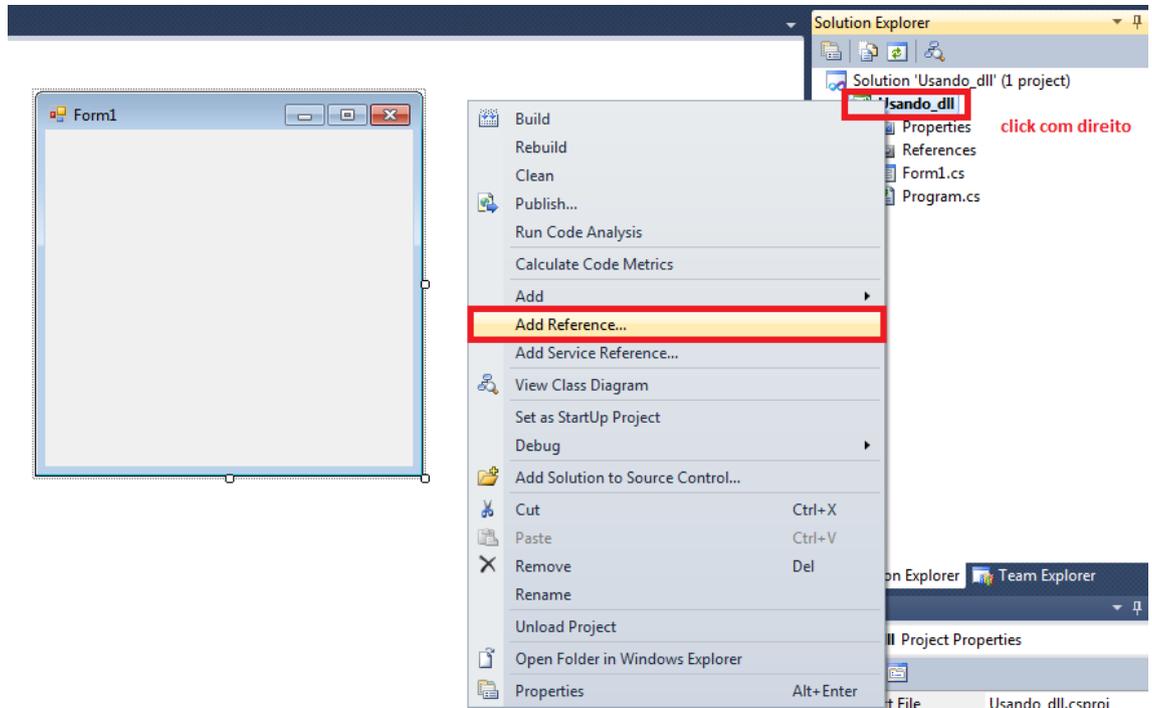


Figura 64 - Seleção do tipo de aplicação

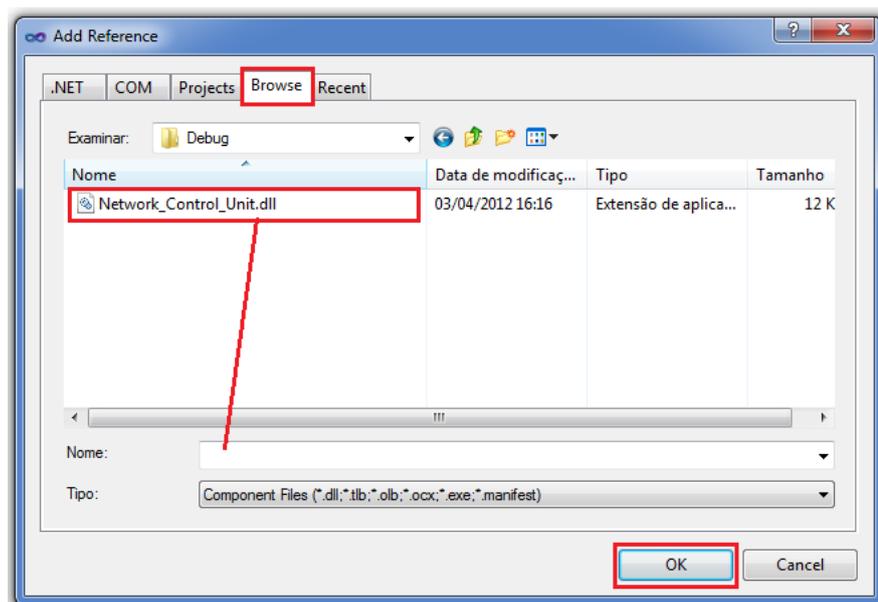
### 3º Passo

Referenciando a DLL, uma vez o projeto criado, click com botão direito sobre projeto (*solution Explorer*) e no menu selecione *Add Reference* (Figura 65).



**Figura 65 - Adicionando Referência ao projeto**

Na janela aberta, deve-se escolher o sub-menu *Browse*, onde a DLL *Network\_Control\_Unit* deve ser selecionada (vide Figura 66).



**Figura 66 - Adicionado dll**

Após a realização do processo a janela será exibida na pasta *References* (*Solution Explorer*) (vide Figura 67).

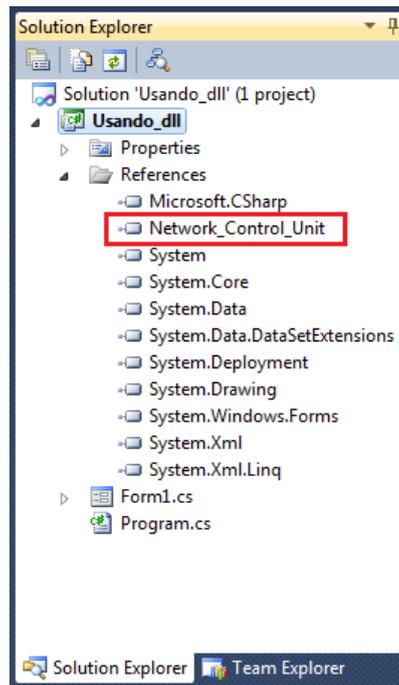


Figura 67 - Verificando inclusão do dll

Neste ponto se deve adicionar a DLL às bibliotecas, utilizando a diretiva *using* (vide Figura 68).

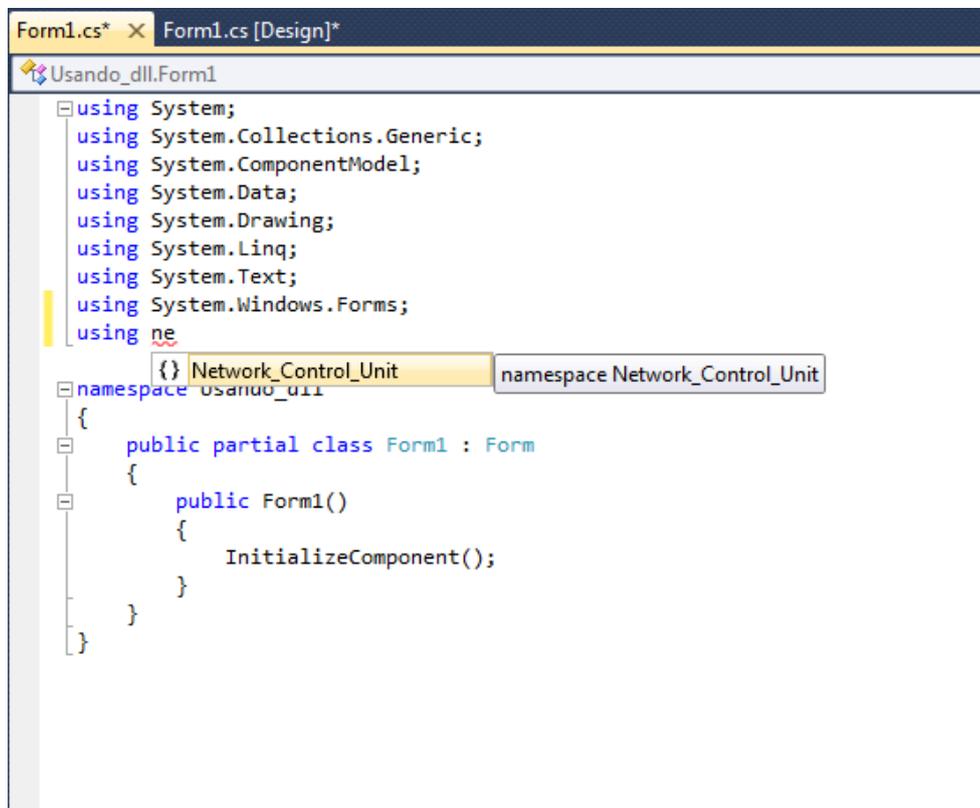
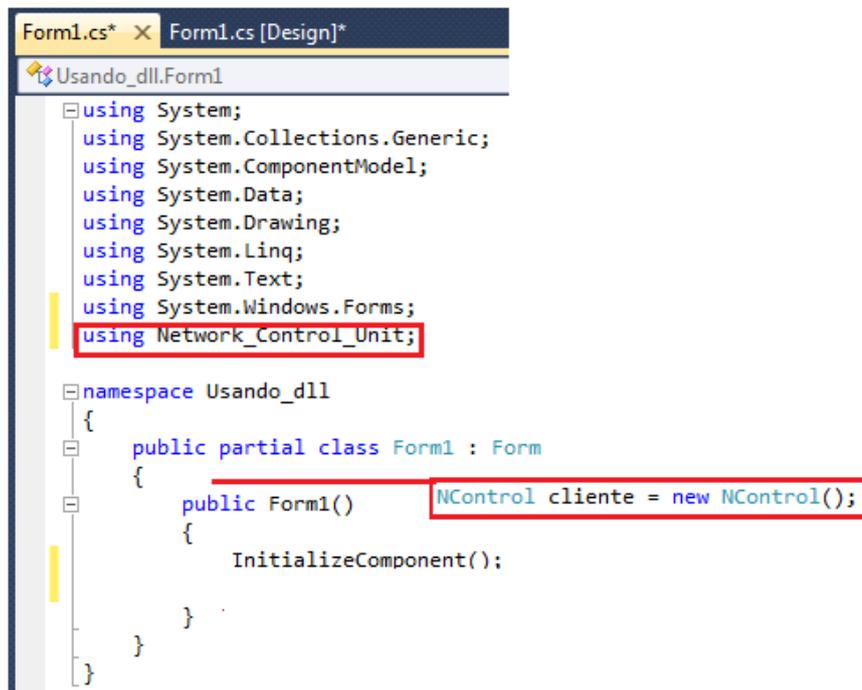


Figura 68 - Adicionando diretiva using.

Por fim, instanciar um objeto da classe contida na biblioteca, este objeto terá acesso aos métodos e atributos públicos da DLL (vide Figura 69).

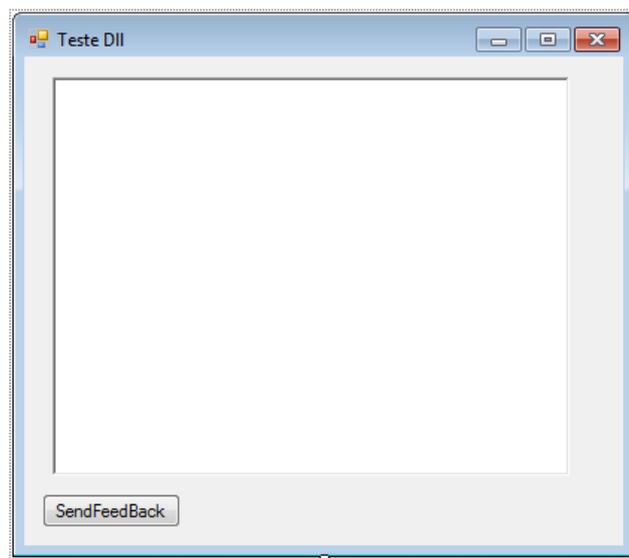


```
Form1.cs* X Form1.cs [Design]*
Usando_dll.Form1
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using Network_Control_Unit;

namespace Usando_dll
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            NControl cliente = new NControl();
            InitializeComponent();
        }
    }
}
```

**Figura 69 - Instanciando Objeto**

Para testar dois métodos fundamentais é necessário que a interface possua um botão e uma caixa de texto exemplo de interface Figura 70.



**Figura 70 - Interface de Teste**

Para permitir a conexão do cliente ao servidor basta chamar o método conectar, passando como parâmetros o IP do servidor e a porta. Como o protótipo trabalha em

uma mesma máquina cliente e servidor se usa o IP = 127.0.0.1 localhoste a porta 1024 como *default* (Figuras 71 e 72).

```

Form1.cs* x Form1.cs [Design]*
Usando_dll.Form1
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using Network_Control_Unit;

namespace Usando_dll
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        NControl cliente = new NControl();
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            cliente.
        }

        private void
        {
            cliente
        }
    }
}

```

**Figura 71 - Criando conexão de Dados**

```

Usando_dll.Form1
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using Network_Control_Unit;

namespace Usando_dll
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        NControl cliente = new NControl();
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            cliente.conectar("127.0.0.1", 1024);
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            cliente.
        }
    }
}

```

**Figura 72 - Criando envio de *FeedBack***

No botão `seedfeedback` mostrado Figura acima. simular-se-á o envio de um evento *feedback*, que retorna ao sistema de aquisição uma *String* qualquer (vide Figura 73).

```
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    cliente.sendFeedBack("cotovelo chegou ao limite físico do movimento");
}
```

**Figura 73 - Exemplo de envio de *FeedBack***

Para permitir que o protótipo escute a rede periodicamente um *timer* foi implementado, e possui uma chamada do método `readEvent` que recebe uma Matriz de controle que é mostrada na caixa de texto a seguir (vide Figura 74).

```
private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    float[,] matriz = cliente.readEvent();
    for (int i = 0; i < 4; i++)
        for (int j = 0; j < 4; j++)
            richTextBox1.Text += matriz[i,j];
}
```

**Figura 74 - Recebimento de Evento**

Estes códigos ilustram a criação de uma Interface que envia e recebe dados de outras Interfaces, ela é didática para fins de compreensão do uso do *Framework* proposto nesta Tese.

## **ANEXO III**

### **FORMULARIO DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE REABILITAÇÃO**

## Avaliação do Sistema de reabilitação

Esta avaliação elaborado com base na ISONORM 9126-1, ela tem como objetivo avaliar o software como um todo descobrindo seus pontos fracos e fortes, é voltado a análise de implementação e eficiência da Interface em si.

sinais EMG	
Avaliador: Kenedy Lopes Nogueira/Maristella Borges Silva	Data Avaliação:
( ) professor ( ) paciente	( ) aluno
( ) profissional da Saúde	( ) Ensino Médio ( ) Ensino Superior

Assinale, por favor, a opção que melhor traduz a sua opinião.

1. <b>FUNCIONALIDADE</b> - Evidência que o conjunto de funções atende às necessidades explícitas e implícitas para a finalidade que se destina o sistema ( <i>Controle de um braço Virtual usando sinais EMG</i> ).	Muito Satisfeito	Satisfeito	Insatisfeito
1.1. O sistema cumpre com objetivo proposto			
1.2. Como avalia globalmente a funcionalidade do sistema.			

2. <b>USABILIDADE</b> - Evidência a facilidade de utilização do sistema	Muito Satisfeito	Satisfeito	Insatisfeito
2.1. Em relação à facilidade de entender como funciona o sistema			
2.2. Quanto à ergonomia do sistema (conforto)			
2.3 Quanto à dificuldade dos experimentos			
2.4. Quanto ao uso ( <i>facilidade de uso ou complexidade</i> )			
2.5. Como avalia globalmente a usabilidade do sistema.			

3. <b>EFICIÊNCIA</b> - Evidência que os recursos e os tempos envolvidos são compatíveis com o tempo de desempenho requerido para o produto. ( <i>O sistema responde em tempo real</i> )	Muito Satisfeito	Satisfeito	Insatisfeito
3.1. Tempo de realização de um exercício			



**Comentários/ Observações:**

*Este questionário foi elaborado com base na ISONORM 9126-1.*

**ANEXO IV**

**ESTUDO DE CASO FAPEMIG**

# ESTUDO DE CASO FAPEMIG

Este Anexo apresenta um estudo de caso (simulador de prótese de membro superior). Este projeto piloto deu origem a Tese aqui apresentada, pois durante a elaboração do projeto inicial, inquietações surgiram e instigaram a busca por respostas e soluções para integração de tecnologias. Os resultados são apresentados usando técnicas de RV e RA, permitindo ao profissional de Bioengenharia, terapeutas ou usuário visualizarem os movimentos extraídos de sinais EMG provenientes de pacientes com a possibilidade de liberdade, e interação. Esta pesquisa recebeu subsidio da FAPEMIG e financiou a compra do Hardware ( Eletromiógrafo ) usado na pesquisa.

## INTRODUÇÃO

Entre as causas mais comuns de amputação de órgãos inferiores e superiores encontramos: vasculopatias periféricas, traumáticas, tumorais, infecciosas, congênitas e iatrogênicas.

Destaca-se dentre elas, a vasculopatia periférica, que acomete em maior número pessoas na faixa etária de mais de 50 anos; sendo os membros inferiores (dedos, pés e pernas) os mais comprometidos. A causa mais comum nas amputações provocadas por eventos vasculares é a diabetes e o tabagismo.

Já as causas traumáticas atingem também um número expressivo da população por acidentes de trânsito, de trabalho ou, em número menor, em razão de outra etiologia. Dentre os citados, os acidentes de trabalho tendem a culminar em amputações dos membros superiores (dedos, mão e braço).

Os tumores ósseos malignos como osteossarcoma também são responsáveis por amputação, especialmente de partes dos membros inferiores. Segundo o fisiatra Cezar Cavalcanti, nessa primeira fase o que deve ser tratado é o tumor para preservar a saúde do paciente e, posteriormente, através de uma equipe multidisciplinar dar todo o andamento necessário para que o paciente volte a ter uma vida normal nessa nova condição em que se encontra (BOA SAÚDE, 2012).

Após um trauma da perda de um membro, o indivíduo sofre tanto fisicamente quanto psicologicamente à perda, a idéia de poder se restaurar por completo ou mesmo parte da liberdade, mobilidade e devolver a esse indivíduo a qualidade de vida.

Neste sentido, pesquisas estão sendo feitas com propósito de simular ou treinar os movimentos de um membro perdido, podem ser utilizadas técnicas avançadas de controle como, por exemplo, o uso do sinal Eletromiograma (EMG) para controle da prótese.

Contudo esses modelos se preocupam principalmente com a qualidade do controle e deixam a parte de interface com usuário em segundo plano.

Sendo assim, uma proposta a ser estudada, o aprimoramento dos sistemas de simulação e treino de movimentos de próteses com uso de Realidade Virtual e Aumentada, técnicas que possibilitam o mais recursos para se visualizar objetos a fim de facilitar o uso e ou aumentar a eficiência de diagnósticos.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste artefato é detalhar todos os requisitos iniciais para o desenvolvimento da Prótese Virtual, que será utilizada para treinamento de indivíduos que tenham sofrido distúrbios motores dos membros superiores do cotovelo abaixo.

Na Fase de Inicial serão listados todos os requisitos necessários para a construção do projeto;

Na Fase de Elaboração será realizado um breve detalhamento de cada requisito.

## **FASE DE INICIAL**

### **Lista de requisitos Prótese Real**

Para reproduzir fielmente uma prótese real dois exemplos reais serão explorados a fim de obter dados técnicos.

- ForearmErgoArmEletrônicoPlus (MYOBOCK, 2011);
- DigitalTwinHand(MYOBOCK, 2011);

### **Lista de requisitos Prótese Virtual**

- Modelar a prótese[3] citada, do cotovelo abaixo;
- Determinar quais movimentos serão reproduzidos;
- Detalhar o controle proporcional da prótese;
- Determinar os tipos de interações da prótese;
- Determinar quais simulações físicas (velocidade, força, atrito, etc.) serão realizadas;
- Determinar o modelo de arquivo de dados;

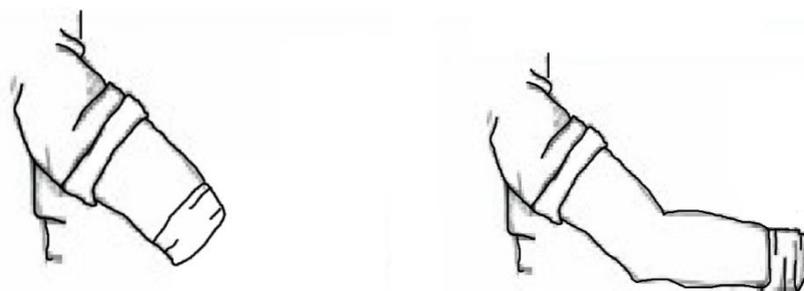
### Lista de Riscos:

- Limitação tecnológica (Modelador 3D e controle);
- Requisitos de tempo real não aceitáveis;

## FASE DE ELABORAÇÃO

### Construção prótese real

Levantamentos estatísticos junto ao ministério da saúde (MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL, 2001) indicam que grande maioria dos amputados de membro superior ocorre no braço ou antebraço, Figuras 75(a) e 75(b).



**Figura 75 - Cotos de (a) Braço e (b) antebraço**

Devido a esse fato, afim de atender o maior numero possível de pacientes será adotado com estudo de caso a Próteses para Amputações de Antebraço, CID 10<sup>1</sup> - S58 - Amputação traumática do cotovelo e do antebraço, Figura 74(a).

---

<sup>1</sup> LISTA CID-10 - A Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (também conhecida como Classificação Internacional de Doenças – CID 10) é publicada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e visa padronizar a codificação de doenças e outros problemas relacionados à saúde. A CID 10 fornece códigos relativos à classificação de doenças e de uma grande variedade de sinais, sintomas, aspectos anormais, queixas, circunstâncias sociais e causas externas para ferimentos ou doenças. A cada estado de saúde é atribuída uma categoria única à qual corresponde um código CID 10 (MEDICINA NET, 2013).

### **Parte de montagem do punho**

O punho é composto de uma garra que funciona como pinça, os dedos (polegar faz oposição aos dedos indicador, anelar) o movimento abre e fecha, e ainda movimento de pronação e supinação de punho (rotação).

### **MODO DE CONTROLE**

O modulo de controle é composto de um circuito eletrônico que faz a captura dos sinais eletromiográficos e os classifica nos movimentos pré-determinados, e aciona os motores responsáveis pela movimentação da prótese.

### **MODELAGEM DO PROTÓTIPO**

As dimensões da prótese (protótipo) foram baseadas em um membro humano de tamanho médio, por meio do levantamento antropométrico de uma amostra de brasileiros, realizado por Suzi Marino Pequini (PEQUINE, 2000) conforme exibido nas Figuras 76 e 77.

As dimensões adotadas para o antebraço é de 35,4 cm e para membro superior 33,3 cm.

Antebr. (cm)	Nº de pess.	Freq. Acum.	Antebr. <sup>2</sup> F
31	1	31	961
32	5	160	5120
33	2	66	2178
34	4	136	4624
34,5	1	34,5	1190
35	7	245	8575
35,5	2	71	2521
36	6	216	7776
36,5	1	36,5	1332
37	4	148	5476
38	4	152	5776
39	1	39	1521
40	1	40	1600
41	1	41	1681
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>1416</b>	<b>50331</b>

Média = 35,4 cm	Percentil 5 = 32
Desvio padrão 0,38	Percentil 50 = 35
	Percentil 95 = 39

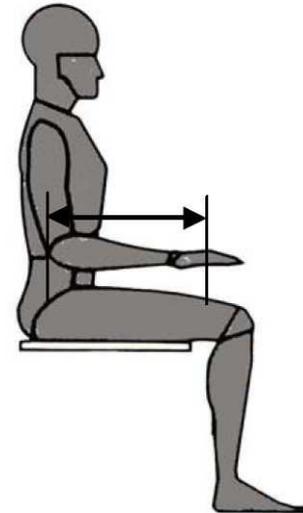


Figura 76 - Levantamento da medida do braço (PEQUINE, 2000).

Braço (cm)	Nº de pess.	Freq. Acum.	Braço <sup>2</sup> F
61	1	61	3721
62	3	189	11532
63	1	63	3969
64	3	192	12288
65	1	65	4225
66	5	330	21780
67	3	201	13467
68	5	340	23120
69	2	138	9522
70	3	210	14700
71	2	142	10082
72,5	2	145	10512,5
73	4	292	21316
73,5	1	73,5	5402,25
74	2	148	10952
77	1	77	5929
79	1	79	6241
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>2746</b>	<b>188759</b>

Média = 68,7 cm	Percentil 5 = 62
Desvio padrão = 0,94	Percentil 50 = 68
	Percentil 95 = 74

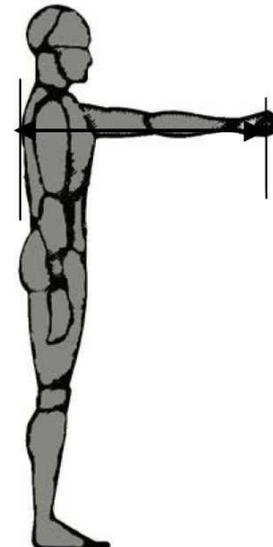


Figura 77 - Levantamento da medida do antebraço (PEQUINE, 2000).

## MODELAGEM DA PRÓTESE VIRTUAL

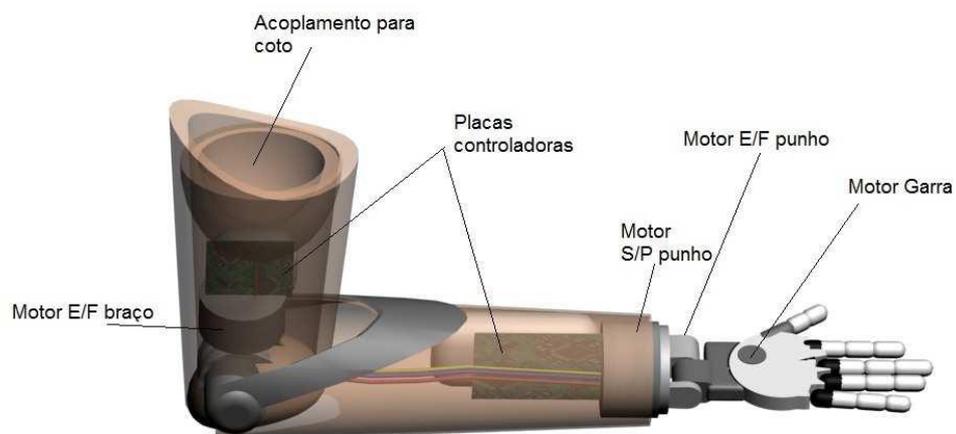
O modelo proposto é baseado na prótese de Jesse Sullivan, um paciente do Dr. Kuiken que possui funcionalidades, tais como a habilidade de reposicionar o dedo para apertos diferentes, remover um cartão de crédito de um bolso, pegar copos com controle de força de preensão utilizando o *feedback* sensorial, movimento de pêndulo ao andar, usando o modo de oscilação livre do membro para uma marcha mais natural, conforme exibido pela Figura 77.

Apesar da prótese exibida na Figura 78 permitir a movimentação do ombro, a prótese em questão se limita em reproduzir alguns movimentos do cotovelo abaixo. Têm-se um total de quatro graus de liberdade, que permitiram a movimentação das articulações da mão, punho e cotovelo.

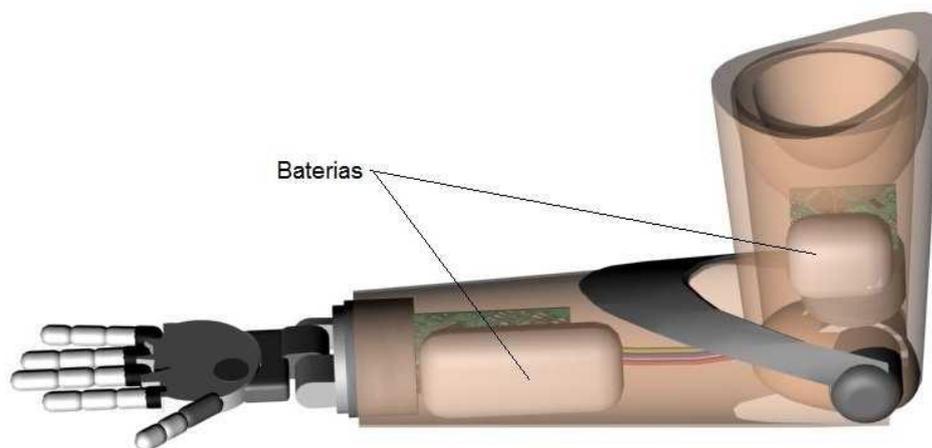


**Figura 78 - Exemplo da prótese do Dr. Kuiken (SPITALIERI, 2011).**

As Figuras 79 e 80 exibem detalhes do modelo Virtual desenvolvido utilizando o 3DStudio Max.



**Figura 79 - Detalhes da modelagem em 3D Studio.**



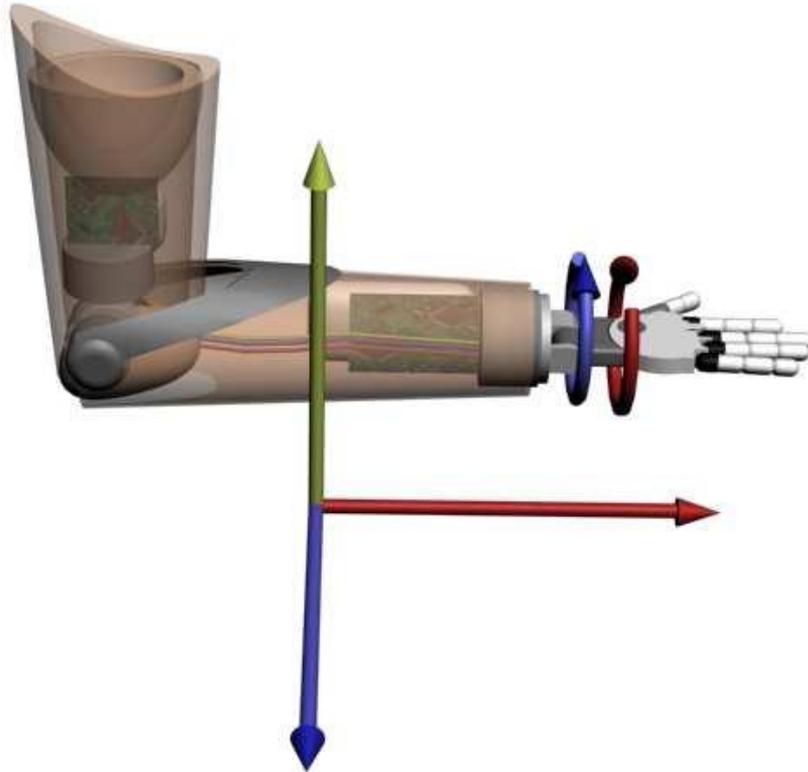
**Figura 80 - Detalhes da modelagem em 3D Studio.**

### **7.1.Movimentos a serem realizados**

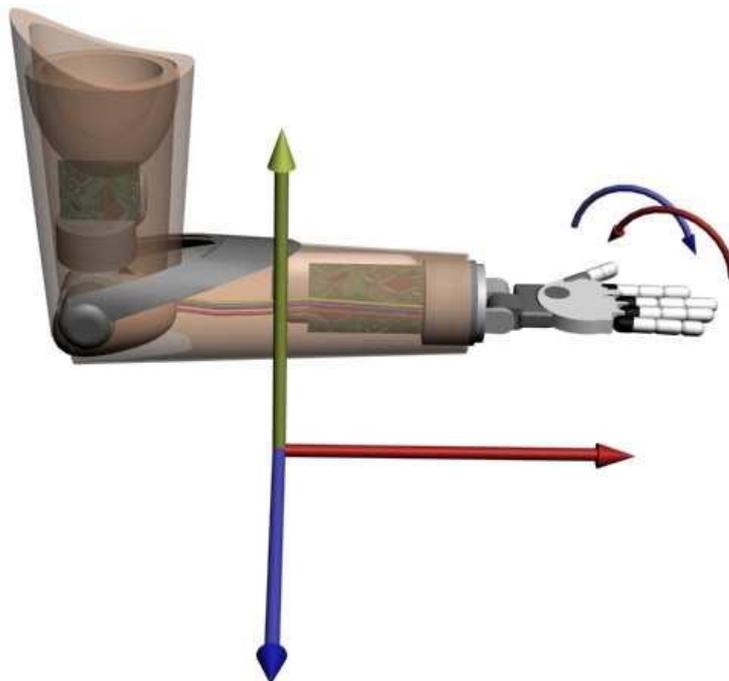
De acordo com especificações da prótese serão realizados quatro movimentos básicos:

- Pronação e Supinação de punho (Figura 81);
- Abrir e Fechar de mão (Figura 82);
- Flexão e Extensão de cotovelo (Figura 83);

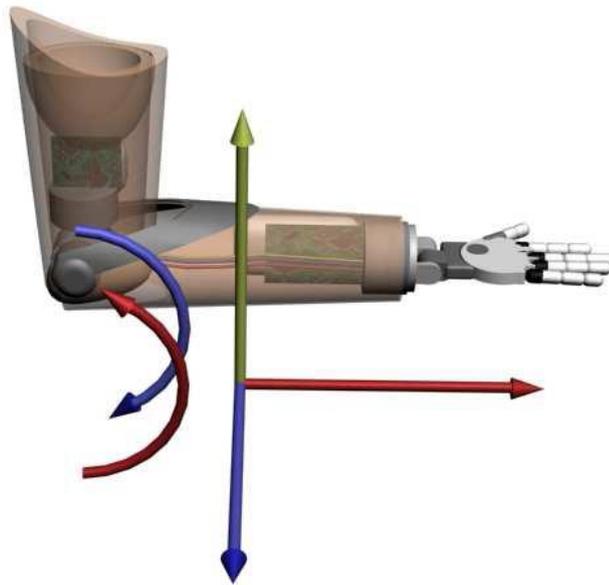
- Flexão e Extensão de punho (Figura 84);



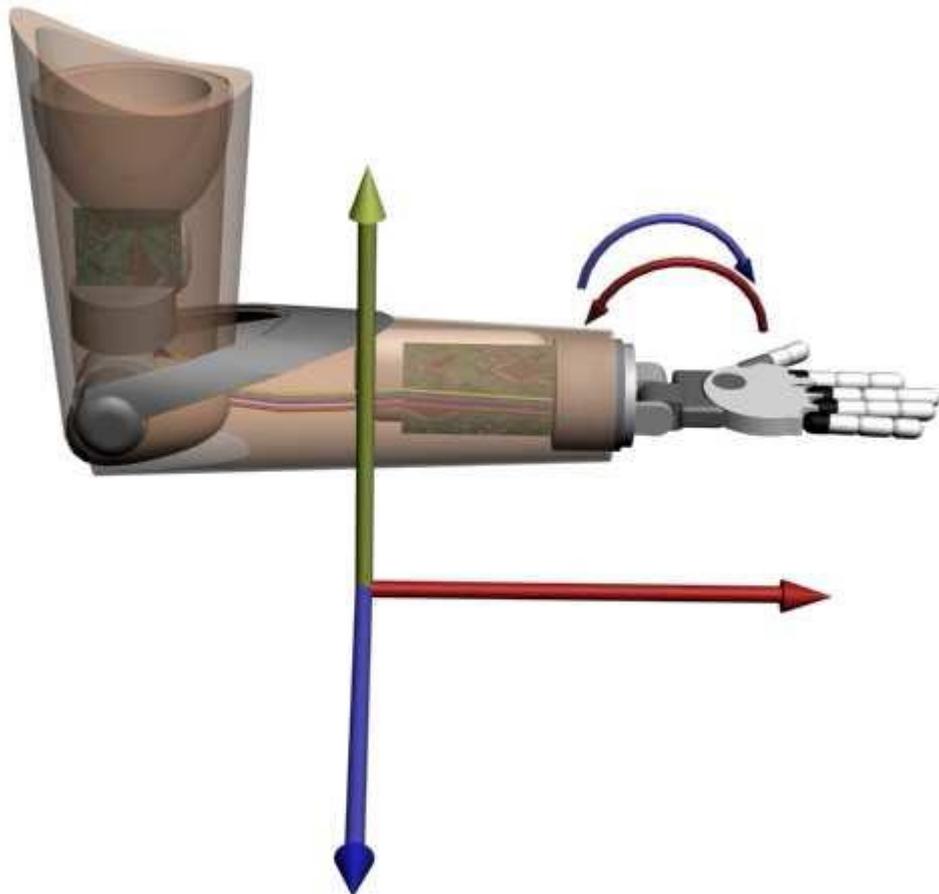
**Figura 81 - Movimento de pronação/supinação do punho**



**Figura 82 - Movimento de abrir/fechar a mão**



**Figura 83 - Movimento de flexão/extensão do cotovelo**



**Figura 84 - Movimento de flexão/extensão do punho**

## METÁFORA DE CONTROLE DA PRÓTESE

A Prótese de Controle Proporcional pode apresentar diferentes posições dentro de um intervalo pré-determinado de movimentação. Neste trabalho, será utilizada uma metáfora de controle na qual o movimento desejado é representado por um valor em porcentagem. Por exemplo, o braço totalmente estendido corresponde a 0% e o braço totalmente flexionado corresponde a 100% da movimentação.

### SIMULAÇÕES FÍSICAS

O modelador *Blender* 3D possui uma biblioteca de games chamada BGE (*BlenderGame Engine*), que permite alterar as características estáticas e dinâmicas do ambiente e dos objetos tais como:

#### **Características estáticas:**

- Tipos físicos (corpo rígido, corpo dinâmico e etc.);
- Atributos como peso, atrito e etc.;
- Velocidade linear e angular, máxima e mínima;
- Bordas de colisão;

#### **Características Dinâmicas:**

- Velocidade angular;
- Velocidade linear;
- força;

## TIPOS DE INTERAÇÕES DA PRÓTESE

Antes de determinar quais as características de interações e movimentação que a prótese terá, é necessário determinar previamente os requisitos de tempo real. Porque isto será determinante na hora de saber quais movimentos serão viáveis de serem reproduzidos Virtualmente.

Movimentos tais como segurar um copo, tirar o copo de um lugar e colocar em outro são facilmente reproduzidos, porém, já movimentos onde há a necessidade de *feedback*, como por exemplo colisão, ainda devem ser explorados.

É necessário avaliar a probabilidade de realização de movimentos combinados tais como flexionar um braço e ao mesmo tempo realizar uma suave pronação do punho, pois, conforme dito anteriormente nos riscos, o modelador em questão pode ser limitado. Mas baseado na prótese do Dr. Kuiken (SPITALIERI, 2011) este estudo ainda se limita apenas na reprodução de movimentos simples. Discussão

O sistema é útil para pessoas amputadas ou com falta de membro superior de nascença como ferramenta de estímulo ao uso de próteses, e também ao técnico ou engenheiro no estudo dos movimentos das mesmas.

No estágio atual de desenvolvimento o sistema não pode ser considerado uma ferramenta de treino para próteses, devido a limitação do número de movimentos controlados.

Os pontos mais relevantes são o uso de RV e RA para o treinamento de próteses de membros superiores.

O trabalho contribui ainda com a integração de sistemas já existentes em uma única ferramenta.

As técnicas de RA são um diferencial ao criar uma interface de estímulo ao uso de próteses devido ao efeito visual que provoca aos usuários.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este Anexo apresentou o protótipo criado para ajudar a adaptação de pacientes amputados a próteses utilizando ambientes RA e RV.

Este trabalho gerou um registro de software "patente" cujo comprovante se encontra na conclusão desta Tese.