ANA GRASIELLE DIONÍSIO CORRÊA

REALIDADE AUMENTADA MUSICAL PARA REABILITAÇÃO
ESTUDO DE CASO EM MUSICOTERAPIA

São Paulo
2011

ANA GRASIELLE DIONÍSIO CORRÊA

REALIDADE AUMENTADA MUSICAL PARA REABILITAÇÃO ESTUDO DE CASO EM MUSICOTERAPIA

Tese apresentada à Escola Politécnica de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica

Orientadora: Profa. Dra Roseli de Deus Lopes

São Paulo
2011

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 06 de Dezembro de 2020

_____
Assinatura do autor

_____
Assinatura do orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Corrêa, Ana Grasielle Dionísio
Realidade aumentada musical para reabilitação: estudo de caso em musicoterapia / A.G.D. Corrêa. -- São Paulo, 2011.
214 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1. Musicoterapia (Reabilitação) 2. Software livre-Musicoterapia 3.Reabilitação 4. Membros superiores (Reabilitação). I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e irmão.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, da sabedoria, da perseverança, da compreensão e do amor.

Aos meus pais Neide e David e ao meu irmão Júnior, razão principal da minha existência, por todos os momentos que abdiquei de estar com vocês em função deste trabalho.

À Professora Roseli de Deus Lopes, pelo exemplo de espírito científico, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo este trabalho.

À amiga Irene Karaguilla Ficheman pelo exemplo de determinação, confiança que depositou em mim, inúmeras revisões dos artigos publicados, incentivo e apoio que foram fundamentais.

À Musicoterapeuta Marilena do Nascimento por acreditar nas minhas idéias, por sua permanente solicitude em todas as fases do projeto, bem como pelo cuidado e diligência na busca e verificação das referências. À AACD e aos seus pacientes por terem possibilitado a realização dos testes e avaliações no setor de Musicoterapia.

À Terapeuta Ocupacional Adriana Nathalie Klein pelas críticas, sugestões e contribuições que foram fundamentais no processo de avaliação. À ABDIM e aos seus pacientes por ter possibilitado a realização das avaliações no setor de Terapia Ocupacional.

Aos queridos amigos Leonardo Silva e Gilda Assis pelas sugestões e críticas fundamentais ao trabalho e pelo apoio incondicional em momentos de dificuldade.

Ao meu namorado Daniel, pelo apoio, compreensão, companheirismo e acima de tudo, por ser um grande amigo em todas as horas.

Ao Professor Marcelo Knörich Zuffo pelo constante apoio e palavras de incentivo.

À querida amiga Pascaly Riveiros pelo apoio na etapa de qualificação.

Aos colegas do LSI Johnny, Ramona Straube, Alexandre Martinazzo, Leandro Biazon, Nathalia Sautchuk, Valkíria Venâncio e Márcia Almeida pelas sugestões, idéias e discussões em grupo.

Aos estagiários do LSI André Mossinato, Maria Carolina, Weder Castilho, Giovanna Botelho, Vinícius Spagnol e Rodrigo Midea pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À Ana Maria de Castro Badiali pela revisão final do texto deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro durante parte deste trabalho.

E finalmente, a todas as pessoas, aqui não mencionadas, mas que contribuíram de alguma forma para que este trabalho fosse concretizado.

RESUMO

Musicoterapia é a ciência que utiliza elementos sonoro-ritmico-musicais no tratamento, reeducação, reabilitação e recuperação de indivíduos com diversas patologias ou ainda na área preventiva. Muitas vezes, pacientes com deficiência física grave, necessitam de adaptações nos instrumentos musicais para realizar o "fazer musical" musicoterapêutico. Algumas adaptações são feitas sob encomenda pelo musicoterapeuta e, portanto, em pequenas quantidades para o setor. Algumas vezes, um recurso adaptador de prática instrumental atende apenas às necessidades de uma determinada incapacidade física, sendo que para outras, este mesmo recurso pode ser desconfortável. Para alguns pacientes pode ser interessante colocar em prática algumas orientações recebidas na sessão de Musicoterapia em ambiente domiciliar. Entretanto, a situação econômica de alguns pacientes associada ao elevado preço de alguns instrumentos musicais adaptados, dificulta ou inviabiliza a continuidade do tratamento em ambiente domiciliar. Neste trabalho, buscou-se investigar se seria possível conceber um sistema eletrônico interativo capaz de apoiar e ampliar as estratégias de intervenções musicoterapêuticas. A metodologia da pesquisa seguiu a estratégia exploratória, de natureza tecnológica aplicada, tendo como objetivo a geração de um produto com finalidades imediatas, com base em conhecimentos prévios, capaz de viabilizar testes e estudos em situações reais de uso. Colaboraram nesta pesquisa musicoterapeutas, terapeutas ocupacionais e pacientes em tratamento de reabilitação motora. A partir do levantamento e estudos sobre o estado da arte, bem como de observações de sessões de Musicoterapia, foi concebida uma proposta de sistema de Realidade Aumentada musical para reabilitação. A partir desta proposta, foram implementadas e avaliadas três versões do sistema. A primeira avaliação foi realizada com uma especialista em Musicoterapia a fim de verificar a aplicabilidade do sistema. A segunda avaliação foi realizada durante uma intervenção de Musicoterapia na Associação de Assistência à Criança Deficiente (AACD) e, em outro momento, durante uma intervenção de Terapia Ocupacional em domicílio. A terceira avaliação foi feita em intervenções de Musicoterapia na AACD e na Associação Brasileira de Distrofia Muscular (ABDIM). A análise dos dados coletados permitiu constatar que este sistema traz os seguintes benefícios para apoiar intervenções de reabilitação motora: aumento da motivação e satisfação dos pacientes e facilitação do "fazer musical" de pessoas com deficiência física que possuem dificuldades em manusear os instrumentos musicais convencionais.

Palavras-chave: Sistemas Interativos. Realidade Aumentada. Reabilitação. Musicoterapia.

ABSTRACT

Music therapy is the science of using sound-rhythmic-musical elements in treatment, re-education, recovery and rehabilitation of individuals with various diseases or in preventive activities. Often, patients with severe physical disability need to adapt musical instruments to perform "music making" activities in music therapy. Some adaptations are made by music therapists and, therefore, in small quantities. Sometimes, a resource adapter for instrumental practice serves only the needs of a particular disability, and for others, the same feature can be uncomfortable. Also, may be interesting for some patients to put practice some guidelines received at the music therapy session in their home environment. However, the economic situation of some patients associated with the elevated price of some adapted musical instruments hampers or prevents the continuation of care in home environments. In this study, we sought to investigate whether it would be possible to design an interactive electronic system able to support and expand the music therapist intervention strategies. The research methodology followed the exploratory strategy of applied technological, aiming to generate a product with immediate goals, based on prior knowledge, capable of delivering tests and studies in real use. Contributors to this research included music therapists, occupational therapists and patients under motor rehabilitation treatment. From the survey and studies on the state of the art, as well as observations of music therapy sessions, a proposal for an augmented reality musical system for rehabilitation was designed. Based on this proposal, were were implemented and evaluated three versions of system. The first evaluation was performed with a specialist in Music Therapy to verify the applicability of system. The second evaluation was carried out during a Music Therapy intervention in the Assistance Association for Children with Disability (AACD) and, on another occasion, during an occupational therapy intervention at home. The third evaluation was performed in Music Therapy interventions in the AACD and the Brazilian Association of Muscular Dystrophy (ABDIM). The data collected analysis allowed us to observe some benefits that this technology brings to support motor rehabilitation interventions: increased morale and satisfaction of patients and facilitation of "music making" activities along people with physical disabilities who have difficulty handling conventional musical instruments.

Key-words: Interactive System. Augmented Reality. Rehabilitation. Music Therapy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Teclado eletrônico adaptado (LOURO et al, 2005) 39
Figura 2.2 - Suporte regulável para sustentação de pandeiro (LOURO et al, 2005).....40
Figura 2.3 - Suporte para instrumentos de percussão (LOURO et al, 2005).....40
Figura 2.4 - Baquetas adaptadas (LOURO et al, 2005) 41
Figura 3.1 - Exemplos de cenas de Realidade Aumentada (FISCHER et al., 2006).....49
Figura 3.2 - Exemplo de erro de Registro (AZUMA, 1997).....50
Figura 3.3 - Sobreposição do objeto virtual no cenário real (SANCHES; SEMENTILE, 2007).....51
Figura 3.4 - Sistema de visão ótica direta (AZUMA, 1997), (ZORZAL, 2009) 52
Figura 3.5 - Sistema de visão direta por vídeo (AZUMA, 1997), (ZORZAL, 2009).....53
Figura 3.6 - Sistema de visão por vídeo baseado em monitor (AZUMA, 1997), (ZORZAL, 2009).....54
Figura 3.7 - Sistema de visão ótica por projeção (RASKAR et al., 2001), (ZORZAL, 2009).....55
Figura 3.8 - Sistema de Realidade Virtual para reabilitação de MMSS (HOLDEN; DYAR, 2002).....60
Figura 3.9 - Sistema de Realidade Aumentada para reabilitação de MMSS (ASSIS; LOPES, 2008).....61
Figura 3.10 - Jogo para reabilitação de MMSS (BOIAN et al, 2002) 63
Figura 3.11 - Controle *Wii Remote* (BURDEA, 2008).....64
Figura 3.12 - Telas do Jogo *Kinect* em uso em sessões para reabilitação de MMSS (BURKE et al, 2010a) 67
Figura 3.13 - Calibração do sistema Kinect (BURKE et al., 2010a) 68
Figura 3.14 - **a)** Jogo "*Bubble Trouble*" e **b)** Jogo "*Arrow Attack*" (BURKE et al, 2010a)69
Figura 3.15 - **a)** Grade dos Jogos e **b)** Calibração (BURKE et al., 2010b).....69
Figura 3.16 - **a)** Jogo "*Break a Ball*" e **b)** Jogo "*Whack Attack*" (BURKE et al., 2010b)..70
Figura 3.17 - **a)** Jogo "Target Trails" e **b)** Jogo "Ping Pong" (BURKE et al., 2010b) 70
Figura 3.18 - Sistemas de Reabilitação Virtual para tratamento de fobias (TAKACS, 2006), (HOFFMAN et al., 2003), (BOTTELA et al., 2010).....71
Figura 3.19 - Robô *MANUS* para reabilitação de MMSS (KREBS, 1998) 72

Figura 3.20 - Robô *Anklebot* para reabilitação de membro inferior (WHEELER et al, 2004)....73
Figura 3.21 - Pacientes utilizando o *Music Maker* (GORMAN et al, 2007)....74
Figura 3.22 - Gráficos do *Music Maker* (GORMAN et al, 2007)....76
Figura 3.23 - *Soundbeam* (SOUNDBEAM, 2011)....77
Figura 3.24 - Configurações do *Soundbeam* (SOUNDBEAM, 2011)....78
Figura 3.25 - Sistema de reabilitação com PS3 (HUBER et al., 2010), (GOLOMBet al, 2010)....79
Figura 4.1 - Modelo para desenvolvimento de ambientes virtuais (KIRNER; MARTINS, 1999)....88
Figura 4.2 - Diagrama de casos de uso....96
Figura 4.3 - Arquitetura do sistema....98
Figura 4.4 - Diagrama de classes do sistema....99
Figura 4.5 - Cartões Musicais....102
Figura 4.6 - Interação com os cartões musicais....103
Figura 4.7 - Cartões musicais para acessibilidade musical....103
Figura 4.8 - Mudando o timbre das notas musicais....104
Figura 4.9 - Resultado sonoro dos instrumentos musicais de percussão....105
Figura 4.10 - Formas de interação com o sistema....106
Figura 4.11 - Facilidade de uso do sistema....106
Figura 5.1 - Bibliotecas de desenvolvimento do GenVirtual....112
Figura 5.2 - Sequencia básica de funcionamento do GenVirtual....114
Figura 5.3 – Modos de criação da sequencia musical do jogo de memória musical do GenVirtual....118
Figura 5.4 - Exemplo de um código do arquivo de texto do jogo de memória musical do GenVirtual....119
Figura 5.5 - Fluxograma do jogo musical....120
Figura 5.6 - Cartões de notas musicais da primeira versão do GenVirtual....121
Figura 5.7 - Primeira versão do jogo de memória musical do GenVirtual....121
Figura 5.8 - Cartões de notas musicais da segunda versão do GenVirtual....122
Figura 5.9 - Cartões de instrumentos musicais da segunda versão do GenVirtual....123

Figura 5.10 - Fluxograma de funcionamento do modo compositor de melodias do GenVirtual 123
Figura 5.11 - Testes funcionais com a segunda versão do GenVirtual. 124
Figura 5.12 - Tela principal do jogo de memória musical da terceira versão do GenVirtual. 125
Figura 5.13 - Animação do jogo da memória musical do GenVirtual e interação do usuário 125
Figura 5.14 - Mensagem de erro do jogo da memória musical do GenVirtual 126
Figura 5.15 - Cartões de Notas Musicais 127
Figura 5.16 - Cartões de instrumentos musicais de corda e sopro do GenVirtual 128
Figura 5.17 - Cartões de instrumentos musicais de percussão do GenVirtual 128
Figura 5.18 - Cartões auxiliares 129
Figura 5.19 - Partitura musical do GenVirtual 130
Figura 5.20 - Partituras na tela do GenVirtual 130
Figura 5.21 - Novo fluxograma do modo compositor de melodias do GenVirtual 132
Figura 5.22 - Testes funcionais com a terceira versão do modo compositor de melodias do GenVirtual 133
Figura 5.23 - Sequência em que é incluído o modelo 3D do instrumento musical violino 133
Figura 5.24 - Jogo tempo coincidente do GenVirtual 134
Figura 5.25 - Fluxograma do jogo Tempo Coincidente do GenVirtual 136
Figura 6.1 - Musicoterapeuta testando a primeira versão do jogo de memória musical do GenVirtual 140
Figura 6.2 - Adaptação de cores nas teclas do piano da sala de Musicoterapia da AACD 141
Figura 6.3 - Musicoterapeuta indicando atividades de composição musical com o GenVirtual 141
Figura 6.4 - Paciente testando a segunda versão do GenVirtual em sessão de Musicoterapia 146
Figura 6.5 - **(a)** Exercícios com a mão direita; **(b)** Cartões marcadores sendo fixados na mesa 146

Figura 6.6 - Testes da terceira versão do GenVirtual em domicílio.....149
Figura 6.7 - Testes da terceira versão do GenVirtual em domicílio.....150
Figura 6.8 - **a)** Instruções de uso do GenVirtual; **b)** Atividades de imitação musical....156
Figura 6.9 - **a)** Paciente do grupo GI utilizando o GenVirtual - GV); **b)** Paciente do GC utilizando os materiais convencionais (massa e bastão - MMB).....159
Figura 6.10 - Representação esquemática da metodologia da avaliação na ABDIM...161
Figura 6.11 - Intervenções de reabilitação de MMSS na ABDIM 163

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Exemplos de ambientes de Realidade Virtual 45
Tabela 3.2. Exemplos de ambientes de Realidade Misturada..... 48
Tabela 3.3. Benefícios e desafios na área de Reabilitação Virtual (BURDEA, 2003) 85
Tabela 4.1. Requisitos para o Fazer Musical musicoterapêutico 90
Tabela 4.2. Requisitos de interface para reabilitação motora 91
Tabela 4.3. Requisitos para uso domiciliar..... 92
Tabela 4.4. Propostas de atividades musicoterapêuticas apoiadas pelo sistema..... 107
Tabela 5.1. Genius Estrela x Jogo de Memória Musical do GenVirtual..... 117
Tabela 6.1. Resultados da análise da primeira avaliação de uso do GenVirtual..... 142
Tabela 6.2. Fatores para avaliação da Aplicabilidade do GenVirtual na ABDIM..... 159

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACD Associação de Assistência à Criança Deficiente

ABDIM Associação Brasileira de Distrofia Muscular

API Interface de Programação de Aplicativos *(Application Programming Interfaces)*

AVC Acidente Vascular Cerebral

CAVE Caverna Digital ou CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*)

DMD Distrofia Muscular de Duchenne

HMD Capacete de Visualização (*Head Mounted Displays*)

MFC Malformação congênita

MIDI Interface Digital para Instrumentos Musicais (*Musicais Musical Instrument Digital Interface*)

MMSS Membros Superiores

MMII Membros Inferiores

OMS Organização Mundial da Saúde

PC Paralisia Cerebral

PS3 *Play Station* III

QUIS Questionário da Satisfação e Interação do Usuário (*Questionnaire for User Interaction Satisfaction*)

SDK Kit de Desenvolvimento de *Software* (*Software Development Kit*)

UML Linguagem de Modelagem Unificada (*Unified Modeling Language*)

WAV Formato de Áudio para Windows (*Windows Audio Waveform*)

WFMT Federação Mundial de Musicoterapia (*World Federation of Music Therapy*)

WHO Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*)

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA 3
1 INTRODUÇÃO 18
1.1 Hipótese 22
1.2 Objetivos 22
1.2.1 Objetivos Específicos 22
1.3 Justificativa e Relevância 23
1.4 Materiais e Métodos 24
1.5 Organização do Trabalho 27
2 REABILITAÇÃO E MUSICOTERAPIA 28
2.1 Conceitos em Reabilitação 28
2.1.1 Reabilitação Física 30
2.1.2 Reabilitação Cognitiva 31
2.2 Conceitos em Musicoterapia 32
2.2.1 Definições Musicais 32
2.2.2 Música e Musicoterapia 34
2.2.3 Competências do Musicoterapeuta 35
2.2.4 Métodos e Procedimentos Musicoterapêuticos 36
2.2.5 Instrumentos Musicais Adaptados 38
2.2.6 Musicoterapia na Reabilitação 42
2.3 Considerações 43
3 SISTEMAS ELETRÔNICOS INTERATIVOS NA REABILITAÇÃO 44
3.1 Realidade Virtual 44
3.2 Realidade Misturada 47
3.3 Realidade Aumentada 48
3.3.1 Tipos de Sistemas de Realidade Aumentada 51
3.3.2 Técnicas de Interação em Sistemas de Realidade Aumentada 55
3.4 Reabilitação Apoiada por Sistemas Eletrônicos Interativos 57
3.4.1 Vantagens 57
3.4.2 Abordagens Terapêuticas 59

3.4.3 Telereabilitação 78
3.4.4 Desafios 82
3.5 Considerações 86
4 SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA MUSICAL PARA REABILITAÇÃO 87
4.1 Metodologia de Desenvolvimento 87
4.2 Definição e Especificação dos Requisitos Gerais 89
4.3 Requisitos Funcionais e Não-Funcionais 92
4.4 Projeto do Sistema 95
4.4.1 Diagrama de Casos de Uso 95
4.4.2 Arquitetura 97
4.4.3 Diagrama de Classes 99
4.4.4 Recursos Motivacionais 101
4.5 Propostas de Atividades Musicoterapêuticas com o Sistema 107
4.6 Considerações 109
5 IMPLEMENTAÇÃO DO GENVIRTUAL 110
5.1 Bibliotecas de Desenvolvimento 110
5.2 Funcionamento Básico 113
5.3 Versões do GenVirtual 115
5.3.1 Primeira Versão 116
5.3.2 Segunda Versão 122
5.3.3 Terceira Versão 124
5.4 Considerações 137
6 TESTES E AVALIAÇÕES DO GENVIRTUAL 138
6.1 Primeira Etapa – Avaliação de Aplicabilidade com um Especialista em Musicoterapia 138
6.1.1 Metodologia 138
6.1.2 Resultados 139
6.1.3 Publicações 143
6.2 Segunda Etapa 143
6.2.1 Avaliação de Uso em Sessão de Musicoterapia 144
6.2.2 Avaliação de Uso em Sessão de Terapia Ocupacional 147

6.2.3 Publicações 151
6.3 Terceira Etapa 151
6.3.1 Avaliações dos Requisitos do “Fazer Musical” por Musicoterapeutas 151
6.3.2 Avaliações de Uso em Sessões de Musicoterapia na AACD 154
6.3.3 Avaliações de Uso em Sessões de Terapia Ocupacional na ABDIM 157
6.3.4 Publicações 164
6.4 Considerações 164
7 CONCLUSÕES 165
7.1 Impactos Científicos e Tecnológicos 167
7.2 Trabalhos Futuros 168
APÊNDICE A - Detalhamento do Diagrama de Classes 182
APÊNDICE B - Bibliotecas para Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Aumentada 195
APÊNDICE C - Feira Muito Especial de Tecnologias Assistivas 198
APÊNDICE D - Questionário de Satisfação da Interação do Usuário 202
APÊNDICE E - Questionário de Avaliação dos Requisitos do Fazer Musical - Aplicação para o ambiente de intervenção em Musicoterapia 203
APÊNDICE F - Questionário de Satisfação e Interação do Usuário (AACD) 204
APÊNDICE G - Questionário de Satisfação e Interação do Usuário (ABDIM) 205
APÊNDICE H – Avaliações com os Pacientes da ABDIM 207
APÊNDICE I – Avaliações com os Terapeutas da ABDIM 210
APÊNDICE J – Sítio Eletrônico do GenVirtual 212
ANEXO A – PROTOCOLO DE PESQUISA DA AACD 214

1 INTRODUÇÃO

A música é capaz de despertar as mais variadas emoções no ser humano. De acordo com Leme (2009) e Smith (1999), ao escutar música, o ouvido transforma os sons em estímulos elétricos que chegam ao cérebro, provocando o aumento na produção de endorfina. Este hormônio, por sua vez, causa sensação de bem-estar e relaxa o corpo, diminuindo os batimentos cardíacos e a pressão arterial. Segundo Smith (1999), o organismo humano é dotado de um sistema sonoro capaz de comandar a percepção e produção dos sons. Quando há um desequilíbrio neste sistema, a pessoa doente se sente menos motivada e mais triste. Neste contexto, a música pode agir como fator terapêutico, trazendo de volta o equilíbrio que esta pessoa necessita.

Ao longo da história, a música vem sendo utilizada de inúmeras formas e para diversos fins, seja como forma de expressão, comunicação, interação, fonte de meditação, de lazer, de renda, seja como auxílio no processo de prevenção, restauração e reabilitação da saúde.

O processo musicoterapêutico pode desenvolver-se de acordo com várias abordagens e métodos, sendo os mais comuns: improvisação, recriação e composição musical, audição sonora e musical e imitação musical (BENEZON, 1998), (BARANOW, 1999), (BRUSCIA, 2000), (NASCIMENTO, 2006), (IKUTA, 2009).

Segundo Streeter (2001), atividades de recriação e composição musical, quando envolvem a execução de instrumentos musicais, por exemplo, podem aumentar o rendimento em sessões de reabilitação física, enquanto exercícios físicos regulares se tornam repetitivos e cansativos. Essas atividades podem despertar o interesse do indivíduo principalmente para uso dos membros superiores (MMSS) e proporcionar estabilidade do tronco, melhorando a amplitude do movimento motor fino ou grosso.

Durante estas atividades, muitas vezes, faz-se necessário o uso de instrumentos musicais adaptados às necessidades físicas específicas do paciente com o intuito de auxiliá-lo no manuseio (LOURO 2005; 2009), (LINA, 2009). Ao adaptar instrumentos,

introduzir posturas, investir em equipamentos no setor de Musicoterapia, o terapeuta contribui diretamente para a melhora de desempenho numa área que aplica estratégias diferenciadas para ganhos motores (destreza manual e outros), melhora da comunicação e da fala e, principalmente, da autoestima.

Os pacientes atendidos no setor de Musicoterapia da Associação de Assistência à Criança Deficiente (AACD), por exemplo, possuem graus de deficiência física variados, dos mais leves aos mais graves, necessitando de equipes especializadas que contribuam para a melhor adaptação dos procedimentos e tecnologias às necessidades de cada paciente (NASCIMENTO, 2006), (LINA, 2009).

Algumas adaptações tecnológicas são feitas sob encomenda pelo musicoterapeuta e, portanto, em pequenas quantidades para o setor (NASCIMENTO, 2006), (LINA, 2009). Algumas vezes, um respectivo recurso adaptador de prática instrumental atende apenas às necessidades de uma determinada incapacidade física, sendo que para outras, este mesmo recurso pode ser desconfortável. Outro fator relevante é o custo para fabricação e aquisição de recursos adaptativos. Também é recomendável para muitos pacientes dar continuidade ao tratamento em domicílio, entretanto, muito pacientes não possuem recursos financeiros para adquirir instrumentos musicais adaptados.

Por outro lado, o número de computadores e acesso à Internet nos lares brasileiros vem crescendo rapidamente (CETIC, 2010). Além de promover o acesso à informação e comunicação, a inclusão digital, tem se tornado uma importante aliada do ensino e aprendizagem (REKIMOTO; NAGAO, 1995), (THOMAS et al, 2010), (LOPES et al, 2010), do treinamento (HOLDEN; DYAR, 2002), (GOLOMB, et al, 2010) e da simulação (HOFFMAN et al, 2003), (BOTELLA, 2010).

Dessa forma, diversas tecnologias computacionais, com recursos para pessoas com deficiência física grave, vêm tornando possível o acesso às tarefas de vida diária. Sistemas para reconhecimento da fala (WALD, 2008), (HUA; LIEH-NG, 2010) e rastreamento de olhos (JACOB, 1991), (CHEN; PU, 2010) são utilizados para fornecer

acesso à escrita, leitura e comunicação. Interfaces cérebro-computador[1] ajudam pessoas com deficiência física grave a se comunicarem e se locomoverem (WOLPAW et al, 2002).

Na área da saúde, os computadores assumem um papel importante tanto para motivar os pacientes durante a terapia quanto para fornecer dados quantitativos para o acompanhamento pelo terapeuta (OLIVEIRA et al, 2010). Em particular, na área da Musicoterapia, *softwares* e equipamentos eletrônicos têm possibilitado o "fazer musical" terapêutico e educacional de pessoas com graves limitações físicas. Técnicas de visão computacional[2], por exemplo, possibilitam capturar e converter gestos corporais dos dedos, mãos e pés, em informações sonoras e gráficas (GORMAN et al, 2007). Sensores ultra-sônicos também podem ser utilizados com a mesma finalidade (SOUDBEAM, 2011).

A área de Reabilitação Virtual vem ganhando notoriedade na comunidade científica por proporcionar o uso de ambientes virtuais, desenvolvidos com tecnologia de Realidade Virtual ou Aumentada, para reabilitação. Se comparada com procedimentos realizados manualmente, a Reabilitação Virtual pode proporcionar inúmeros benefícios (BURDEA, 2003), (SVEISTRUP et al, 2003), como a possibilidade de: realizar exercícios repetitivos mais atrativos com representações visuais, auditivas e sinestésicas que motivam o paciente; obter medidas objetivas dos exercícios físicos (velocidade dos membros, amplitude de movimento, taxas de acerto e/ou erro, pontuações em jogos, entre outros); aumentar ou diminuir a complexidade dos exercícios; armazenar os dados coletados para acesso remoto; realizar atividades domiciliares assistidas ou não pelo terapeuta, entre outros.

Com a Realidade Aumentada, é possível criar sistemas computacionais diferenciados para usuários com deficiência para utilizar dispositivos convencionais como teclado e mouse (GARBIN et al, 2006), (GARBIN, 2008), (GARBIN, 2009). Esta tecnologia

---

[1] Interface que utiliza sinais elétricos detectados de áreas corticais ou subcorticais cerebrais que são utilizados para ativar dispositivos externos tais como computadores e próteses (WOLPAW et al., 2002).

[2] Conjunto de métodos e técnicas através dos quais sistemas computacionais podem ser capazes de interpretar imagens. A interpretação de uma imagem pode ser definida em termos computacionais como a transformação de um conjunto de dados digitais representando uma imagem (um sinal mono-, bi-, tri- ou tetradimensional) em uma estrutura de dados descrevendo a semântica desses dados em um conjunto qualquer (GONZALEZ; WOODS, 1993).

possibilita adicionar elementos virtuais ao mundo real do usuário, cuja manipulação ocorre de forma natural, com as mãos, sem uso de aparatos convencionais como teclado e mouse e adaptadores nas mãos (KIRNER; TORI, 2006), (KIRNER; KIRNER, 2008). Esta característica da Realidade Aumentada proporciona o acesso de pessoas com deficiência física e motora a ambientes virtuais, facilitando procedimentos educacionais (THOMAS et al, 2010) e terapêuticos (RICHARD et al, 2007), (ASSIS; LOPES, 2008), (BOTELLA, 2010).

Existem vários meios de se construir ambientes de Realidade Aumentada, sendo que o mais comum e acessível economicamente é com o uso de uma *webcam* para capturar as imagens do mundo real, de um *software* de Realidade Aumentada para misturá-las com elementos virtuais e de um monitor de vídeo para exibir as imagens misturadas (NISCHELWITZER, et al, 2008).

Apesar do grande potencial de uso da Realidade Aumentada para reabilitação, não foram encontrados, na literatura, trabalhos que evidenciem sua eficácia no tratamento musicoterapêutico. Até o momento, a Realidade Aumentada tem sido utilizada como um instrumento atrativo para apoiar o processo de aprendizagem musical (ZORZAL et al, 2005), (KIRNER et al, 2006), (CONSTANZA et al, 2003).

Tendo em vista os benefícios proporcionados por esta tecnologia, em relação às formas de interação, que dispensa o uso dos aparatos tecnológicos (mouse e teclado) e adaptadores nas mãos, supõe-se que os procedimentos musicoterapêuticos, quando dirigidos às pessoas com deficiência física, podem ser facilitados pelo uso desta tecnologia. Além disso, sistemas desenvolvidos com Realidade Aumentada podem ser facilmente acessados em domicílio o que pode potencializar o tratamento, inclusive com possibilidades de acompanhamento remoto. Outro fator relevante é o potencial desta tecnologia para melhorar a motivação e satisfação dos pacientes e influenciar positivamente no seu tratamento de reabilitação.

1.1 Hipótese

É possível conceber, implementar, testar e validar um sistema eletrônico interativo capaz de apoiar e ampliar as estratégias das intervenções musicoterapêuticas no contexto da reabilitação física e cognitiva.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é investigar o estado da arte em Reabilitação Virtual e verificar se é possível conceber um sistema eletrônico interativo capaz de apoiar e ampliar as estratégias de intervenções musicoterapêuticas no contexto da reabilitação física e cognitiva.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa foi necessário o desenvolvimento das seguintes atividades:

- realizar um estudo sobre aspectos relacionados à reabilitação física e cognitiva, com ênfase nos conceitos dos métodos musicoterapêuticos;
- realizar um estudo sobre o estado da arte em Reabilitação Virtual, aprofundando-se nas pesquisas em Realidade Aumentada com vista a explorar as possibilidades de combinar Realidade Aumentada e Música;
- levantar a percepção e os requisitos necessários para desenvolvimento do trabalho junto a especialistas em musicoterapia;

- conceber uma proposta de sistema eletrônico musical para reabilitação;
- implementar uma primeira versão do sistema;
- avaliar a primeira versão do protótipo junto a especialistas em reabilitação para revisão dos requisitos do sistema;
- implementar uma segunda versão do protótipo com base na revisão dos requisitos do sistema;
- testar a segunda versão do protótipo com um musicoterapeuta e um paciente durante uma sessão de Musicoterapia para validar os requisitos;
- avaliar a segunda versão do protótipo e realizar nova revisão dos requisitos com base nos testes com o musicoterapeuta e paciente;
- implementar a terceira versão do protótipo para ajustes do sistema com base nos testes realizados com musicoterapeuta e paciente;
- avaliar a terceira versão do protótipo com musicoterapeutas, terapeutas ocupacionais e pacientes em duas diferentes instituições de reabilitação;
- analisar e publicar os resultados dos testes e avaliações realizados em congressos e revistas científicas de impacto na área.

1.3 Justificativa e Relevância

A reabilitação convencional é, por sua natureza, repetitiva e muitas vezes dolorosa (GREVE, 2007). A repetição tende a reduzir a motivação do paciente. Outra característica é a falta de recursos que possibilitem continuidade do tratamento domiciliar, com pouco ou nenhum monitoramento presencial de um terapeuta (GOLOMB, et al, 2010), (BOTELLA, 2010). A reabilitação convencional geralmente é feita um-para-um, ou seja, um terapeuta atende um paciente por vez (BUCKLEY et al, 2002). Dessa forma, os custos tendem a ser altos, especialmente para pacientes graves que precisam de cuidados especiais durante todo o tempo. Por fim, a distribuição de

terapeutas sobre o território nacional é desigual. A maioria dos terapeutas atende em torno de áreas urbanas e longe de zonas rurais, onde a terapia se torna mais difícil ou mesmo inexistente.

Com base nesta premissa, vários exercícios físicos são previstos para serem realizados em casa pelo paciente (entre as consultas semanais que ocorrem nos centros de reabilitação). Geralmente, o terapeuta passa as instruções dos exercícios verbalmente ao paciente e ao cuidador. Dependendo da complexidade dos exercícios, o terapeuta escreve as instruções em papel, exemplificando com fotos ou desenhos e os entrega a seu paciente. A ideia é que o paciente siga as instruções corretamente realizando os exercícios em casa e retorne ao centro de reabilitação uma ou duas vezes por semana para acompanhamento e exames de avaliação.

Os exames são usados para monitorar o estado físico do paciente e orientar para outro tipo de tratamento fisioterapêutico, como por exemplo, quando são necessários equipamentos especializados. Ao final de algumas sessões terapêuticas, um novo planejamento de metas de reabilitação é planejado com o paciente para incluir o que o mesmo deve executar em casa.

Nota-se, portanto, a importância da busca por alternativas que tornem o tratamento mais interessante, desafiador e motivador. O uso dos computadores para apoiar o tratamento convencional de reabilitação, pode ser um grande aliado do terapeuta, ao fornecer recursos audiovisuais combinados com desafios que motivam e engajam o paciente durante a terapia, bem como para fornecer dados qualitativos e quantitativos sobre o desempenho do paciente. Além disso, a alta disponibilidade de recursos computacionais de baixo custo e fácil acesso podem contribuir para a inovação social.

1.4 Materiais e Métodos

No início do projeto, foram realizadas diversas reuniões e sessões de observação em campo com especialistas em reabilitação física e musicoterapeutas da AACD, a fim de

caracterizar o problema e levantar o estado da arte e os requisitos do sistema. Os musicoterapeutas indicaram livros e artigos sobre Reabilitação e Musicoterapia para estudo. A leitura especializada de autores como (BENEZON, 1998), (BARANOW, 1999), (BRUSCIA, 2000), (LOURO et al, 2005), (NASCIMENTO, 2006), (LOURO, 2006), (IKUTA, 2009), (ROCKENBACK; NASCIMENTO, 2009), juntamente com as observações das intervenções de musicoterapeutas com pacientes, possibilitou o entendimento dos conceitos que permeiam a reabilitação física e cognitiva e também dos métodos musicoterapêuticos utilizados.

Durante a pesquisa de campo, realizada no setor de Musicoterapia da AACD, observou-se que alguns pacientes necessitavam de adaptações nos MMSS para interação com os instrumentos musicais. A escolha pela melhor adaptação dependia da limitação motora e do quão motivado o paciente estava se sentindo para desempenhar a tarefa.

A tecnologia de Realidade Aumentada foi elencada para esta pesquisa por possibilitar interação com as mãos, sem uso de adaptações, além de seu potencial para estimular o aprendizado e aumentar a motivação na realização das tarefas.

Foi realizado um estudo sobre tecnologias de *hardware* e *software* necessários para concepção e uso de ambientes de Realidade Aumentada, como *displays*, dispositivo de captura de imagens (câmera e *webcam)*, métodos de combinação de imagens reais e virtuais, bibliotecas de áudio e bibliotecas para desenvolvimento de ambientes de Realidade Aumentada. Após análise das tecnologias, foram priorizadas as de baixo custo que pudessem satisfazer aos requisitos levantados nas reuniões com os especialistas e um primeiro protótipo foi implementado.

Um projeto de testes de usabilidade do sistema foi encaminhado ao Comitê de Ética em Pesquisa da AACD sob protocolo N° protocolo nº089/1 0 (Anexo A). O Comitê autorizou a realização dos testes do sistema com um grupo de pacientes voluntários que estavam sob tratamento no setor de Musicoterapia. Este projeto de testes incluiu o planejamento das intervenções e avaliação de usabilidade do sistema, com critérios de inclusão e exclusão, duração e frequência das intervenções.

O protótipo foi implementado seguindo o ciclo de desenvolvimento de ambientes virtuais proposto por Kirner e Martins (1999). A cada ciclo de desenvolvimento, o protótipo foi testado junto aos usuários (musicoterapeutas e/ou pacientes), visando verificar e adequar novos requisitos de usabilidade. A primeira versão, resultante do primeiro ciclo de desenvolvimento, foi apresentada à musicoterapeuta da AACD, que participou da definição inicial dos requisitos. O objetivo foi proporcionar a familiarização e domínio da tecnologia de Realidade Aumentada e verificar se esta tecnologia apresentava potencial para uso em intervenções de Musicoterapia. A coleta de dados foi feita com base num estudo etnográfico por meio de apontamentos, entrevistas e gravações em vídeo. Após análise dos dados coletados, foi possível identificar novos requisitos que deram início ao segundo ciclo de desenvolvimento originando a segunda versão do protótipo.

A segunda versão foi testada durante uma intervenção de Musicoterapia com um paciente com Paralisia Cerebral e um musicoterapeuta. O objetivo foi avaliar se o paciente aceitava a tecnologia de Realidade Aumentada. A metodologia de avaliação foi realizada com base em um estudo etnográfico por meio de apontamentos, entrevistas e gravações em vídeo. Após análise dos dados coletados neste experimento, pode-se identificar novos requisitos que deram início ao terceiro ciclo de desenvolvimento originando a terceira versão do protótipo.

A terceira versão foi avaliada em dois centros de reabilitação (AACD e ABDIM). Na AACD, foram feitos experimentos de uso do protótipo em intervenções de Musicoterapia com três crianças com distúrbios motores. O objetivo foi avaliar a motivação e satisfação dos pacientes e familiares em intervenções de Musicoterapia com uso da tecnologia. A metodologia de avaliação foi realizada com base no Questionário da Satisfação da Interação do Usuário (*Questionnaire for User Interaction Satisfaction* - QUIS).

Na ABDIM, foram feitos experimentos de uso do protótipo em intervenções de Terapia Ocupacional com um grupo de dezesseis pacientes com Distrofia Muscular de Duchenne (DMD). O objetivo foi verificar se o sistema, aplicado a um programa de reabilitação de MMSS, era capaz de interferir na motivação, satisfação e consequente

aderência aos exercícios de Terapia Ocupacional. A coleta de dados foi feita por meio de um questionário de satisfação baseado na escala de Likert.

Após a finalização dos dois experimentos com a terceira versão, o protótipo passou pela etapa de finalização, onde foi criado um arquivo de instalação que está atualmente disponível para *download* gratuito na página criada para a divulgação deste trabalho.

1.5 Organização do Trabalho

O texto encontra-se organizado em sete capítulos. O capítulo inicial apresenta uma introdução ao problema abordado neste trabalho, bem como a hipótese, a justificativa, os objetivos e os materiais e métodos utilizados na pesquisa.

O capítulo dois apresenta fundamentos que permeiam a Reabilitação e a Musicoterapia que servem de base teórica para a compreensão do domínio da pesquisa.

O capítulo três apresenta os principais conceitos na área de Reabilitação Virtual, aprofundando-se na tecnologia de Realidade Aumentada e o estado da arte dos Sistemas Eletrônicos Interativos para Reabilitação.

O capítulo quatro descreve a proposta de sistema de Realidade Aumentada Musical para reabilitação, detalhando as etapas de especificação dos requisitos e de projeto, onde são apresentados os diagramas de casos de uso e diagramas de classes.

O capítulo cinco mostra os detalhes de implementação do sistema GenVirtual baseado na proposta e concebido em etapas, de acordo com avaliações de usabilidade realizadas com sucessivas versões do protótipo.

O capítulo seis apresenta os resultados dos testes e avaliações do GenVirtual realizados com terapeutas e pacientes em centros de reabilitação.

O último capítulo apresenta as considerações finais do trabalho, bem como propostas para trabalhos futuros.

2 REABILITAÇÃO E MUSICOTERAPIA

Este capítulo apresenta alguns pontos que permeiam a Reabilitação e a Musicoterapia. Trata-se de um conteúdo da medicina de reabilitação e traz consigo um verdadeiro arsenal de informações específicas necessárias para a compreensão dos capítulos subsequentes.

2.1 Conceitos em Reabilitação

A palavra reabilitação vem do termo habilitar, do latim *habilitare*, verbo transitivo que significa tornar hábil, capaz, apto. Com a inclusão do prefixo *re-habilitar* tem o sentido de adquirir novamente uma habilidade perdida ou diminuída (GREVE, 2007).

Na área médica, o conceito de reabilitação sempre assume uma conotação terapêutica, pois busca devolver ao indivíduo, com algum tipo de incapacidade, o máximo de funcionalidade possível (LIANZA; KODA, 2001). Além do termo “incapacidade”, deve-se também ter em mente o conceito de termos como “deficiência” e “desvantagem”'. De acordo com a Classificação Internacional de Deficiência, Incapacidade e Desvantagem (CIDID) criada pela Organização Mundial da Saúde (WHO*,* 1993), uma doença gera uma deficiência que se traduz em incapacidade resultando em desvantagem:

- **Deficiência:** qualquer perda ou anormalidade de estrutura ou função psicológica, fisiológica ou anatômica. Incluem-se nessas a ocorrência de uma anomalia, defeito ou perda de um membro, órgão, tecido ou qualquer outra estrutura do corpo, inclusive das funções mentais. Representa a exteriorização de um estado patológico, refletindo um distúrbio orgânico, uma perturbação no órgão.

- **Incapacidade:** restrição, resultante de uma deficiência, da habilidade para desempenhar uma atividade considerada normal para o ser humano. Surge como consequência a uma deficiência motora, sensorial, cognitiva, emocional ou profissional refletindo em distúrbios nas atividades e comportamentos essenciais à vida diária.
- **Desvantagem:** expressa as limitações, resultante de uma deficiência ou uma incapacidade, em termos de desempenho de um papel social (vida diária, educação, trabalho e lazer).

De acordo com Lianza e Koda (2001), a identificação destes itens, durante a avaliação por um fisiatra[3], é muito importante, pois, o tratamento de reabilitação é basicamente, uma programação de metas a serem alcançadas e estas devem ser dirigidas à redução das incapacidades e à prevenção das deficiências. Pelas mesmas razões, deve-se também identificar as capacidades funcionais do indivíduo. O diagnóstico adequado das capacidades funcionais possibilita aumentar o grau de independência e autonomia por meio de um trabalho de compensação funcional.

Segundo Greve (2007), as condições determinantes das incapacidades são muito variáveis e dependem de muitos fatores como idade, grau de cultura e nível educacional, condições socioeconômicas, etiologia da doença incapacitante, além de aspectos próprios da personalidade.

De acordo com a autora, destacam-se entre as causas de incapacidades:

- **Em crianças:** doenças congênitas, hereditárias e neuronatais (alterações genéticas, cromossômicas, malformações diversas, problemas no parto e traumas).
- **Em adultos jovens:** limitações de mobilidade causadas por lesões traumáticas (lesão da medula espinhal, encefálicas e musculoesqueléticas).

[3] Fisiatra é um médico especializado em medicina física.

- **Em indivíduos de meia idade e idosos:** doenças crônicas, cardiocirculatórias, neurológicas, diabetes, demências e artrites.

Posto isto, as crianças, os jovens adultos, os indivíduos de meia idade ou idosos que, através da avaliação médica, recebem diagnóstico de doenças incapacitantes, têm a indicação de receber tratamento de reabilitação física e/ou cognitiva.

Para fins didáticos, dividiu-se, neste texto, a reabilitação em física e cognitiva. Cabe destacar que uma não exclui a outra. O contexto é complexo e interligado entre si.

2.1.1 Reabilitação Física

Segundo Cidade e Freitas (2002), a deficiência física (ou motora) é caracterizada por um distúrbio da estrutura ou da função do corpo que interfere na movimentação e/ou na locomoção do indivíduo (GORGATTI; BÖHME, 2003). Pode envolver fraqueza ou limitação no controle muscular (movimentos involuntários, ausência de coordenação ou paralisia), limitações de sensações, problemas nas juntas ou perda de membros em decorrência de lesões neurológicas, neuromusculares, ortopédicas ou malformações congênitas (MFC)[4].

Além de consequências físico-motoras aparentes, a deficiência física marca o indivíduo do ponto de vista social, afetivo e comunicativo, o que por vezes, são lesões bem maiores que as que visivelmente se pode notar (CARDOSO; PALMA, 2010).

Com o objetivo de desenvolver a máxima funcionalidade e qualidade de vida, a reabilitação física (ou fisioterapia), concebe programas, selecionando, planificando e

[4] Todo defeito na constituição de algum órgão ou conjunto de órgãos que determine uma anomalia morfológica estrutural presente no nascimento devido à causa genética ambiental ou mista (FILHO; AOKI, 2010). Essa definição abrange todos os desvios em relação à forma, tamanho, posição, número e coloração de uma ou mais partes capazes de serem averiguadas macroscopicamente ao nascimento e/ou decorrente de condição morfológica congênita.

utilizando técnicas, modalidades educativas e terapêuticas específicas baseadas no movimento, nas terapias manipulativas e meios físicos e naturais, escolhidas a partir da análise e avaliação do movimento e da postura.

A reabilitação física atua principalmente na identificação, prevenção, recuperação, reeducação, habilitação e reabilitação de incapacidades originadas por disfunções físicas (do foro funcional musculoesquelético, cardiovascular, respiratório e neurológico, entre outras) e por disfunções psíquicas.

2.1.2 Reabilitação Cognitiva

Segundo Davis e Rockwood (2004), as disfunções cognitivas são entidades nosológicas complexas[5], multiformes e essencialmente dinâmicas que se caracterizam, basicamente, por alterações no funcionamento normal dos processos mentais e neurobiológicos subjacentes ao fenômeno que se convencionou chamar de cognição ou inteligência humana. De acordo Sternberg (1979) e Marshalek et al (1983), cognição ou inteligência humana é a capacidade fundamental, exibida pelos seres humanos, de se adaptar a diversas situações, mediante a implementação de procedimentos distintos a modificá-las de modo que se ajustem às necessidades e objetivos.

Assim conceituada, a expressão cognição ou inteligência humana engloba não somente capacidades historicamente classificadas como cognitivas/inteligentes, tais como, a atenção, a percepção, a linguagem, a aprendizagem, a memória, o raciocínio lógico-matemático, como também aquelas capacidades ou funções, tais como a motivação, a emoção, a imaginação, a criatividade, a capacidade de se relacionar consigo mesmo e com os outros, a habilidade de realizar as sequências motoras complexas necessárias à execução de atividades como tocar instrumentos musicais, desenhar, dançar, praticar esportes, entre outros (STERNBERG, 1979), (SNOW, 1989), (CAROLL, 1993).

[5] Termo médico que identifica um ramo da medicina que se ocupa da definição e classificação sistemática das doenças (DICIONÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS DE MEDICINA E SAÚDE, 2008).

De acordo com Davis e Rockwood (2004), as causas das disfunções cognitivas podem ser decorrentes de traumatismos, afecções vasculares, tumores, infecções, patologias degenerativas e procedimentos neurocirúrgicos. Estas lesões são capazes de provocar, além de alterações vegetativas, de equilíbrio, de motricidade e de sensibilidade, também transtornos de natureza cognitiva, que irão comprometer, em maior ou menor grau, as capacidades ou funções do ser humano.

A diversidade do funcionamento do pensamento e das modalidades da cognição para ser implementada, com vista ao tratamento de reabilitação de uma determinada disfunção cognitiva, é uma tarefa complexa e estratégias diferentes são elencadas com a finalidade de, através da motivação do paciente, o terapeuta possa atingir seus objetivos terapêuticos.

2.2 Conceitos em Musicoterapia

Para o melhor entendimento dos conceitos musicoterapêuticos e dos capítulos que abordam o desenvolvimento e avaliações do sistema aqui proposto, faz-se necessária uma breve apresentação de alguns conceitos que compõe o universo musical e o da musicoterapia.

2.2.1 Definições Musicais

No dicionário Aurélio, música é "*a arte e ciência de combinar os sons de modo agradável ao ouvido*", "*qualquer composição musical*", "*qualquer conjunto de sons*". Nos livros de teoria musical, música é definida como uma sucessão de sons e silêncios organizados com equilíbrio e proporção ao longo do tempo (LACERDA, 2006).

De acordo com Brito (2003), as características do som não podem ser interpretadas como sendo a própria música, mas a passagem do sonoro ao musical se dá pelo relacionamento entre os sons (e seus parâmetros) e o silêncio.

São parâmetros do som (LACERDA, 2006), (BRITO, 2003):

- **Altura -** diferente entoação das notas (grave, médio ou agudo). Por exemplo, as notas do começo e as notas do final da escala do piano se diferenciam pela altura.
- **Duração -** espaço de tempo em que soa o som.
- **Intensidade -** propriedade do som de ser fraco ou forte (volume).
- **Timbre -** é a qualidade pela qual um som se diferencia de outro da mesma altura. Por exemplo, a mesma nota musical tocada por um piano e por um violão possui timbres diferentes.

São elementos da música (LACERDA, 2006), (BRITO, 2003):

- **Melodia -** sucessão de sons sequenciais (ex. uma nota por vez) repetindo ou variando tempo, altura e intensidade.
- **Harmonia -** seqüência de sons combinados simultaneamente formando acordes.
- **Ritmo -** divisão ordenada do tempo, pulsação, batida.

Nota Musical é definida pelo número de repetições de uma forma de onda do espectro sonoro audível em um segundo (LACERDA, 2006). Musicalmente, é um sinal gráfico que representa a altura e a duração dos sons musicais. O número de repetições de uma forma de onda por segundo é definido como frequência do sinal que é fornecida em Hertz (Hz). As Notas Musicais se organizam em ordem gradual de altura (escala), tanto na ordem ascendente ou descendente. Na ordem ascendente, o som se torna mais agudo (alto). Na ordem descendente, o som se torna mais grave (baixo).

Pauta Musical ou Pentagrama é a estrutura usada para a notação musical, constituída pelo conjunto de cinco linhas paralelas e equidistantes, formando entre si quatro espaços (LACERDA, 2006), (BRITO, 2003). As linhas e espaços são contados de baixo para cima. São nestas linhas e espaços que se escrevem as notas dos sons musicais.

Para convencionar o posicionamento das Notas Musicais no Pentagrama, usa-se um sinal chamado Clave que se coloca no princípio da pauta. Existem três tipos de claves (LACERDA, 2006), (BRITO, 2003):

- **Clave de Sol -** usada para os sons agudos. Determina que a nota sol esteja na segunda linha do Pentagrama, portanto, define-se o posicionamento de todas as outras notas dispostas em ordem.
- **Clave de Fá -** usada para sons graves. Determina a localização da nota Fá na quarta ou terceira linha, sendo a primeira a mais usada.
- **Clave de Dó -** usada para sons médios. Determina a localização da nota Dó, anotada na primeira, segunda, terceira e quarta linha. A mais usada é na terceira linha.

2.2.2 Música e Musicoterapia

A música na Educação Musical tem enfoque pedagógico (LOURO, 2006) enquanto que na Musicoterapia o enfoque é terapêutico (BARANOW, 1999), (NASCIMENTO, 2006). Segundo a Federação Mundial de Musicoterapia (WFMT, 2011):

> "*Musicoterapia é a utilização da música e de seus elementos (som, ritmo, melodia e harmonia) por um profissional qualificado, em um paciente ou grupo, no processo musicoterapêutico para facilitar e promover a comunicação, relação, aprendizagem, mobilização, expressão, organização e outros objetivos terapêuticos relevantes para alcançar necessidades físicas, emocionais, mentais, sociais e cognitivas. A Musicoterapia tem como objetivo desenvolver potenciais e/ou estabelecer funções do indivíduo para que possa alcançar melhor integração intra e/ou interpessoal e, em conseqüência, uma melhor qualidade de vida, por meio da prevenção e reabilitação*".

A música estimula as regiões límbicas (emocionais, motoras e impulsivas) e auxilia na reorganização das regiões cerebrais traumatizadas (ROCKENBACK; NASCIMENTO, 2009). Ao ouvir música, o ouvido transforma os sons em estímulos elétricos que chegam ao cérebro e que, dependendo do histórico sonoro do indivíduo, pode provocar o aumento da produção de endorfina (SMITH, 1999), (LEME, 2009). Este hormônio, por sua vez, causa sensação de bem-estar e relaxa o corpo, diminuindo os batimentos cardíacos e a pressão arterial. Do mesmo modo, a música beneficia competências cognitivas como memória, atenção planejamento e resolução de tarefas especiais (ROCKENBACK; NASCIMENTO, 2009).

Por todas essas características da música, as intervenções musicoterapêuticas podem ser benéficas e contribuir para a melhora do paciente e de sua qualidade de vida no processo de reabilitação.

2.2.3 Competências do Musicoterapeuta

A profissão de musicoterapeuta foi instituída pela Federação Mundial de Musicoterapia, no ano de 1996. Segundo Cervellini e Mezzadri (2006):

> *"é da competência do musicoterapeuta atuar na melhoria da qualidade de vida do paciente utilizando-se dos recursos musicais e, para isso é necessário o conhecimento do desenvolvimento do ser humano, um domínio da linguagem musical estruturada e um bom repertório musical, que devem ser utilizados de maneira criativa, possibilitando a auto-expressão do paciente".*

As atividades do musicoterapeuta, para a área de medicina, envolvem (WFMT, 2011): habilitar pacientes; realizar diagnósticos; analisar condições dos pacientes e ambientes; orientar pacientes, familiares, cuidadores e responsáveis; administrar recursos humanos, materiais e financeiros; executar atividades administrativas; interagir com outros profissionais; demonstrar competências pessoais; entre outras.

2.2.4 Métodos e Procedimentos Musicoterapêuticos

Na literatura, são encontrados diversos métodos e procedimentos de intervenção musicoterapêutica citados por (BENEZON, 1998), (BARANOW, 1999), (BRUSCIA, 2000), (NASCIMENTO, 2006) e (IKUTA, 2009), dentre eles, destacam-se:

- **Improvisação Musical:** o paciente faz música tocando ou cantando, criando uma melodia, um ritmo, uma canção ou uma peça musical de improviso. Segundo Benezon (1988), os elementos musicais podem abrir canais de comunicação não verbal e, consequentemente, uma ponte para a comunicação verbal, dando sentido à auto-expressão e à formação da identidade, desenvolvendo habilidades grupais, criatividade, liberdade de expressão, espontaneidade e capacidade lúdica, estimulando o desenvolvimento dos sentidos e das habilidades perceptivas e cognitivas.
- **Recriação Musical:** é um termo mais abrangente que inclui a execução, reprodução, transformação e interpretação de qualquer parte ou do todo de um modelo musical existente, com ou sem uma audiência. Segundo Bruscia (2000), estes recursos podem auxiliar o desenvolvimento de habilidades

sensório-motoras, melhorar o comportamento ritmado, atenção e orientação, desenvolver a memória, habilidades de interpretação e comunicação de ideias e sentimentos e melhorar atividades interativas em grupo.

- **Composição Musical:** o terapeuta ajuda o paciente a escrever canções, letras ou peças instrumentais ou a criar qualquer tipo de produto musical como vídeos com músicas ou fitas de áudio. Segundo Bruscia (2000), estes recursos podem estimular o desenvolvimento de habilidades de planejamento e organização, habilidades para solucionar problemas e promover a autoresponsabilidade, habilidades para documentar e comunicar experiências internas, promovendo a exploração de temas musicais por meio de ritmos em paródias.
- **Audição Sonora e Musical:** o paciente ouve música e responde à experiência de forma silenciosa, verbalmente ou através de outra modalidade. Esta experiência pode envolver aspectos físicos, emocionais, intelectuais e estéticos da música. Segundo Bruscia (2000), estes recursos podem auxiliar no relaxamento, estimular os sentidos, melhorar a escuta perceptiva, a integração auditiva com outras modalidades sensoriais, evocar respostas comportamentais específicas, organizar ritmicamente comportamentos motores do usuário, servir de estratégia de medição no aprendizado ou memória de informações, auxiliar compreensão ou apreciação musical, promover a associação livre ou por meios verbais ou não-verbais.
- **Imitação Musical:** O terapeuta utiliza o eco-ritmico, por meio do mesmo instrumento ou outro similar, demonstrando que compreendeu o paciente. Segundo Bruscia (2000), o musicoterapeuta responde imitando o paciente, porém, em outra tonalidade ou modificando alguns parâmetros (escala musical, timbre ou ritmo) da produção sonora.

Os procedimentos musicoterapêuticos para a reabilitação de um indivíduo, devem estar alinhados aos objetivos gerais de reabilitação propostos por médicos e terapeutas. O musicoterapeuta deve avaliar o paciente e direcionar o atendimento em harmonia com

toda a equipe interdisciplinar e estabelecer objetivos práticos que possibilitem um ganho funcional a curto e médio prazos (NASCIMENTO, 2006).

Os musicoterapeutas possuem acesso a um prontuário completo com avaliação de médicos, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais, psicólogos, psicopedagogos, fonoaudiólogos, nutricionistas, odontólogos, enfermeiros e assistentes sociais. Após avaliação inicial do paciente, a discussão do caso é feita regularmente. A troca de informações entre os profissionais envolvidos possibilita uma melhora significativa no quadro final dos pacientes (NASCIMENTO, 2006).

Antes de iniciar o tratamento, é realizada uma entrevista com o paciente e/ou cuidador a fim de definir o melhor método musicoterapêutico a ser utilizado. A escolha das músicas segue o padrão da individualidade de cada paciente. Para que se faça uma escolha de repertório musical adequado, é necessário realizar várias etapas: entrevista inicial, coleta do histórico sonoro-musical e avaliações de acordo com as necessidades apresentadas. Após essa coleta e análise de dados, é traçado um plano de atendimento de reabilitação do paciente (NASCIMENTO, 2006).

O musicoterapeuta também pode orientar o paciente e/ou seu cuidador quanto às tarefas que podem ser realizadas em domicílio como forma de atingir os objetivos estabelecidos pela equipe interdisciplinar (CERVELLINI; MIZELL, 2006). Alguns materiais sonoros ou aparelhos para reproduções de vídeo e áudio podem ser utilizados diariamente pelo paciente em seu domicílio.

2.2.5 Instrumentos Musicais Adaptados

De acordo com Lina (2009), a adaptação é um ramo da tecnologia assistiva que define como a modificação da tarefa, método e meio ambiente, pode promover a independência e autonomia. O ato de adaptar promove ajuste, acomodação e adequação do indivíduo a uma nova situação.

O “fazer musical” na prática clínica muitas vezes requer a utilização de técnicas compensatórias ou adaptativas, quando dirigidas especificamente às pessoas com deficiência física (LOURO et al, 2005), (LOURO, 2006; 2009), (IKUTA, 2009). Segundo Sampaio (2002):

> “*O Fazer Musical consiste em um agenciamento de velocidades, de forças de atração e repulsão, de polarizações, de gestualidades, de tempos, de intensidades, de massas sonoras, de volumes, de texturas, de formas, de devires [...] Este Fazer Musical possui como resultado a produção de signos musicais que englobam todo e qualquer produto deste ato musical, mesmo aqueles produtos que originalmente não se chamariam propriamente musicais: um movimento, uma palavra, um texto verbal, um desenho*”.

Para o setor de Musicoterapia da AACD foram confeccionadas diversas adaptações nos instrumentos musicais (LOURO et al, 2005), (IKUTA, 2009). Um exemplo é um teclado eletrônico adaptado, denominado de “*Big Keyboard*” (Figura 2.1). O teclado é constituído de madeira leve e alumínio, com teclas ampliadas em 5,5cm em suas dimensões. Assim, ao invés de ser digitado, o paciente utiliza as mãos fechadas em forma de punho para facilitar o processo de atividade física do MMSS.

Figura 2.1 - Teclado eletrônico adaptado (LOURO et al, 2005)

Outro exemplo é um suporte regulável à altura para sustentação do pandeiro (Figura 2.2). Este recurso facilita a utilização do instrumento por pessoas que não possuem um dos braços ou que tenham dificuldades em segurar ou manipular o instrumento.

Figura 2.2 - Suporte regulável para sustentação de pandeiro (LOURO et al, 2005)

Foi confeccionado um suporte para triângulos, metafones e outros instrumentos de percussão (Figura 2.3). Este suporte facilita a utilização de baquetas, mesmo quando o paciente se encontra sentado em banco baixo ou no chão.

Figura 2.3 - Suporte para instrumentos de percussão (LOURO et al, 2005)

Também foram desenvolvidas adaptações de preensão para baquetas, palhetas de violão e tubos de espuma. Estes recursos são utilizados nos casos em que não há a dissociação dos dedos das mãos e/ou quando os pacientes possuem dificuldades em manter a preensão dos objetos. As baquetas adaptadas facilitam o uso dos instrumentos de percussão bem como o piano e teclado (Figura 2.4) Os tubos de espuma servem para facilitar a preensão e o manuseio e, podem ser adaptados a baquetas e a outros instrumentos musicais como o chocalho.

Figura 2.4 - Baquetas adaptadas (LOURO et al, 2005)

Há ainda adaptação de baquetas de bateria para pacientes com malformação congênita de MMSS ou pacientes que perderam um dos membros devido a um acidente.

Além das adaptações para os instrumentos musicais, existem no comércio, *softwares* específicos que possibilitam o acesso ao computador através de comandos simples, adaptações no teclado ou mouse, associados a programas musicais, de forma a permitir a escrita musical ou a programação e gravação de arranjos musicais.

Segundo Louro et al (2008), havendo múltiplas possibilidades de adaptações, haverá múltiplas possibilidades de se realizar o “fazer musical”, o que certamente favorece às pessoas com deficiência motora e que desejam estar em contato com a música. Mesmo assim, ainda existem casos em que mesmo estas adaptações não são suficientes para a inserção no universo musical. É o caso de indivíduos com doenças neuromusculares, em que é fundamental que os terapeutas trabalhem com perdas funcionais e economia física energética. Nestes casos, algumas atividades musicais não são recomendadas,

pois podem favorecer a fadiga e o desequilíbrio muscular devido ao excesso de esforço físico e repetitivo que os instrumentos musicais exigem do indivíduo.

No caso de indivíduos com doenças degenerativas dos músculos, como é o caso das distrofias musculares, por exemplo, é necessário descobrir maneiras de diminuir a sobrecarga na musculatura, visando evitar iatrogenia[6] (ZANOTELLI et al, 2007), (ZANOTELLI, 2009). Com a degeneração progressiva dos músculos, conforme se observa na clínica, estes indivíduos podem apresentar dificuldades de interação com instrumentos musicais de percussão como pandeiros, tumbas, etc. Há ainda a dificuldade de se manusear baquetas para interagir com caixas, pratos e outros (LOURO et al, 2005), (LOURO, 2009). Alguns aspectos característicos da evolução da doença como deformidades de tronco, comprometimento cardíaco (que afeta 50% a 80% dos casos da distrofia muscular de Duchenne, sendo a segunda causa mais frequente de morte) e comprometimento respiratório crônico (55% a 90% dos casos morrem de insuficiência respiratória entre 16 e 19 anos e, o restante, raramente sobrevive após 25 anos), bem como alternativas terapêuticas estabelecidas para cada paciente devem ser considerados e registrados. Apesar de um prognóstico duvidoso a equipe de reabilitação deve estimular a participação na vida cotidiana, como formação escolar, e vida laboral (ZANOTELLI et al, 2009).

2.2.6 Musicoterapia na Reabilitação

Na literatura é possível encontrar comprovações científicas sobre os benefícios da música no tratamento de diversas doenças (PACCHETTI et al., 2000), no alívio de dores crônicas (SIEDLIECKI; GOOD, 2006), (FRANCO; RODRIGUES, 2009) e na recuperação pós-cirúrgica (HANSER; THOMPSON, 1994).

[6] Iatrogenia refere-se a um estado de doença (ou complicações), causada por ou resultante do tratamento médico. Em Farmacologia, este termo se refere a doenças ou alterações patológicas, criadas por efeitos colaterais dos medicamentos. É de se observar que condições iatrogênicas não resultam, necessariamente, de erros médicos, tais como falhas durante a cirurgia ou prescrição de medicamento errado, podem ser causadas por outros motivos (DICIONÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS DE MEDICINA E SAÚDE, 2008).

De acordo com Streeter (2001) e Nascimento (2009), intervenções musicoterapêuticas para reabilitação, com metodologia cuidadosamente escolhida pelo terapeuta, podem aumentar o rendimento dos exercícios físicos regulares em sessões terapêuticas. Exercícios físicos repetitivos podem ser estimulados pela música, em diferentes estilos, ritmos e intensidades, tornando a terapia mais divertida e menos tediosa.

Atividades que requerem a execução de instrumentos musicais, por exemplo, podem melhorar a amplitude do movimento motor (fino ou grosso), por meio de estratégias diversificadas como, por exemplo, (NASCIMENTO, 2006), (NASCIMENTO; ROCKENBACH, 2009):

- posicionando alguns instrumentos musicais de percussão ao redor do paciente, cujos movimentos exigem habilidades musculares específicas de tronco e MMSS (movimento motor grosso);
- utilizando instrumentos musicais, como a flauta e o piano, que necessitam de certa precisão de movimento dos dedos das mãos para execução (movimento motor fino);
- executando exercícios musicais ritmados para aumentar o controle da marcha em crianças com disfunções motoras graves;

2.3 Considerações

Este capítulo apresentou a base conceitual na área de Reabilitação e Musicoterapia que fundamentam este trabalho. Nas referências apontadas neste capítulo, podem ser encontradas as mais diferentes informações sobre os avanços da medicina através de intervenção musicoterapêutica, possibilitando dessa forma, índices que comprovam aquisição de saúde e qualidade de vida.

3 SISTEMAS ELETRÔNICOS INTERATIVOS NA REABILITAÇÃO

Este capítulo apresenta os principais conceitos que envolvem a área de Reabilitação Virtual, aprofundando-se na tecnologia de Realidade Aumentada e o estado da arte dos Sistemas Eletrônicos Interativos para Reabilitação. A autora enfatiza os sistemas eletrônicos utilizados para reabilitação de MMSS visto que é o foco desta pesquisa.

Em 1994, Milgram e Kishino descreviam um contínuo de virtualidade que vai de ambientes totalmente reais a ambientes puramente virtuais (Realidade Virtual). No meio, estaria a Realidade Misturada que vai de ambientes misturados mais próximos ao ambiente real (Realidade Aumentada) a ambientes misturados mais próximos ao ambiente virtual (Virtualidade Aumentada).

Os avanços nesta área de pesquisa fizeram com que surgissem novas definições a respeito da Virtualidade Aumentada. Autores como (TORI; KIRNER, 2006), (KIRNER; KIRNER, 2008) afirmam que não é a proximidade entre os extremos (real e virtual) que caracteriza um ambiente virtual como sendo Realidade Aumentada ou Virtualidade Aumentada, mas sim, a forma de interação do usuário neste ambiente. A seguir, estes conceitos são melhor apresentados.

3.1 Realidade Virtual

A Realidade Virtual é 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 (TORI; KIRNER, 2006). A sensação de imersão ocorre quando o usuário é estimulado sensorialmente por meio de dispositivos tecnológicos de visualização, percepção e controle, como por exemplo, capacetes de visualização (*Head Mounted Displays* - HMD), luvas eletrônicas (*DataGloves*) e múltiplas telas de projeção (*Automatic Virtual Environment* - CAVE). A

Tabela 3.1 define e apresenta exemplos de ambientes de Realidade Virtual imersiva e semi-imersiva.

Tabela 3.1. Exemplos de ambientes de Realidade Virtual

REALIDADE VIRTUAL			
REALIDADE VIRTUAL SEMI-IMERSIVA	**REALIDADE VIRTUAL IMERSIVA**		
O usuário utiliza equipamentos como óculos polarizados, monitores de vídeo, teclado, mouse e *joystick*.	O usuário utiliza equipamentos como capacetes de visualização, luvas eletrônicas e super telas de projeção.		
Um monitor de vídeo produz imagens estereoscópicas que podem ser visualizadas através de óculos polarizados (DRETTAKIS, 2004)	O usuário utiliza óculos polarizados com sensores que possibilitam rastrear sua posição e orientação dentro do cenário virtual (CHRISTIE, 2007).	Um HMD, com fone de ouvido, produz imagens e sons 3D estéreo**s**. Luvas eletrônicas fornecem a sensação tátil de força, temperatura e pressão (AZUMA, 2001).	O usuário é inserido em salas do tipo CAVE compostas por múltiplas telas de projeção (CRUZ-NEIRA, 1992).

Em ambientes de Realidade Virtual semi-imersiva o campo de visão do usuário é limitado às dimensões do monitor. Apesar desta limitação, é possível visualizar imagens estereoscópicas por meio de óculos ativos ou polarizados[7] (DRETTAKIS, 2004). Tais

[7] Fornecem a percepção de profundidade das imagens

ambientes não proporcionam imersão total, pois o usuário observa o mundo virtual ao mesmo tempo em que observa o mundo real que circunda este dispositivo de visualização (MORIE, 1994), (SANTOS et al, 2007). Isso impede que o usuário se sinta completamente imerso dentro do ambiente virtual, já que o dispositivo não é capaz de isolá-lo das influências externas que ocorrem ao seu redor.

Em ambientes de Realidade Virtual imersiva são usados dispositivos interativos que proporcionam a imersão em mundos virtuais (MACHADO; CARDOSO, 2006). Os mais comuns são o capacete de visualização (HMD) e a luva eletrônica. O HMD é um dispositivo eletrônico, montado no capacete, usado para projetar dados ou cenas diretamente no campo de visão do utilizador. É formado por dois mini monitores de cristal líquido (*Liquid Crystal Display – LCD*) posicionados em frente aos olhos do usuário e um sensor de movimento que detecta os movimentos da cabeça. Ao vestir o capacete, o usuário é isolado do mundo real, e mergulhado dentro do ambiente virtual, ou seja, se o usuário olhar para cima, por exemplo, espera ver o céu do ambiente virtual, se olhar para baixo espera ver o chão e assim por diante. A luva eletrônica surgiu da necessidade de se manipular os objetos virtuais no ambiente virtual (MACHADO; CARDOSO, 2006). A luva é capaz de responder aos movimentos da mão do usuário e o sistema repete estes movimentos dentro do ambiente virtual. O capacete e a luva possuem dispositivos de rastreamento de posição que determinam sua localização no espaço. Além desses dispositivos, existem outros com uso destinado a navegação, como *joysticks* e mouses-3D.

CAVEs são sistemas de Realidade Virtual de múltiplas projeções, em alta resolução, que envolvem os usuários em mundos sintéticos tridimensionais totalmente simulados por computadores (CRUZ-NEIRA, 1992). Neste tipo de sistema, a interatividade é alta, pois é constituído de múltiplas telas que formam um cubo em que são projetadas imagens estereoscópicas, além de se poder incorporar nestes ambientes o uso de interfaces que estimulam a audição e o tato. O uso de CAVEs é especialmente importante na academia e na indústria em aplicações que impliquem em risco ao usuário, impossibilidade ou custos extremamente elevados de realização real.

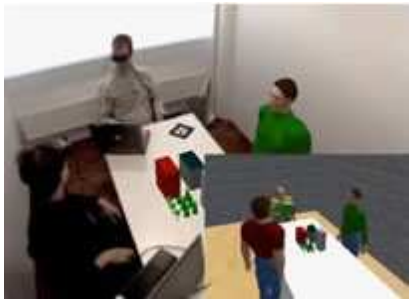
3.2 Realidade Misturada

Diferente da Realidade Virtual que transporta o usuário para dentro do mundo virtual, a Realidade Misturada propicia a incorporação de elementos virtuais no ambiente real (o usuário mantém o sentido de presença no mundo real) ou transporta elementos reais para o ambiente virtual (TORI; KIRNER, 2006), (KIRNER; KIRNER, 2008). De acordo com Kirner e Kirner (2008), *"Realidade Misturada é a sobreposição de objetos virtuais, gerados por computador, com o ambiente físico, mostrada ao usuário, em tempo real, com o apoio de algum dispositivo tecnológico*".

A Realidade Misturada se divide em Realidade Aumentada e Virtualidade Aumentada. De acordo com Kirner e Kirner (2008), Realidade Aumentada é "*a inserção de objetos virtuais no ambiente físico, mostrada ao usuário, em tempo real, com o apoio de algum dispositivo tecnológico, usando a interface do ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos reais e virtuais*". Ainda segundo os autores, Virtualidade Aumentada é "*a inserção de representações de elementos reais no mundo virtual, usando a interface que permite ao usuário interagir com o ambiente virtual*".

A Tabela 3.2 mostra exemplos de ambientes de Realidade Misturada.

Tabela 3.2. Exemplos de ambientes de Realidade Misturada

REALIDADE MISTURADA	
REALIDADE AUMENTADA	**VIRTUALIDADE AUMENTADA**
Elementos virtuais são trazidos para o ambiente real.	Informações reais são transportadas ao ambiente virtual.
Usuários visualizando objetos virtuais através de dispositivos de visualização de ambientes misturados (AZUMA, 2001).	 Usuários em reunião num local remoto. Movimentos do corpo do usuário são capturados e transportados ao seu avatar no ambiente virtual (ACME, 2009).

Neste trabalho, é dada ênfase aos sistemas de Realidade Aumentada, pois se trata da tecnologia escolhida para implementação do sistema musical para reabilitação. Para tanto, na seção seguinte, são apresentados os componentes de *hardware* e *software* necessários para concepção de sistemas de Realidade Aumentada, bem como os tipos de sistemas existentes.

3.3 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada possibilita misturar, em tempo real, o ambiente real do usuário com um ambiente virtual projetado. A Realidade Aumentada é definida como sendo "*a sobreposição de objetos virtuais, gerados por computador, num ambiente real, gerando*

um ambiente misturado que pode ser observado por meio de algum dispositivo tecnológico em tempo real" (KIRNER; KIRNER, 2008).

Segundo Azuma (2001), as principais características de um sistema de Realidade Aumentada são: **a)** interatividade em tempo real; **b)** uso de elementos virtuais tridimensionais; **c)** mistura de elementos virtuais com elementos reais.

A Figura 3.1 mostra dois exemplos de cenas de Realidade Aumentada: uma borboleta e um sanduíche virtuais sobrepostos num ambiente real.

Figura 3.1 - Exemplos de cenas de Realidade Aumentada (FISCHER et al., 2006)

Com relação ao *hardware* para aplicações de Realidade Aumentada, é necessário no mínimo um computador comum equipado com um dispositivo de exibição (monitor de vídeo, tela ou projeção) e um dispositivo de captura de imagem (câmera de vídeo ou *webcam)*. Em relação ao *software* de desenvolvimento de aplicações, um dos mais utilizados é o ARToolKit (KATO; BILLINGHURST, 1999). Trata-se de uma biblioteca para uso livre e de código aberto e, portanto, pode ser alterado conforme a necessidade da aplicação a ser desenvolvida. Outra biblioteca muito utilizada é a FLARToolkit para desenvolvimento de aplicações para Web (FLARTOOLKIT, 2010).

Os dispositivos de entrada de dados convencionais mouse-teclado são normalmente substituídos por marcadores (cartões formados por uma moldura retangular, contendo um símbolo em seu interior). Este marcador é reconhecido por meio do uso de técnicas

de visão computacional: a câmera captura imagens que são processadas e analisadas a fim de reconhecer os símbolos contidos nos marcadores. A partir do reconhecimento, o *software* calcula a posição da câmera e sua orientação em relação ao marcador, de forma a possibilitar a sobreposição de objetos virtuais sobre os mesmos (AZUMA, 1997).

Para obter sensação de realismo em Realidade Aumentada, é necessário alinhar corretamente os objetos virtuais em relação ao ambiente real. Esta técnica é fundamental para obter a ilusão da coexistência entre eles (AZUMA, 1997).

Existem situações em que os marcadores estão visíveis à câmera, mas no momento da renderização[8] do objeto virtual, a cena é montada de forma incoerente, com a imagem real como fundo e o objeto virtual sobreposto a ele. A Figura 3.2 mostra um exemplo de erro de registro. O cubo azul deveria estar atrás da caixa real branca e não ao seu lado.

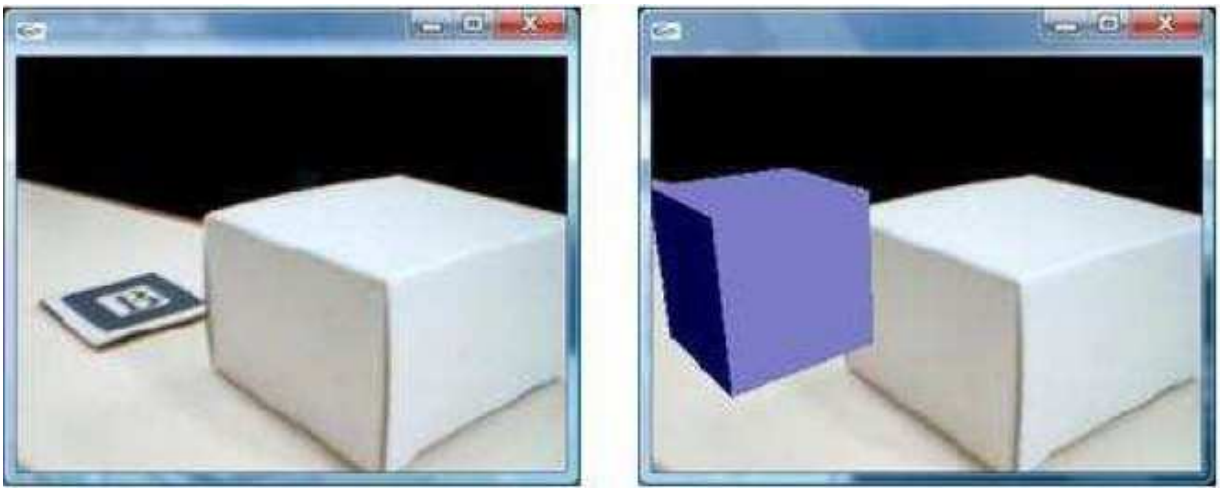


Figura 3.2 - Exemplo de erro de Registro (AZUMA, 1997)

Em Sanches e Sementile (2007), o problema do registro foi resolvido por meio do posicionamento de um marcador no primeiro plano de interesse (no caso, o usuário). Assim, também havia informação de profundidade do objeto real de interesse. Na proposta de Sanches e Sementile, são sobrepostas algumas partes da imagem combinada (virtual + real) que foram armazenadas na memória virtual (*frame buffer*)

[8] Processo pelo qual se pode obter o produto final de um processo de síntese de imagens digitais. Este processo aplica-se essencialmente em programas de modelagem de gráficos em 2D e 3D.

para posterior exibição. As partes do objeto de interesse, que estão mais próximas do observador do que o objeto virtual, são preenchidas com os pixels correspondentes, extraídos do objeto real de interesse ou primeiro plano (Figura 3.3). Na Figura 3.3**a**, tem-se o marcador fixo no fundo. A Figura 3.3**b** mostra um mapeamento de fundo com erro de registro. Já na Figura 3.3**c**, tem-se o mapeamento de fundo e registro correto.

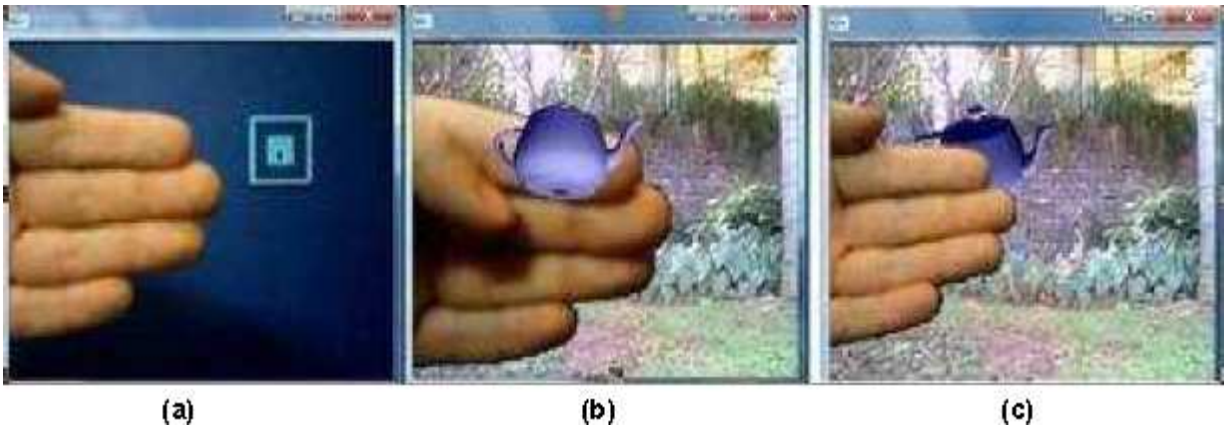


Figura 3.3 - Sobreposição do objeto virtual no cenário real (SANCHES; SEMENTILE, 2007)

3.3.1 Tipos de Sistemas de Realidade Aumentada

Segundo Tori e Kirner (2006), sistemas de Realidade Aumentada podem ser classificados conforme o tipo de dispositivo de visualização utilizado:

- **Sistemas de visão ótica direta:** Utilizam óculos ou capacetes, com lentes que permitam o recebimento direto da imagem real, ao mesmo tempo em que permitam a projeção de imagens virtuais devidamente ajustadas com a cena real. Uma forma comum de conseguir essa característica é usar uma lente inclinada que permita a visão direta e que reflita a projeção de imagens geradas por computador diretamente nos olhos do usuário. Os sistemas de visão ótica direta são apropriados para situações, onde a perda da imagem pode ser perigosa, como é o caso de uma pessoa andando pela rua, dirigindo

um carro ou avião. A Figura 3.4 mostra o diagrama desse tipo de sistema e exemplos de dispositivos.

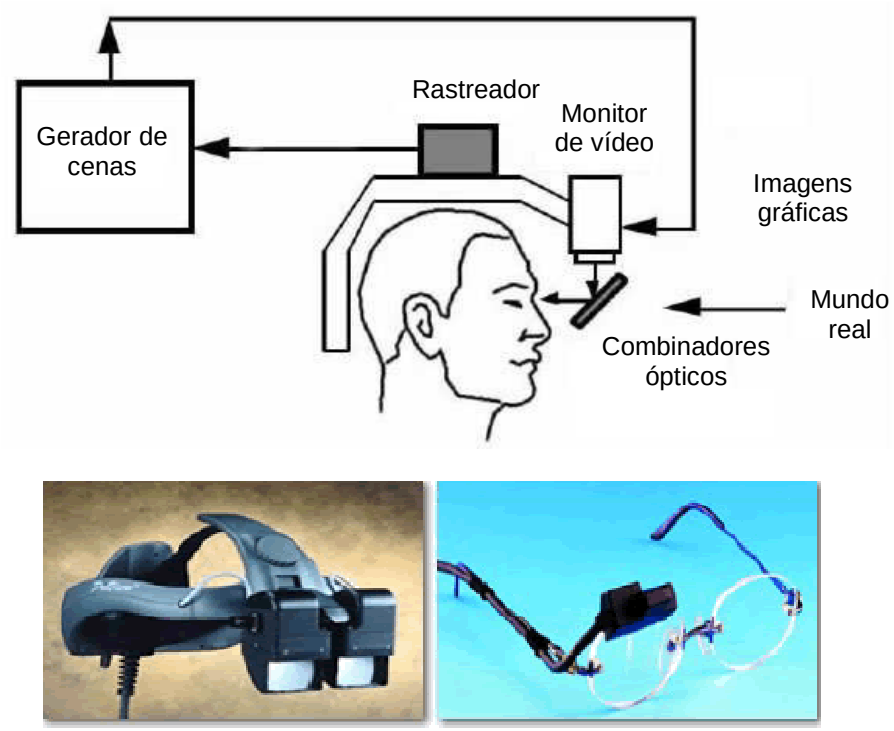


Figura 3.4 - Sistema de visão ótica direta (AZUMA, 1997), (ZORZAL, 2009)

- **Sistemas de visão direta por vídeo:** Utilizam capacetes com microcâmeras de vídeo acopladas. A cena real, capturada pela microcâmera, é misturada com os elementos virtuais gerados por computador e apresentadas diretamente nos olhos do usuário, através de pequenos monitores montados no capacete. Para locais fechados, onde o usuário tem controle da situação, o uso da visão por vídeo é adequada e não oferece perigo, pois em caso de perda da imagem, pode-se retirar o capacete com segurança. A Figura 3.5 mostra o diagrama desse tipo de sistema e um exemplo de um dispositivo.

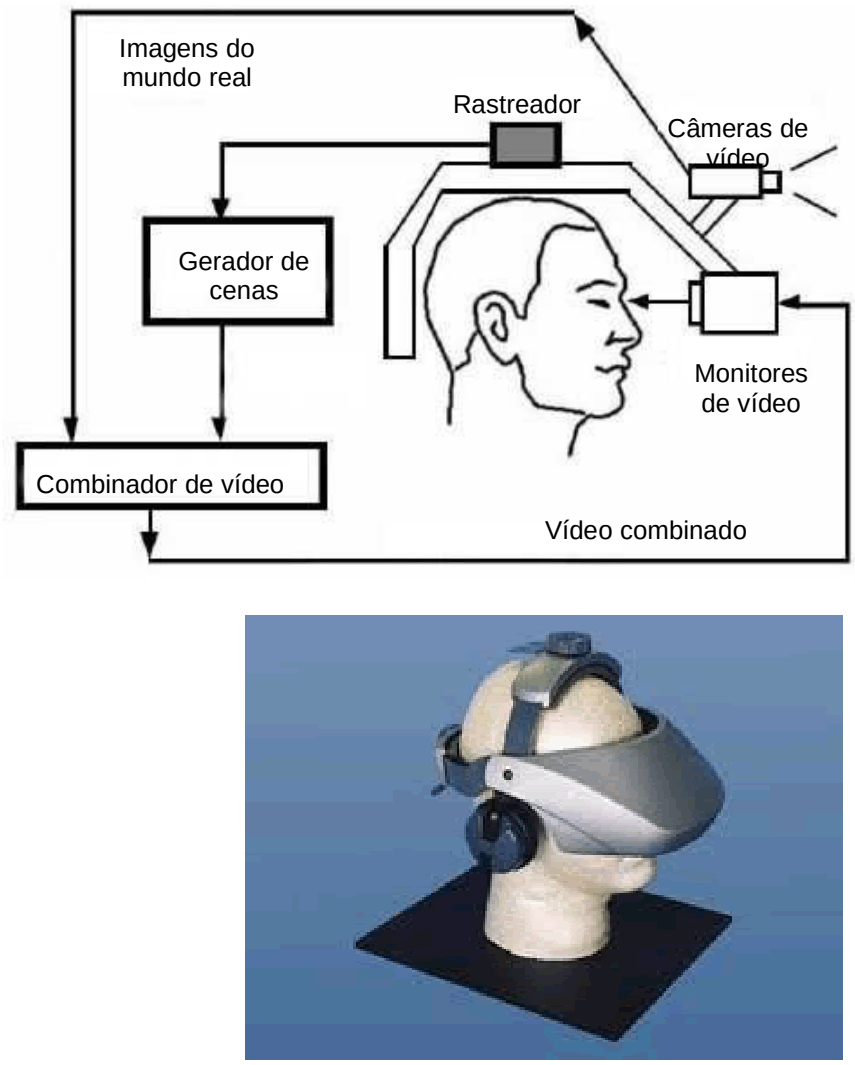


Figura 3.5 - Sistema de visão direta por vídeo (AZUMA, 1997), (ZORZAL, 2009)

- **Sistemas de visão por vídeo baseados em monitor:** Utilizam uma câmera de vídeo para capturar a cena real. Depois de capturada, a cena real é misturada com os objetos virtuais gerados por computador e é apresentada no monitor. O ponto de vista do usuário normalmente é fixo e depende do posicionamento da câmera de vídeo. A Figura 3.6 mostra o diagrama e os equipamentos utilizados neste tipo de sistema.

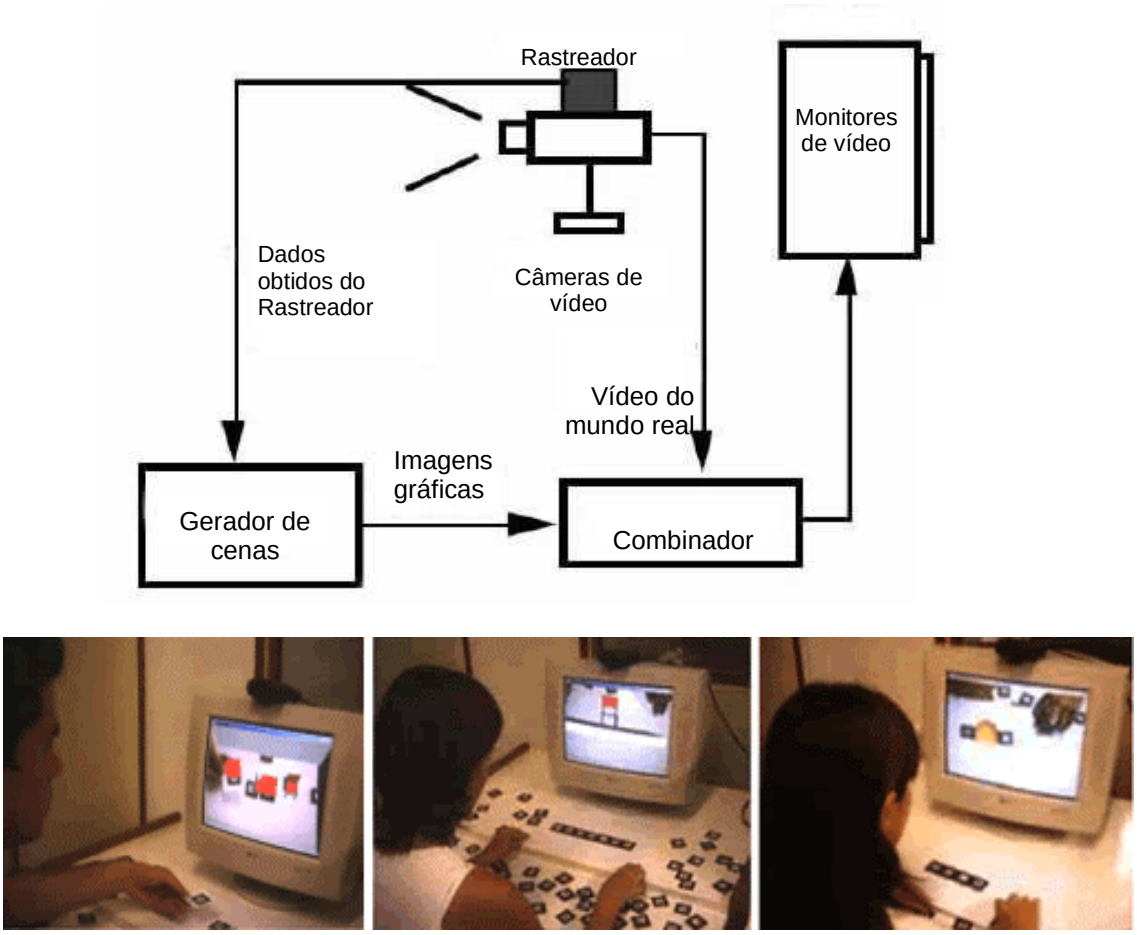


Figura 3.6 - Sistema de visão por vídeo baseado em monitor (AZUMA, 1997), (ZORZAL, 2009).

- **Sistemas de Visão Ótica por Projeção:** Utilizam superfícies do ambiente real, onde são projetadas imagens dos objetos virtuais. O conjunto é apresentado ao usuário que o visualiza, sem a necessidade de nenhum equipamento auxiliar. Este sistema, embora interessante, é muito restrito às condições do espaço real, em função da necessidade de superfícies de projeção. A Figura 3.7 apresenta um ambiente que utiliza o sistema de visão ótica por projeção.

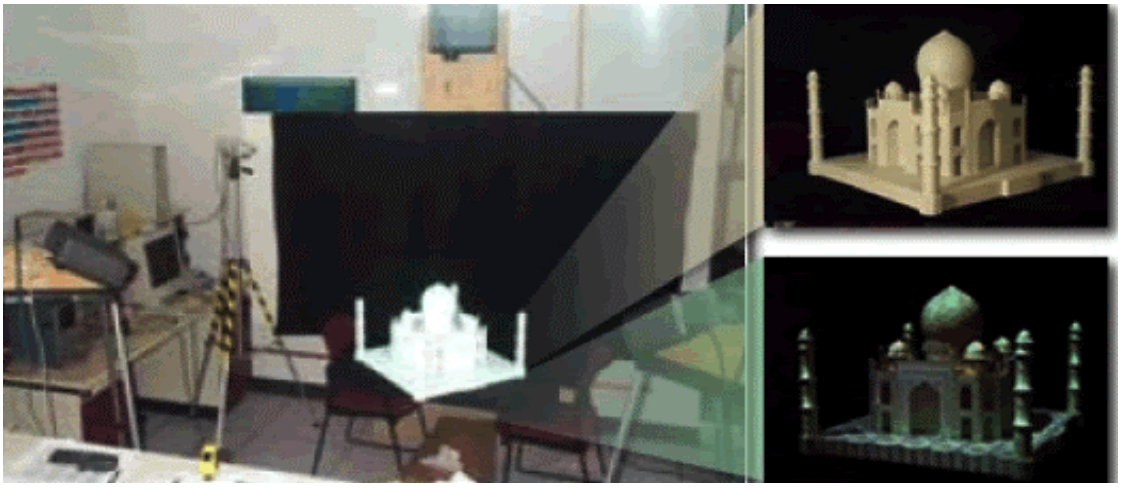


Figura 3.7 - Sistema de visão ótica por projeção (RASKAR et al., 2001), (ZORZAL, 2009).

3.3.2 Técnicas de Interação em Sistemas de Realidade Aumentada

Uma das características mais importantes da Realidade Aumentada é a forma de interação. A interação não se dá em locais específicos, como acontece em computadores convencionais com monitores, mouse e teclado. Em ambientes de Realidade Aumentada, a interação pode ocorrer em todo o ambiente real do usuário, por onde existirem objetos virtuais sobrepostos no espaço. Por exemplo, um usuário pode utilizar óculos translúcidos, e por meio destes, visualizar e interagir em tempo real com objetos virtuais projetados em seu mundo real.

A interação é definida como a capacidade de resposta do sistema às diversas entradas do usuário, modificando (de forma rápida) o mundo virtual que é apresentado (KIRNER; TORI, 2006). Isso acontece, por exemplo, quando o usuário solicita a mudança de posição de certo objeto e, instantaneamente, o item é colocado no local desejado. De forma geral, a interação em ambientes virtuais é caracterizada por um ou mais dispositivos de entrada que capturam os movimentos do usuário, uma função de transferência que mapeia esses movimentos e um dispositivo de saída que mostra os efeitos gerados.

Broll et al (2005) faz uma proposta de classificação das técnicas de interação que podem ser usadas em ambientes de Realidade Aumentada:

- **Interação espacial (*spatial interaction*):** é baseada na manipulação das propriedades espaciais dos objetos físicos (ISHII; ULLMER, 1997), (LEITENER, 2007). Esta interação, normalmente, é realizada por meio de interfaces tangíveis, onde é permitido ao usuário interagir com os objetos virtuais por meio da manipulação natural dos objetos físicos (ações tangíveis).
- **Interação baseada em comandos (*command based interaction*):** consiste habitualmente na entrada de dados multimodais como gestos espontâneos, simbólicos e/ou comandos de voz do usuário. As informações obtidas a partir do rastreamento (posição das mãos, por exemplo) são utilizadas para a interpretação dos comandos. Geralmente, os sistemas que fazem uso desta técnica utilizam algumas restrições do ambiente (como por exemplo, o fundo da cena e a cor dos objetos a reconhecer), das condições de iluminação e das características das câmeras que constroem os ambientes controlados, de maneira a facilitar as fases inicias do reconhecimento em benefício da operabilidade do sistema (TRUYENQUE, 2005).
- **Interação por controle virtual (*virtual control interaction*):** baseia-se na manipulação de símbolos gráficos tridimensionais (*widgets 3D*), representando uma função que permite a interação entre o usuário e o computador.
- **Interação por controle físico (*physical control interaction*):** é realizada por meio de ferramentas físicas ou painéis de controle que permitem acessar não só o ambiente físico, como também os objetos virtuais (BROLL et al, 2005).

3.4 Reabilitação Apoiada por Sistemas Eletrônicos Interativos

O termo “Reabilitação Virtual” é entendido como uma forma de intervenção clínica (física ou cognitiva) que se baseia no uso de Sistemas Eletrônicos Interativos. A seguir, são apresentadas as principais vantagens da Reabilitação Virtual, as principais abordagens terapêuticas, exemplos de sistemas para telereabilitação e os principais desafios na área.

3.4.1 Vantagens

De acordo com Burdea (2003), a Reabilitação Virtual possui uma série de possibilidades que podem potencializar vantagens, quando combinadas ao tratamento convencional e torná-lo mais eficaz:

- realizar exercícios repetitivos mais atrativos com representações visuais (animações 3D), auditivas (sons e música) e sinestésicas (tato, cheiro e paladar) que motivam o paciente;
- obter medidas objetivas dos exercícios físicos (velocidade dos membros, amplitude de movimento, taxas de acerto e/ou erro, pontuações em jogos, entre outros);
- armazenar os dados coletados no computador (onde estará sendo executada a simulação) e disponibilizá-los na Internet para acesso remoto pelo terapeuta;
- programar tarefas de forma a aumentar ou diminuir a complexidade das tarefas;
- individualizar mais facilmente o tratamento de acordo com as habilidades físicas específicas de cada paciente;

- realizar atividades domiciliares não-assistidas (telereabilitação), diminuindo a dependência pelo apoio presencial do terapeuta, entre outros.

De acordo com Burdea (2003), a Reabilitação Virtual pode ser aplicada no tratamento de indivíduos com inúmeras desordens físicas e/ou cognitivas:

- **Musculoesquelética:** direcionada para a recuperação de pacientes que sofreram lesões nos ossos, músculos ou tecidos.
- **Pós-AVC:** direcionada para a recuperação de doenças incapacitantes causada por Acidente Vascular Cerebral (AVC) que pode resultar na paralisia da metade do corpo.
- **Paralisia Cerebral:** direcionada para a recuperação funcional de crianças com desordens motoras causadas por um evento neurológico que pode provocar movimentos involuntários, deformidades, distúrbios do equilíbrio e da marcha. Nestes casos, podem ocorrer também alterações mentais, visuais, auditivas, de linguagem e/ou comportamento com movimentos ativos intermitentes.
- **Doença de Parkinson:** direcionada para a prevenção de complicações ligadas à dificuldade de movimento própria da doença como tremores, rigidez muscular, diminuição da velocidade dos movimentos e distúrbios do equilíbrio e da marcha.
- **Depressão:** direcionada para a redução dos sintomas de ansiedade e depressão associados ao stress pós-traumático.
- **Desordens Sensoriais e Perceptuais:** direcionada para o aumento da atenção e concentração, redução da negligência espacial e visual, melhora do controle da fala e de movimentos, redução do descontrole emocional e de comportamento, alívio para distração da dor em crianças queimadas, entre outros.

- **Fobias:** direcionada para o tratamento do medo como, por exemplo, de insetos, altura, vôo, entre outros.

3.4.2 Abordagens Terapêuticas

Segundo Burdea (2003), a Reabilitação Virtual pode ser utilizada em diferentes abordagens terapêuticas: terapia por exemplos; terapia por jogos e terapia por exposições. Para Krebs (1998), a abordagem pode se basear na robótica "terapia por robôs". Além destas, a autora acrescenta uma outra abordagem, que denominou de "terapia por música". Estas abordagens são descritas a seguir.

a) Terapia por exemplos

Nesta abordagem, o terapeuta cria "virtualmente" os movimentos que o paciente deve reproduzir. Neste caso, sistema deve ser projeto de forma a possibilitar que o paciente visualize o movimento criado e reproduza-o utilizando algum dispositivo interativo. Além disso, o sistema deve fornecer, ao terapeuta, informações sobre as tarefas realizadas.

Holden e Dyar (2002) desenvolveram um sistema de Realidade Virtual para reabilitação de MMSS e o testaram com um grupo formado por oito pacientes crônicos pós-AVC. O sistema possibilita que o terapeuta gere uma trajetória virtual de alcance frontal do braço esquerdo e direito (Figura 3.8). O movimento é capturado por meio de uma luva eletrônica e posteriormente é mapeado para um braço virtual. Esse braço é programado pelo terapeuta para reproduzir a trajetória armazenada. O terapeuta pode criar um desafio para cada paciente, por meio da animação do braço virtual (trajetória, número de repetições e velocidade do movimento). Os dispositivos de visualização suportados pelo sistema são monitores de vídeo e capacetes. Os autores fizeram um piloto com dois grupos de pesquisa: um grupo controle utilizou o sistema virtual, durante quatro semanas, e outro grupo intervenção utilizou apenas o

tratamento convencional de reabilitação. Os resultados mostraram que o grupo controle obteve resultados mais significativos que, segundo os autores, se deve à motivação dos pacientes que utilizaram a tecnologia.

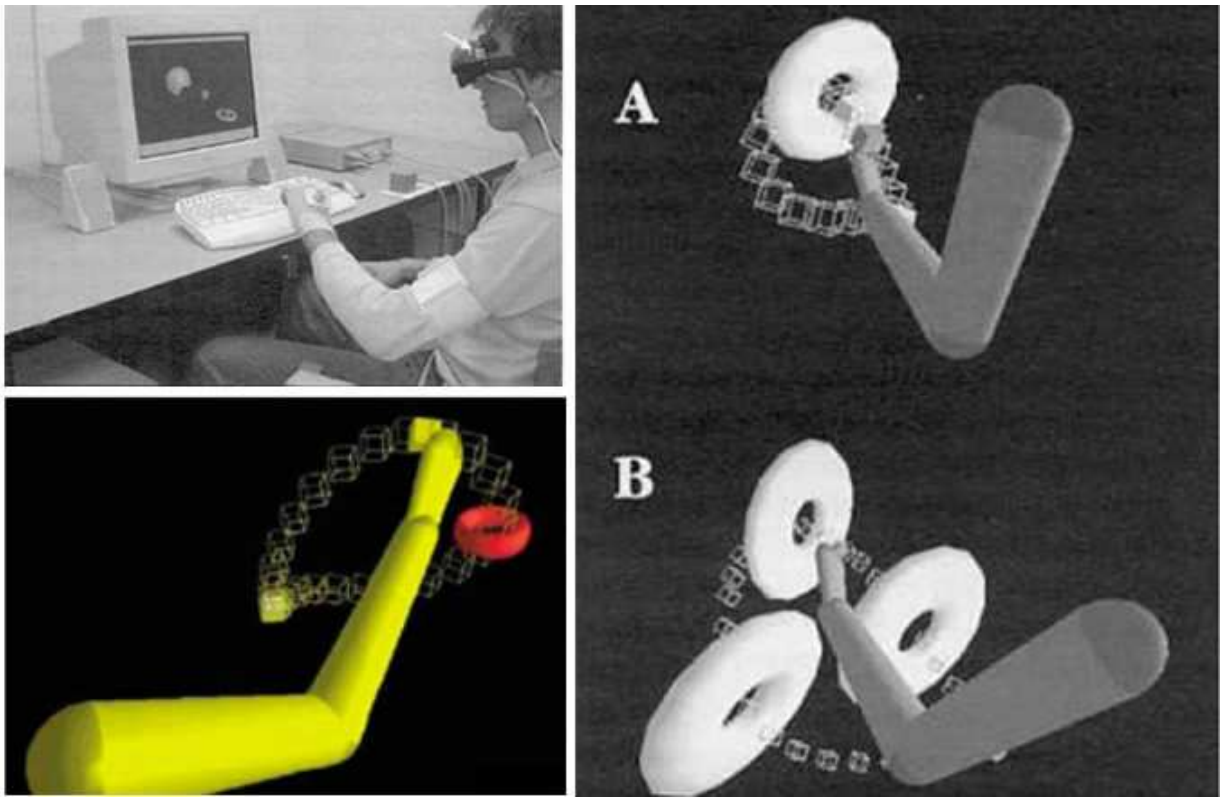


Figura 3.8 - Sistema de Realidade Virtual para reabilitação de MMSS (HOLDEN; DYAR, 2002)

No Brasil, um estudo similar foi realizado por Assis e Lopes (2008) com um sistema de Realidade Aumentada, denominado NeuroR, para reabilitação de MMSS de pacientes hemiplégicos com danos neurológicos, vítimas de AVC. Nas intervenções propostas, o fisioterapeuta estimula a prática mental[9] do paciente para que este realize a tarefa solicitada no ambiente de Realidade Aumentada. Neste ambiente, o paciente pode visualizar a si mesmo e o cenário real ao seu redor, como em um espelho, na tela do computador. Entretanto, o braço plégico é substituído por um

[9] A prática mental é definida como a repetição de um movimento imaginado, realizada diversas vezes com a intenção de promover aprendizagem ou aperfeiçoamento de uma habilidade motora, visto que a imaginação de um movimento corresponde a um estado dinâmico durante a representação de uma ação específica reativando internamente a memória de trabalho na ausência de qualquer movimento (PACHECO et al., 2007).

braço virtual posicionado sobre o braço real que é removido da imagem. A tecnologia de Realidade Aumentada foi escolhida por permitir criar uma representação contínua do braço virtual no paciente, requisito este levantado junto a especialistas em medicina física. A Figura 3.9 mostra imagens de um paciente utilizando o sistema NeuroR com um braço virtual sobreposto ao braço real. Os pacientes receberam quatro intervenções de trinta minutos, duas vezes por semana, durante duas semanas. O terapeuta orientava o paciente ao relaxamento e em seguida o orientava para prática mental com o membro afetado (solicitava que imaginasse um movimento com o braço afetado). O fisioterapeuta aplicou cinco repetições do exercício no braço comprometido e os pacientes tentavam executar fisicamente os mesmos exercícios sem apoio do fisioterapeuta. Observou-se que todos os quatro pacientes envolvidos no experimento se esforçaram para executar o mesmo movimento do braço 3D visualizado na tela do computador, o que pode sugerir uma associação do braço virtual com o próprio braço. Todos os quatro pacientes tiveram um aumento da pontuação total na escala *Fugl-Meyer*[10].

Figura 3.9 - Sistema de Realidade Aumentada para reabilitação de MMSS (ASSIS; LOPES, 2008)

[10] Método de avaliação que oferece condições de pontuar atividades funcionais que necessitam da participação dos membros superiores e que são consideradas subjetivas.

b) Terapia por Jogos

Nesta abordagem, o terapeuta utiliza jogos digitais para estimular a determinação do paciente durante a terapia. Na fisioterapia tradicional, os pacientes realizam movimentos repetitivos e monótonos com pesos e aparelhos especiais. Os jogos não substituem essas técnicas, mas, fazem com que os exercícios fiquem mais divertidos.

Vários estudos mostram os efeitos positivos deste método como abordagem em Reabilitação Virtual (BOIAN et al, 2002), (HUBER et al, 2010), (GOLOMB et al, 2010). Neste caso, o objetivo não é apenas acompanhar e avaliar o desempenho de um paciente durante um processo de reabilitação, mas também para tornar a experiência mais interessante, divertida, desafiadora e motivadora. A estratégia visa incentivar os pacientes a realizar uma determinada ação funcional específica, enquanto se divertem. Isso pode tornar os pacientes cada vez mais curiosos e entretidos, durante a terapia, podendo inclusive, levar a uma recuperação mais rápida.

A Figura 3.10 mostra um exemplo de um jogo utilizado por Burdea (2003) em sua pesquisa sobre os benefícios dos jogos para reabilitação. Com o uso de um *joystick*, um paciente (jogador) assume papel de piloto do avião tendo como objetivo guiá-lo de acordo com uma trajetória pré-determinada pelo jogo.

Figura 3.10 - Jogo para reabilitação de MMSS (BOIAN et al, 2002)

O videogame da *Nintendo Wii* vem ganhando notoriedade na comunidade científica engajada nos estudos sobre jogos e reabilitação (BURDEA et al, 2008). O que diferencia o console da *Nintendo Wii* dos demais videogames é um controle remoto sem fio, denominado *Wii Remote* (BURDEA, 2008). O *Wii Remote*, também conhecido como *Wiimote*, é um controle remoto conectado ao console do videogame por comunicação via *Bluetooth*, ou seja, sem fio. Possuí três acelerômetros responsáveis por interpretar os movimentos nos três eixos x, y e z. (Figura 3.11). O controle possui um sensor infravermelho em sua ponta. Este sensor é capaz de capturar e rastrear fontes de radiação infravermelha. Ao movimentar o controle, os movimentos do jogador são captados e transmitidos por uma barra de sensores (posicionada sobre a TV). Ao apontar o controle para a tela da TV, a barra de sensores pode triangular e inferir sua posição e alinhamento, possibilitando desenhar um cursor na tela. Funciona como uma espécie de "mouse aéreo". Além disso, o *Wii Remote* possui um sistema de vibração e um pequeno alto-falante capaz de emitir sons de uma maneira mais simples e mais próximos ao jogador.

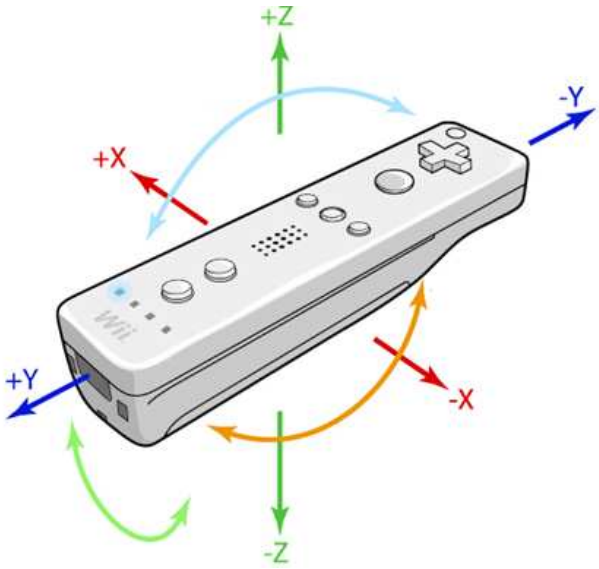


Figura 3.11 - Controle *Wii Remote* (BURDEA, 2008)

Dessa forma, os jogadores não mais necessitam permanecer sentados em frente aos computadores ou consoles de videogames limitados por um *joystick*. Estes jogos possibilitam que jogadores se desloquem e interajam de diferentes formas no ambiente real, por meio de diferentes dispositivos e tecnologias de comunicação sem fio.

O videogame *Wii* vem sendo incorporado ao arsenal de recursos de reabilitação oferecidos pelos principais centros médicos americanos e europeus (BURDEA, 2008), (CONEY, 2008), (DEUTSCH et al., 2008), (SCHIAVINATO et al, 2010). Segundo Burdea (2008), a justificativa para a escolha é que o *Wii*, manuseado por meio de controle sem fio, exige que seus jogadores executem movimentos semelhantes aos praticados nas sessões de fisioterapia. Esses movimentos são feitos durante os jogos que simulam atividades físicas e esporte. O esforço para executar bem os movimentos provoca impactos positivos no organismo. Há o fortalecimento da musculatura, maior facilidade para recuperar movimentos, estímulo da atividade cerebral e aumento da capacidade de concentração e de equilíbrio.

Ainda, de acordo com Burdea (2008), essa nova tecnologia também possui outras características importantes para a reabilitação. Uma delas é sua capacidade de melhorar a adesão dos pacientes ao tratamento. Normalmente, as sessões de

fisioterapia são consideradas repetitivas e até mesmo dolorosas. Com o jogo, o cenário é outro. Na brincadeira, os pacientes se esquecem que estão em tratamento. Os pacientes conseguem mudar o foco e a atenção da terapia. Isso os ajuda a se distrair do tédio causado pelos movimentos repetitivos que envolvem a reabilitação.

Um dos jogos da plataforma Wii mais usados nos hospitais de todo o mundo é o Wii Fit. Estes jogos são compostos por exercícios físicos orientados por um treinador virtual. O jogador permanece numa pequena plataforma e dirige seu personagem virtual com movimentos do corpo. Entre os benefícios advindos dos exercícios com o Wii Fit, destacam-se (CONEY, 2008), (SCHIAVINATO, 2010), (ROHENKOHL et al, 2011):

- **Equilíbrio:** na Yoga do *Wii Fit,* o paciente permanece em pé numa plataforma enquanto tenta manter seu centro de gravidade estável. Prestar atenção no movimento é o primeiro passo para melhorar o senso de equilíbrio de quem sofre de doença de Parkinson, por exemplo.
- **Alívio da dor:** a motivação causada por jogos como o Boxe Virtual, incentiva à produção de serotonina, neurotransmissor responsável pela sensação de bem-estar, que, em grande quantidade, pode reduzir a dor em até 30%.
- **Capacidade cardíaca:** jogos como o tênis virtual podem apoiar exercícios físicos convencionais e ajudar a melhorar o sistema cardiovascular de pacientes vítimas de derrame cerebral.
- **Capacidade respiratória:** sincronizar a respiração com as tacadas do jogo de beisebol na tela da TV pode melhorar as condições de pacientes com insuficiência pulmonar.
- **Coordenação motora:** um jogo de simulação de esqui, que exige um constante deslocamento do peso do corpo de uma perna para outra, pode ajudar a reeducar os músculos de quem sofreu um derrame cerebral.

No Brasil, um estudo realizado por Schiavinato et al. (2010), demonstra a influência do sistema de jogos *Wii Fit*, no equilíbrio de paciente com disfunção cerebelar e seus efeitos em médio prazo. Para o estudo, foi selecionado um indivíduo com diagnóstico médico de ataxia cerebelar[11], submetido a um protocolo de tratamento com a utilização do *Wii Fit*, atribuindo a este, dois jogos de equilíbrio que exigiram deslocamentos laterais. O protocolo de avaliação utilizado foi a escala de equilíbrio de Berg que tem como função avaliar a habilidade do paciente, mediante a independência ou dependência na execução de itens relacionados às atividades de vida diárias. No decorrer da terapia, o paciente relatou melhora em atividades da vida diária, como pendurar roupa, caminhar e descer escadas. Outros experimentos no Brasil estão sendo realizados por Rohenkohl (2011).

A plataforma *Wii*, inovou a forma de entretenimento que dispensa os controles de jogos cheios de botões e comandos. Recentemente, outros consoles de vídeo games surgiram para concorrer com a plataforma *Wii*. É o caso do *Xbox 360* da Microsoft (Kinect) e o *PlayStation 3* (PS3) da Sony (Move).

O sistema *Move do PS3* basicamente utiliza o controle em forma de varinha do *Wii*, mas é pouco mais preciso. Tal como no *Wii*, o jogador move o controlador do Move para jogar ou evocar alguma ação na tela. A diferença é que os gráficos do *Wii*, embora atraentes, são de baixa resolução e pobres em detalhes.

Já, o *Kinect,* utiliza sensores infravermelhos (câmeras) capazes de permitir aos jogadores interagir com os jogos eletrônicos sem a necessidade de ter em mãos um controle/*joystick*, inovando no campo da jogabilidade, já bastante destacado pelas alterações trazidas pelos consoles *Wii* e *PS3*. O *Kinect* utiliza duas câmeras, uma RGB, para reconhecer o rosto e capturar os vídeos, e outra infravermelha, para reconhecer movimento e profundidade. O olho não enxerga a luz infravermelha. Quando se combina uma câmera infravermelha com um emissor infravermelho (que faz parte do *Kinect*), o ambiente fica inundado com um espectro de luz invisível que é

[11] As degenerações cerebelares são as mais freqüentes no que se diz respeito ao déficit de equilíbrio. As lesões cerebelares possuem sintomas clássicos, como a ataxia, hipotonia muscular, disartria e tremor ao movimento (BRUCK et al., 2000).

detectado mesmo no escuro. O *Kinect* também possui um sistema de processamento interno para lidar com a quantidade não especificada de trabalho em reconhecer imagem (visão computacional) e voz de forma inteligente. O sistema divide o corpo humano em 48 pontos, identificados em tempo real, e reconhece o corpo todo no espaço Z, ou seja, possui noção de profundidade. Em um mapa de calor (*heatmap*) que mensura profundidade, as mãos parecem mais quentes que os ombros, pois, permanecem mais próximas ao aparelho.

Pesquisadores da Universidade de Ulster localizada na Irlanda do Norte utilizaram os sensores disponíveis no *Kinect* para desenvolver jogos para reabilitação de MMSS e os testaram em indivíduos com AVC (BURKE et al, 2010a). Foram desenvolvidos quatro tipos de jogos no estilo `arcade`, ou seja, curtos e fáceis de aprender. Dois jogos exigem apenas a movimentação de uma das mãos, enquanto os outros dois jogos exigem ambas as mãos sendo um deles de maneira sincronizada. O paciente/jogador utiliza uma luva em cada mão, sendo ambas diferenciadas pela cor. As luvas coloridas permitem que o *software* possa rastrear os movimentos das mãos. A imagem do paciente/jogador aparece em segundo plano na tela do computador/TV, ou seja, por trás dos gráficos existentes nos jogos (Figura 3.12).

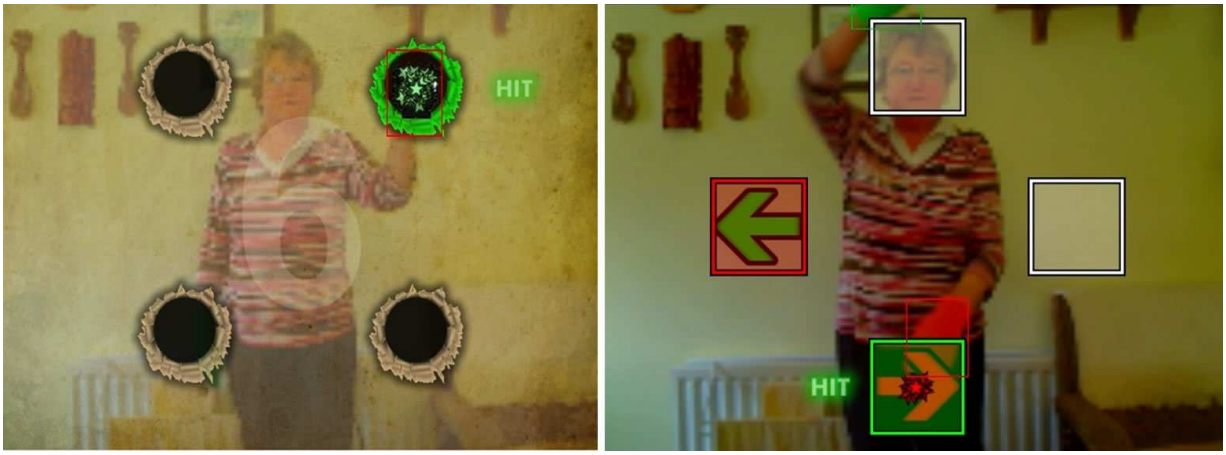


Figura 3.12 - Telas do Jogo *Kinect* em uso em sessões para reabilitação de MMSS (BURKE et al, 2010a)

Num dos jogos, o “*Burble Trouble*”, o paciente/jogador deve estourar bolhas virtuais que aparecem na tela em posições aleatórias dentro do seu raio de alcance. Este raio é fornecido por meio da configuração inicial do jogo (Figura 3.13).

Figura 3.13 - Calibração do sistema Kinect (BURKE et al., 2010a)

O jogo “Bubble Trouble” possui duas variações, a primeira é utilizando apenas uma das mãos e outra utilizando ambas as mãos. Na versão que utiliza ambas as mãos, cada bolha é um código de cor representado pela cor de sua respectiva luva. Dessa forma, o paciente/jogador deve utilizar a mão correspondente à cor da bolha para estourá-la (Figura 3.14**a**). O jogo possui um limite de tempo programável e uma quantidade de bolhas que devem ser estouradas dentro deste limite. Os jogos possuem realimentação auditiva como o estalo da bolha estourando, alarme para avisar que uma bolha não foi estourada, além de mensagens textuais indicando quantidade de bolhas estouradas, que ainda faltam estourar, codificação das cores, tempo e pontuação. Os jogos são adaptativos, ou seja, capazes de aumentar ou diminuir o desafio (ritmo, posição e tamanho das bolhas), de acordo com o desempenho do paciente/jogador.

O jogo *“Arrow Attack*” trabalha ambas as mãos de forma sincronizada. Neste caso, o paciente/jogador precisa mover ambas as mãos simultaneamente acompanhando o movimento dos elementos que aparecem na tela (Figura 3.14**b**).

Figura 3.14 - **a)** Jogo "*Bubble Trouble*" e **b)** Jogo "*Arrow Attack*" (BURKE et al., 2010a)

Os mesmos autores estão desenvolvendo jogos com Realidade Aumentada para reabilitação (BURKE et al., 2010b). O objetivo é prover exercícios para treinamento dos movimentos finos tais como: alcançar, agarrar, manipular e liberar objetos. Apesar de já terem publicado alguns resultados, os jogos ainda estão em fase de testes e ainda não foram testados com pacientes neurológicos. Foram feitos quatro jogos: "*Break a Ball*", "*Whack Attack*", "*Target Trails*" e "*Ping Pong*". Inicialmente uma grade é colocada para captar um perfil da superfície da mesa (Figura 3.15**a**). Em seguida, o jogador realiza a calibração do sistema para determinar a capacidade de alcance (Figura 3.15**b**). Essas informações são armazenadas e servem de referência para posicionar os elementos no cenário.

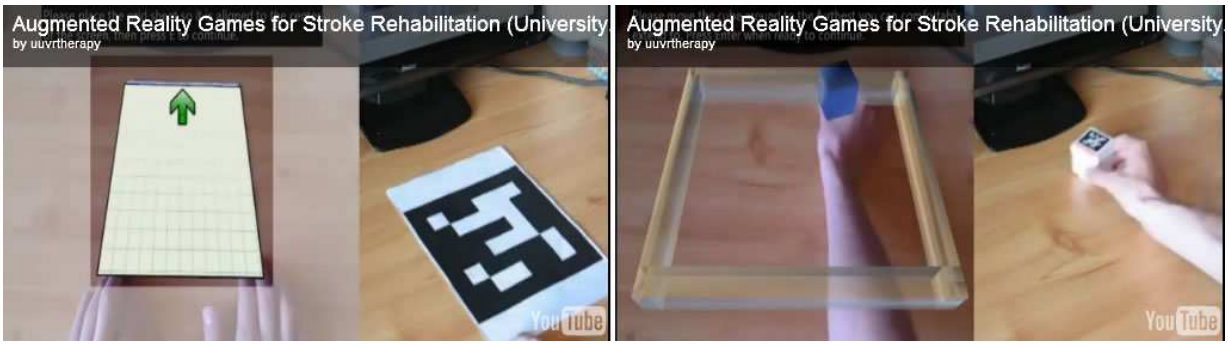


Figura 3.15 - **a)** Grade dos Jogos e **b)** Calibração (BURKE et al., 2010b)

No jogo “*Break a Ball*”, o jogador deve manipular um marcador que representa uma bola branca de forma a quebrar blocos coloridos formados por um conjunto de bolas coloridas (Figura 3.16**a**). No Jogo “*Whack Attack*”, o jogador deve mover o marcador (cubo azul) e posicioná-lo sobre o circulo onde surge um objeto virtual (Figura 3.16**b**).

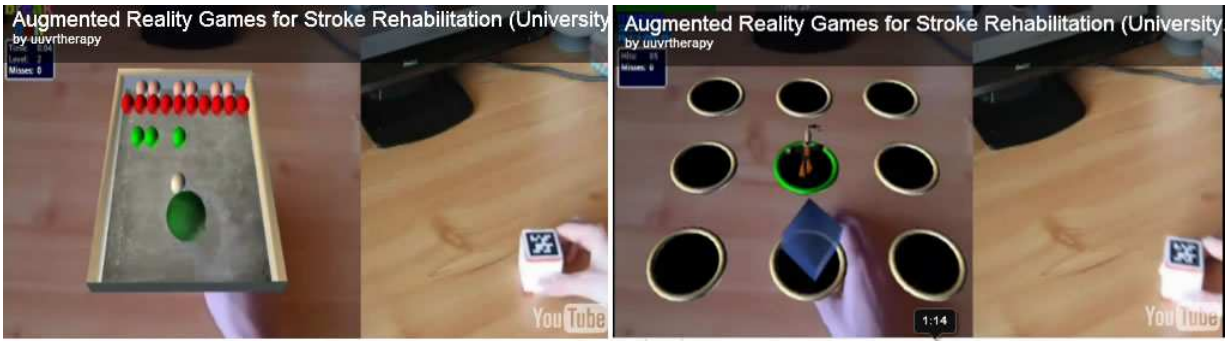


Figura 3.16 - **a)** Jogo “*Break a Ball*” e **b)** Jogo “*Whack Attack*” (BURKE et al., 2010b)

No jogo “*Target Trails*”, o jogador manipula um marcador que representa um avião (Figura 3.17**a**). O objetivo é conduzir o avião numa determinada pista até que ele encontre alguns obstáculos. No jogo “*Ping Pong*”, o jogador necessita utilizar ambas as mãos para manipular os marcadores que controlam a raquete esquerda e direita (Figura 3.17**b**).

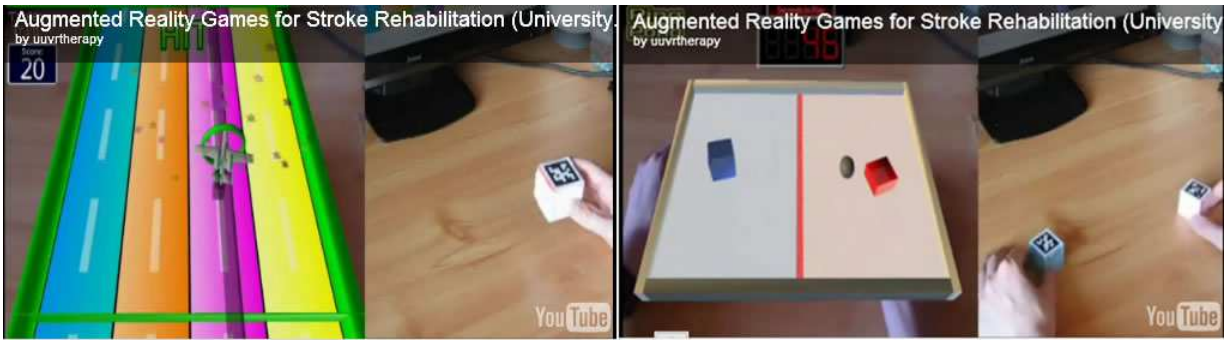


Figura 3.17 - **a)** Jogo “Target Trails” e **b)** Jogo “Ping Pong” (BURKE et al., 2010b)

c) Terapia por exposição

Nesta abordagem, o terapeuta coloca o paciente em ambientes virtuais que simulam seus estímulos temidos. O método tem se tornado cada vez mais comum quando se deseja reduzir o medo, especialmente as fobias.

Várias pesquisas em Reabilitação Virtual mostram resultados eficazes no tratamento de fobias específicas, como medo de dirigir e acrofobia (TAKACS, 2006), aracnofobia (HOFFMAN et al, 2003), katsaridafobia (BOTTELA et al, 2010), entre outros. A Figura 3.18 mostra três imagens de ambientes virtuais para tratamento de fobias: **(a)** acrofobia (medo de altura); **(b)** aracnofobia (medo de aranha); **(c)** katsaridafobia (medo de barata).

Figura 3.18 - Sistemas de Reabilitação Virtual para tratamento de fobias (TAKACS, 2006), (HOFFMAN et al., 2003), (BOTTELA et al., 2010)

d) Terapia por Robôs

Nesta abordagem, o terapeuta utiliza robôs para ajudar o paciente a melhorar ou restaurar funções motoras. Seguindo a premissa de que a repetição contínua de tarefas ajuda os pacientes neurológicos a melhor e recuperar a função, a robótica possibilita a aprendizagem de tarefas específicas com a repetição contínua de movimentos.

Pesquisas desenvolvidas pelo *Newman Laboratory for Biomechanics and Human Rehabilitation* do MIT, sobre robótica em reabilitação física mostraram resultados melhores quando comparados aos resultados obtidos com terapias convencionais

sem a utilização da robótica (KREBS, 1998). O tratamento com o robô, denominado *MANUS* foi feito através da utilização de um braço mecânico, com sensores de força, e teve como objetivo promover a reabilitação física dos MMSS de pacientes com lesões graves, vítimas de acidentes vasculares encefálicos.

No tratamento com o robô *MANUS*, os pacientes eram incumbidos de realizar uma tarefa, como por exemplo, utilizar o braço mecânico para tentar mover um objeto na tela do computador. Outras atividades envolviam jogos digitais com estímulo visual ao paciente, como mostra a Figura 3.19. Quando os sensores de força não registravam qualquer sinal do músculo do braço do paciente, o robô realizava o movimento para o paciente. Após algumas sessões, observou-se que os pacientes se tornaram capazes de realizar o movimento, ou seja, desenvolveram alguma modulação sináptica no cérebro para a execução da ação. Após criar variações do *MANUS*, um novo robô, está sendo testado com pacientes de derrame.

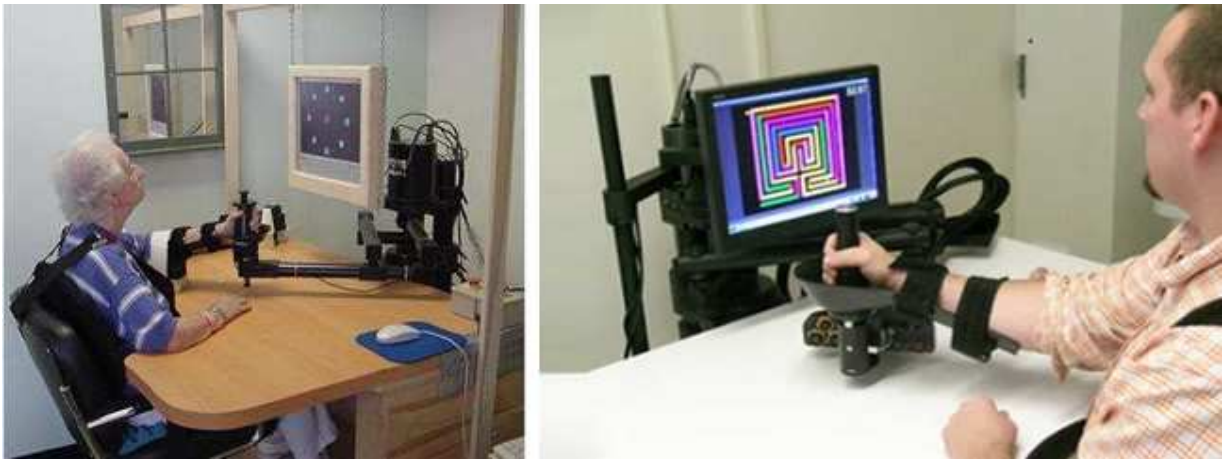


Figura 3.19 - Robô *MANUS* para reabilitação de MMSS (KREBS, 1998)

O robô, denominado *Anklebot* (Figura 3.20), é voltado para a recuperação do controle sobre os tornozelos, fundamental para a prevenção de quedas (WHEELER et al, 2004). "*O tornozelo é fundamental para a marcha e para o equilíbrio*", afirma o engenheiro mecânico Hermano Krebs, um dos coordenadores da pesquisa. O *Anklebot* é basicamente composto por um sapato e um protetor de joelho, que são conectados por dois braços mecânicos móveis, movidos por pequenos motores e

conectados a um computador que analisa o movimento do paciente. Os braços ajudam o tornozelo a ir para baixo e para cima, ao movimentarem-se na mesma direção, ou a girar, ao movimentarem-se em direções diferentes. Segundo Wheeler et al (2004), o robô ajuda o paciente, quando o pé não está no chão e pode dar propulsão à caminhada.

Figura 3.20 - Robô *Anklebot* para reabilitação de membro inferior (WHEELER et al., 2004)

e) Terapia por Música

Nesta abordagem, o terapeuta utiliza *softwares* e equipamentos eletrônicos musicais para possibilitar o "fazer musical" de pessoas com deficiência.

Técnicas de visão computacional, por exemplo, possibilitam capturar e converter gestos corporais dos dedos, mãos e pés, em informações sonoras e gráficas (GORMAN et al, 2007). É o caso do sistema *Music Maker* (GORMAN et al, 2007) desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Boston, nos EUA. O *Music Maker* utiliza uma câmera para capturar os movimentos das mãos ou dos pés do paciente sobre uma superfície e os traduz em gráficos animados misturados a eventos sonoros e musicais. A Figura 3.21 mostra pacientes utilizando o *Music Maker*.

Figura 3.21 - Pacientes utilizando o *Music Maker* (GORMAN et al., 2007)

O *Music Maker* é composto por dois módulos: um módulo de análise de imagem que processa as imagens de vídeo do paciente e, um módulo de interpretação que utiliza a análise das imagens para fornecer o retorno visual e auditivo para o paciente. Os cálculos (comprimento, orientação e velocidade de um membro do corpo) realizados pelo módulo de análise de imagem são controlados pelo tipo de exercício que o terapeuta selecionar para o paciente. Os exercícios normalmente requerem a detecção de objetos de interesse na imagem, ou seja, o paciente deve utilizar uma parte do corpo (pé, mão ou dedo) para obstruir uma imagem na tela do computador. Ao detectar a obstrução de uma imagem, o módulo de interpretação emite um evento sonoro e a imagem pode sofrer uma animação.

O *Músic Maker* oferece quatro exercícios para reabilitação:

Exercício 1 - Executando uma Música:

Ao mover uma parte do corpo sobre a superfície de detecção da câmera, o paciente aciona a reprodução de uma música gravada no sistema. A partir disso, o paciente deve permanecer movendo a parte do corpo de um lado para o outro mantendo um limiar de velocidade, definido previamente pelo terapeuta, para manter a música tocando. Dessa forma, o paciente é desafiado a mover-se de forma constante. Alguns elementos gráficos podem ser acionados na tela do computador para servirem de alvos para o paciente. A distância e a posição entre os alvos na tela do computador definem o movimento a ser feito pelo paciente.

Exercício 2 - Controlando o Ritmo da Música:

Neste exercício, o paciente deve controlar o ritmo da música alterando a velocidade do seu movimento. O paciente pode ser desafiado a realizar movimentos lentos e suaves, que reproduzem músicas com ritmos lentos, e movimentos rápidos e abruptos que reproduzem músicas com ritmos rápidos.

Exercício 3 – Executando Sons de Instrumentos de Percussão:

Diferentes regiões da tela correspondem aos sons de instrumentos musicais de percussão como tambores e pratos. Se, parte do corpo do paciente “tocar” uma determinada região, então, o som correspondente ao instrumento naquela região é executado. O paciente pode utilizar uma das mãos ou ambas as mãos simultaneamente para executar dois ou mais instrumentos ao mesmo tempo. O exercício também pode ser executado com uma música de acompanhamento. Neste caso, o paciente deve acompanhar o ritmo da música com os instrumentos de percussão que aparecem na tela do computador.

Exercício 4 – Controlando a Altura da Música:

Diferentes regiões da tela correspondem às notas musicais em alturas diferentes. O paciente pode criar uma música selecionando uma sequência de tons enquanto

observa os movimentos de parte do seu corpo sobreposto à tela do computador. Este exercício permite que o terapeuta considere as capacidades auditivas do paciente ao diferenciar os sons graves e agudos para atingir um determinado alvo na tela. Os alvos são elementos gráficos utilizados para sintetizar os sons e sua altura. Os alvos podem ser blocos coloridos, onde cada cor corresponde a uma altura ou desenhos animados (Figura 3.22). Esta configuração pode ser alterada previamente pelo terapeuta.

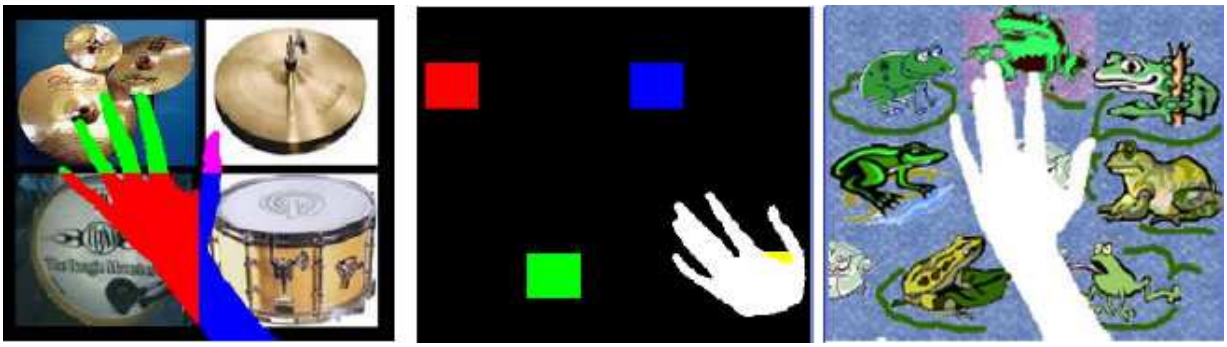


Figura 3.22 - Gráficos do *Music Maker* (GORMAN et al., 2007)

No caso dos exercícios 3 e 4, há a possibilidade do paciente tocar equivocadamente outros sons quando, por exemplo, sua mão transpassa este objeto ou seu braço obstrui os objetos que estão no caminho. Neste caso, o módulo de análise de imagem faz alguns cálculos que levam em consideração apenas os objetos que estão alinhados ao centro da palma da mão.

Com o *Music Maker*, o terapeuta pode monitorar o desempenho do paciente tanto qualitativamente por meio da observação sonoro-musical, quanto quantitativamente, por meio da análise dos padrões de movimentos feitos pelo paciente (detectados pelo módulo de análise de imagem).

Sensores ultrassônicos também podem ser utilizados com a mesma finalidade. É o caso do *Soundbeam* (SOUNDBEAM, 2011), aparelho desenvolvido por uma empresa de Bristol, no Reino Unido. Este aparelho é capaz de detectar, a uma distância de até seis metros, qualquer reação do paciente, desde o balançar da

cabeça até os movimentos dos dedos dos pés e traduzi-las em sons e/ou música eletrônica (Figura 3.23). A limitação imposta por esta ferramenta é que, caso terapia ocorra individualmente, nenhuma outra pessoa deve permanecer dentro do raio de alcance do aparelho, nem mesmo o terapeuta, pois qualquer um de seus movimentos pode ser detectado, o que pode comprometer as atividades.

Figura 3.23 - *Soundbeam* (SOUNDBEAM, 2011)

O *Soundbeam* é formado por um conjunto contendo um sensor ultrassônico, um módulo de sintetização de sons MIDI (*Musicais Musical Instrument Digital Interface*) e uma interface de conexão do computador com o módulo de som MIDI e até quatro sensores ultrassônicos (Figura 3.24). Cada sensor emite um feixe de ultrassom que detecta e mede interrupções físicas tais como uma pessoa atravessando o feixe. As medidas são convertidas digitalmente e transmitidas para o módulo de som ou sintetizador MIDI que gera os sons musicais correspondentes. Aproximando-se de um sensor pode-se, por exemplo, produzir sons com alturas mais agudas. Do mesmo modo, afastando-se do sensor, produzir alturas mais graves. O computador opera como um dispositivo de controle para o *SoundBeam* onde parâmetros sonoros (altura, intensidade e timbre) podem ser configurados.

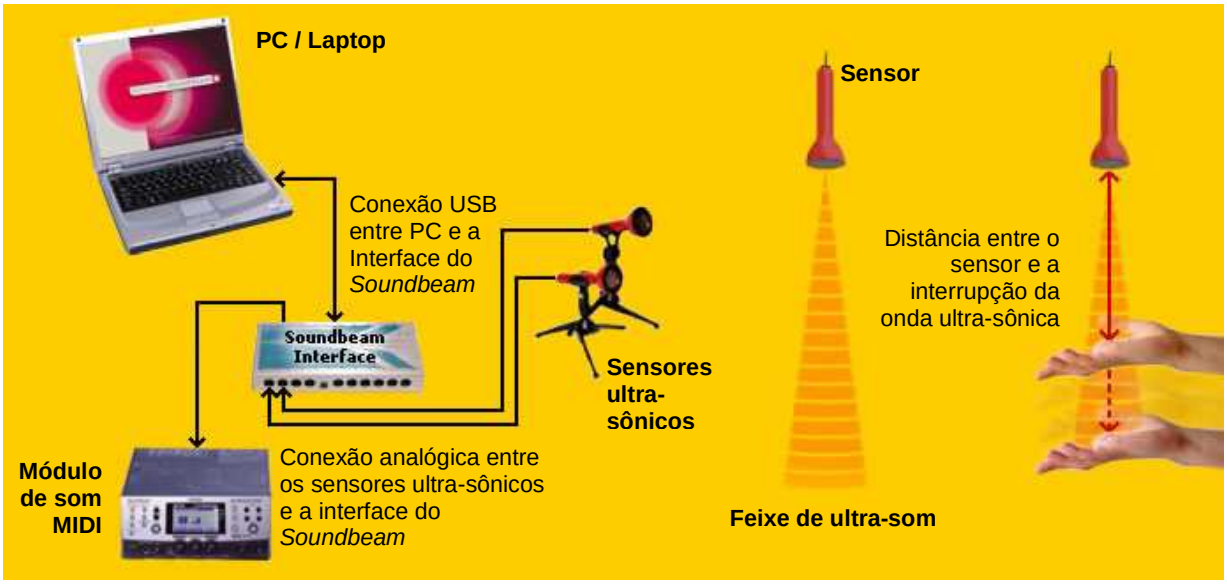


Figura 3.24 - Configurações do *Soundbeam* (SOUNDBEAM, 2011)

O *Soundbeam* proporciona um meio pelo qual indivíduos com deficiência física profunda ou debilitados em termos de aprendizagem, possam se expressar e comunicar por meio da música e do som. Esta sensação de controle, atuação e independência que o *Soundbeam* proporciona, pode ser uma boa fonte de motivação, para estimular a aprendizagem e a interação com outras áreas.

O *Soundbeam* já foi testado com crianças e adultos com dificuldades de aprendizagem, incluindo Deficiência Mental Profunda e Múltipla (ELLIS, 1997), Autismo (ELLIS; VAN LEEUWEN, 2000) e Cegueira (SPEARE, 1995).

3.4.3 Telereabilitação

A Reabilitação Virtual pode variar de acordo com a proximidade física do terapeuta (ou equipe terapêutica) que assiste o paciente. Se os terapeutas estão próximos fisicamente, então o tratamento pode ocorrer em centros de reabilitação ou clínicas. Entretanto, se o terapeuta está distante, em algumas situações a terapia pode ser

administrada remotamente, método também conhecido como “Telereabilitação. Trata-se de uma área de investigação recente, mas promissora (BURDEA, 2003).

Huber et al. (2010) e Golomb et al (2010) investigaram se a Telereabilitação em ambiente domiciliar, empregando um videogame baseado em Realidade Virtual e monitorado a distância, era capaz de melhorar a função da mão, a saúde óssea e também a ativação do circuito motor de adolescentes com hemiplegia. Os participantes foram convidados a exercitar a mão plégica por trinta minutos por dia, durante cinco dias por semana, usando uma luva com sensores e ligada a um console de videogame. A luva respondia aos movimentos executados pela mão plégica dos pacientes. Assim, o videogame criava uma imagem virtual da mão do paciente na tela do monitor de vídeo que reproduzia os movimentos executados. A Figura 3.25 mostra um exemplo de exercício para reabilitação física das mãos usando o *PS3.*

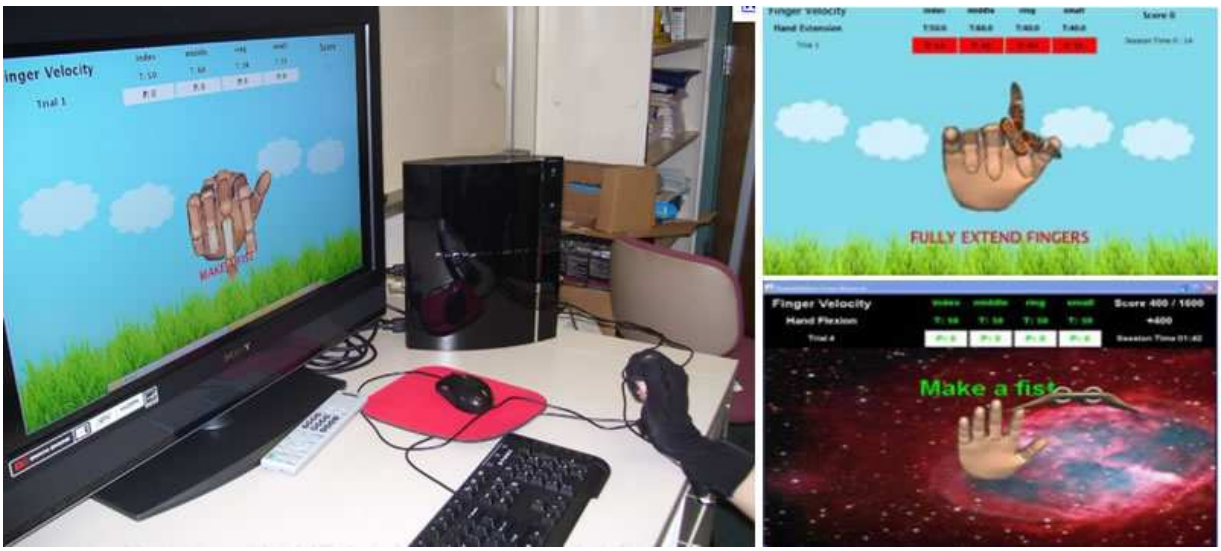


Figura 3.25 - Sistema de reabilitação com PS3 (HUBER et al., 2010), (GOLOMB et al, 2010)

A luva não reproduzia com exatidão os movimentos, mas sim ampliava na tela o movimento iniciado com a mão plégica. Por exemplo, se a luva detectava um pequeno movimento de flexão do dedo indicador, então era reproduzido na tela o movimento completo de flexão do dedo indicador. Esse fato é interessante por dois motivos:

a) Se a mão virtual reproduzisse com fidelidade os movimentos do paciente, então apenas estaria reproduzindo na tela o mesmo padrão de movimento deficiente que o paciente exibe no mundo real. Segundo Golomb et al. (2010), além de desnecessário, seria frustrante para o paciente observar seus movimentos imperfeitos.

b) O fato de a mão virtual realizar a amplitude completa do movimento pode promover a reorganização funcional do encéfalo através da modulação sináptica, de forma que outras regiões do cérebro possam assumir as funções da região danificada (neuroplasticidade cerebral). Observar o movimento normal dos dedos na tela gera uma ilusão, ou seja, o cérebro acredita que aquela mão está realmente se abrindo como ocorre em intervenções com uso de caixa de espelhos utilizada para tratamento de dor fantasma pós amputação (MURRAY et al, 2007), (ASSIS; LOPES, 2008).

O ambiente virtual utilizado no experimento foi um sistema de reabilitação baseado em Realidade Virtual gerado por meio de um videogame PS3 que foi instalado nas casas de três adolescentes com PC. Uma série de mudanças de *software* foi necessária para transformar o console do PS3 numa estação de reabilitação. Foi necessário alterar o sistema operacional para garantir uma abertura que possibilitasse a integração dos *drivers* para a luva de detecção, desenvolvimento da terapia orientada (instruções do terapeuta) e desenvolvimento dos jogos. Para permitir a telereabilitação, rotinas de *software* adicionais foram escritas para carregar dados para o servidor de banco de dados para armazenamento dos dados referentes aos exercícios realizados, bem como para *downloads* de atualizações dos jogos em domicílio.

Foi criado um módulo no jogo denominado “Agenda de Sessões” que possibilita que o participante visualize a execução do exercício que deve ser realizado. Uma agenda de opções de jogos é disponibilizada ao participante após a demonstração do exercício de referência. O módulo permite que o participante escolha o jogo (incluindo o nível de dificuldade e o número de tentativas). Há também a opção de rever novamente o exercício de referência, caso necessário. Segundo os autores, as opções de jogos

oferecidas ajudam a reduzir o tédio durante a terapia, devido ao longo tempo de tratamento. O tempo total da sessão é apresentado pelo módulo “Agenda de Sessões” para mostrar há quanto tempo o paciente está em tratamento até a presente data e a duração de cada sessão. Este recurso ajuda os participantes a verificar se realizaram a terapia com a duração recomendada por dia.

A visualização dos dados clínicos pode ser feita remotamente, por meio de um portal Web integrado com os sistemas em domicílio. Os terapeutas autorizados podem visualizar todos os dados do participante e analisar os gráficos gerados. Estes gráficos mostram configurações específicas de cada jogo (tais como, nível de dificuldade e número de tentativas). Os autores também fizeram Ressonância Magnética Funcional (RMF) para o movimento de fechamento da mão antes e depois do período de treinamento, sendo possível perceber um aumento significativo nas zonas cerebrais ativadas durante os movimentos.

Os resultados mostraram que todos os três adolescentes apresentaram melhora na função da mão plégica em testes de terapia ocupacional, incluindo aumento da capacidade de levantar objetos e melhora da amplitude de movimento dos dedos com base em medições remotas. Dois dos adolescentes mostraram melhorias no conteúdo mineral do osso radial. Para todos os três adolescentes, a RMF durante a tarefa de preensão, considerando o contraste entre a mão plégica e não-plégica mostrou expansão da área espacial de ativação pós-tratamento.

Apesar dos resultados animadores, deve-se levar em consideração que os pacientes, apesar de serem portadores de encefalopatia crônica da infância, tinham inteligência normal e cursavam escolas regulares. Por isso, é importante especificar o tipo da patologia antes de se empregar a Reabilitação Virtual. Não se deve utilizar luvas de Realidade Virtual em paciente quadriplégico espástico grave com retardo mental, por exemplo. Além disso, os pacientes não estavam em tratamento de reabilitação há algum tempo. Assim, não é possível afirmar com certeza se os ganhos obtidos não seriam também alcançados caso os pacientes fossem submetidos a quatro meses de terapia convencional intensiva durante cinco dias por semana. Naturalmente, dadas as características do sistema de saúde norte-americanas (a maioria dos tratamentos é

pago e de alto custo financeiro), se for possível obter resultados semelhantes aos da reabilitação intensiva utilizando um videogame em domicílio, a relação custo benefício justifica o uso do videogame.

3.4.4 Desafios

A Reabilitação Virtual traz alguns desafios, tanto para os pesquisadores que buscam por novas soluções, quanto para utilização pelos usuários finais. Um desafio é referente à aceitação destas tecnologias por especialistas da área da Saúde (médicos e terapeutas), que exigem obter respostas fidedignas que comprovem a eficácia dos métodos. Os estudos ainda estão em andamento e não existem dados suficientes para satisfazer os críticos (BURDEA, 2003).

A complexidade dos computadores, interfaces e redes em sistemas de Reabilitação Virtual muitas vezes assustam alguns terapeutas, que não foram expostos a estas tecnologias durante sua formação acadêmica, provocando resistência a estas como instrumento de trabalho. Alguns terapeutas temem que a Reabilitação Virtual possa substituir por completo as práticas convencionais e ameaçam sua colocação no mercado de trabalho (BUCKEY et al, 2002).

Estudos pilotos têm demonstrado a eficácia da Reabilitação Virtual, sobretudo no que se refere ao tratamento de pacientes crônicos pós-AVC (ASSIS; LOPES, 2008), (SALVA et al, 2009). Entretanto, é de suma importância ressaltar que estas tecnologias não substituem a reabilitação convencional, mas sim, ajudam a aprimorar os métodos e fornecer subsídios de apoio, tanto para o paciente (para que possa realizar os exercícios também de forma não assistida), quanto para o terapeuta (para auxiliar no processo de planejamento e acompanhamento das tarefas, bem como na análise dos resultados). Além disso, a Reabilitação Virtual possibilita que o terapeuta possa ampliar seu potencial permitindo-lhe realizar tratamentos de um maior número de pacientes com maior diversidade de exercícios.

Melhorar as interfaces dos sistemas de Reabilitação Virtual é outro desafio. As interfaces não foram criadas como equipamento médico, e, portanto, não podem ser esterilizadas para uso repetido por diferentes pacientes. Além disso, muitas interfaces não são adaptadas para atender indivíduos com diferentes estaturas, pesos e deformidades físicas. Um exemplo é a falta de equipamento que comporte a estatura de uma criança. Dessa forma, a avaliação destas crianças utilizando um dado sistema pode torna-se difícil devido à introdução de variáveis que podem causar algum desconforto, por exemplo. Mesmo os adultos podem enfrentar dificuldades na utilização de alguns equipamentos. Por exemplo, pacientes submetidos a cirurgia de mão, ou que sofreram um AVC, podem apresentar dificuldade em utilizar luvas de sensoriamento projetado para uma escala normal. Outro fator é o peso de alguns equipamentos que podem gerar constrangimentos no paciente devido a usabilidade não compatível com seu estereótipo físico. Estes problemas podem reduzir a naturalidade da interação, o que é muito importante para os pacientes com distúrbios cognitivos.

O custo de muitos equipamentos vem caindo significativamente nos últimos anos em comparação com os anos anteriores (HUBER et al, 2010), (GOLOMB et al, 2010). Entretanto, os preços atuais de alguns equipamentos ainda são proibitivos para aquisição em larga escala pelos centros de reabilitação ou para as escolas e principalmente para uso domiciliar.

Huber et al. (2010) e Golomb et al (2010) sugerem o investimento de esforços para o reaproveitamento dos consoles de jogos para que possam ser adaptados aos métodos de reabilitação, uma vez que o mercado de jogos tem crescido significativamente nos últimos anos.

A telereabilitação possui desafios adicionais relativos à falta ou ausência de infraestrutura de comunicação. Apesar do avanço dos computadores e internet em domicílio, ainda há muitos usuários que dependem de linhas telefônicas para conexão com a Internet. Nestes casos, o uso de videoconferência para o contato remoto entre terapeuta e paciente torna-se impossível. Felizmente, certas formas de telereabilitação não necessitam de supervisão constante por videoconferência. Se as redes são usadas para conexão com a Internet, então o tráfego da rede passa a ser o gargalo. O

problema pode ser resolvido com a utilização de banda larga, entretanto somente uma parcela muito pequena possui acesso à Internet por meio de banda larga.

Outro aspecto importante da telereabilitação é a segurança do paciente. Quando os pacientes estão realizando exercícios num sistema de Reabilitação Virtual, eles correm o risco de adquirir novas lesões, seja por excesso de força aplicada pelo dispositivo de controle/retorno de força (robôs), ou por acidentes com cabos e amarras necessários para o funcionamento do sistema, ou excessos de práticas de exercícios. Dessa forma, os sistemas devem ser integrados com programas de monitoramento por terapeutas para garantir que o paciente não sofra nenhuma consequência adversa.

A telereabilitação é uma nova forma de terapia, e, portanto, fatores psicológicos podem também influenciar na recuperação do paciente. Por exemplo, alguns pacientes podem participar menos do tratamento sem a intervenção direta do terapeuta, pois eles podem sentir que receberam menos atenção que merecem. Outros pacientes preferem menos contato humano, portanto, estudos de grande escala são necessários para elucidar questões de como a telereabilitação poderá ser tão ou mais eficaz ou servir de complemento à reabilitação convencional realizada no centro de reabilitação.

A Tabela 3.3 sintetiza os principais benefícios e desafios na área de Reabilitação Virtual, segundo Burdea (2003). Ressaltando que, alguns dos desafios apontados pelo autor na área cognitiva como, por exemplo, falta de interfaces naturais e falta de equipamentos para crianças já estão sendo superados nos dias de hoje e, portanto, não foram incluídos na tabela. Sato et al (2007) e Loureiro e Rodrigues (2011) comentam sobre o uso de interfaces naturais em geral e Garbin et al (2006), RICHARD et al (2007) e Juan et al (2008) comentam sobre equipamentos e interfaces para reabilitação de crianças.

Tabela 3.3. Benefícios e desafios na área de Reabilitação Virtual (BURDEA, 2003)

REABILITAÇÃO VIRTUAL	BENEFÍCIOS	DESAFIOS
Neuro-muscular	Engajar/Motivar. Economia de escala. Coleta de dados online. Resolução temporal fina. Comprometimento/Funcionalidade. Funcionalidade. Simulação de detecção.	Equipamentos caros. Aceitação clínica. Especialistas na área.
Física	Engajar/Motivar. Repetição/Intensidade. Adaptável às condições do paciente. Aplicável em fases crônicas. Comprometimento/Funcionalidade. Atividades da vida diária.	Configuração anormal do membro. Especialistas na área. Aceitação clínica. Carga cognitiva.
Cognitiva	Engajar/Motivar. Economia de escala. Maior privacidade. Redução dos custos com terapias. Segurança. Avaliação mais realista.	Custo elevado dos equipamentos. Especialistas na área.
Telereabilitação	Reabilitação em domicílio. Redução do custo de terapeuta. Redução do isolamento. Acesso remoto do banco de dados.	Custo dos equipamentos. Largura de banda da rede. Especialistas na área. Segurança. Estudos da eficácia.

3.5 Considerações

Este capítulo apresentou a área de pesquisa em Reabilitação Virtual descrevendo diferentes abordagens terapêuticas e os principais benefícios trazidos por ela. Existem desafios a serem vencidos para que estas tecnologias possam ter maior aceitabilidade pelos profissionais da Saúde. A Tabela 3.3 apresentou uma síntese dos benefícios e desafios da Reabilitação Virtual.

Até a data da publicação deste trabalho, não foi encontrado nenhum sistema de Reabilitação Virtual que associasse Realidade Aumentada e o uso da música no contexto de estratégias de Musicoterapia. Assim, justifica-se explorar e investigar este caminho nesta pesquisa.

4 SISTEMA DE REALIDADE AUMENTADA MUSICAL PARA REABILITAÇÃO

Este capítulo apresenta uma proposta de sistema de Realidade Aumentada musical para reabilitação (motora e cognitiva). São detalhadas as etapas de desenvolvimento do sistema que incluem a definição do público-alvo, a definição e especificação dos requisitos, detalhamento das tarefas e da arquitetura do sistema. Diagramas de classes e de casos de uso são utilizados para o aprofundamento das especificações lógicas do sistema.

4.1 Metodologia de Desenvolvimento

O sistema foi desenvolvido com base no modelo para desenvolvimento de ambientes virtuais proposto por Kirner e Martins em 1999 (Figura 4.1). Este modelo se aproxima bastante do modelo de processo espiral que é amplamente utilizado no desenvolvimento de produtos de *software* tradicionais. Além de se apoiar num paradigma consagrado, o modelo proposto por Kirner e Martins (1999) visa possibilitar a integração dos usuários no desenvolvimento do produto, de maneira a gerar sistemas amigáveis e fáceis de manter, além de considerar os requisitos específicos da área de aplicação.

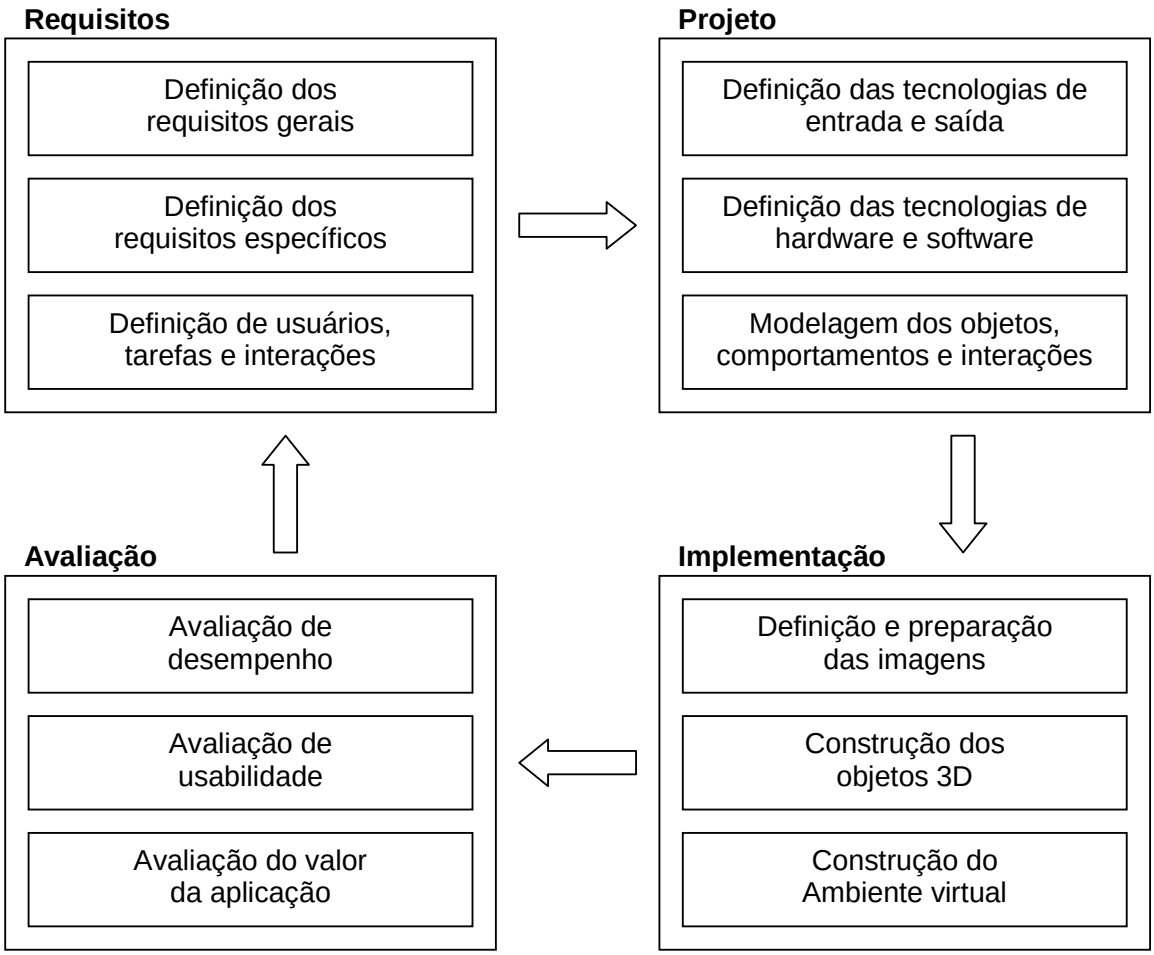


Figura 4.1 - Modelo para desenvolvimento de ambientes virtuais (KIRNER; MARTINS, 1999)

A etapa de requisitos contempla a definição e especificação dos requisitos do sistema. A etapa seguinte, a de projeto, detalhada a modelagem do sistema, que neste caso foi baseada na linguagem de modelagem unificada (*Unified Modeling Language* - UML). A etapa de implementação abrange as fases de elaboração e criação das interfaces, criação dos modelos tridimensionais e construção do protótipo do sistema. E finalmente, a etapa de avaliação contempla as avaliações de desempenho, de usabilidade e do valor da aplicação. As etapas de implementação e avaliação do sistema estão descritas nos próximos capítulos.

4.2 Definição e Especificação dos Requisitos Gerais

Os requisitos levantados neste trabalho foram definidos e especificados, de forma a fornecer uma descrição abstrata em alto nível (definição) e uma descrição detalhada (especificação) sobre o que o sistema deve possuir, conforme sugere Sommerville (1996).

O levantamento destes requisitos foi feito por meio de entrevistas com especialistas (musicoterapeutas e terapeutas ocupacionais) e fundamentado por artigos encontrados na literatura. Adotou-se, como critério, a seleção dos requisitos mais solicitados pelos profissionais entrevistados ou que foram levantados durante os estudos de casos de uso do sistema (etapa de avaliação).

Os requisitos foram agrupados em três categorias:

a) fazer musical,

b) interface para reabilitação motora e

c) uso domiciliar.

Os requisitos para apoiar o “fazer musical” musicoterapêutico (Tabela 4.1) foram identificados a partir dos estudos dos métodos musicoterapêuticos apresentados no Capítulo 2.

Os requisitos de interface para reabilitação motora (Tabela 4.2) foram identificados a partir das observações das necessidades dos pacientes atendidos no setor de musicoterapia da AACD. Estas observações foram fundamentadas por artigos encontrados na literatura, apresentados no Capítulo 2.

Os requisitos para uso domiciliar (Tabela 4.3) foram especificados com base nos estudos apresentados nos Capítulos 2 e 3.

Tabela 4.1. Requisitos para o Fazer Musical musicoterapêutico

N°	REQUISITO	ESPECIFICAÇÃO
1	Recriação musical	Recurso que possibilite a reprodução ou transformação de uma melodia ou parte dela. Estes recursos podem ser realizados por meio de experiências instrumentais ou em atividades oferecidas por meio de jogos musicais.
2	Improvisação musical	Recurso que possibilite a execução de improviso (sozinho, em dueto ou em grupo) e produção de sons de instrumentos musicais variados. O sistema deve também possibilitar a gravação das canções improvisadas, cantadas ou não.
3	Composição musical	Recurso que possibilite escrever canções, letras ou parte instrumental, assim como qualquer produto musical convencional. A composição pode ser original (de autoria) ou ter características de algum estilo musical
4	Audição sonora e musical	Recurso que possibilite experiências receptivas onde o usuário poderá realizar atividades de escuta de músicas geradas em tempo real (autoria) ou gravadas, respondendo verbalmente ou de outras formas. Os sons dos instrumentos musicais (simulados pelo sistema) devem parecer ao máximo com os sons reais dos instrumentos musicais convencionais. Este requisito é importante para o desenvolvimento de atividades de percepção sonora e musical. Se o instrumento simulado possuir um som muito diferente do convencional, poderá confundir o usuário/terapeuta/paciente em atividades de percepção sonoro musical.
5	Imitação musical	Recurso que possibilite que o usuário/terapeuta utilize o eco-ritmo, ou seja, por meio do mesmo instrumento ou outro similar, repetir a sonoridade feita por outro usuário/paciente e vice-versa. O sistema deve também permitir que um usuário/terapeuta responda imitando o usuário/paciente, porém, em outra tonalidade ou modificando alguns parâmetros (escala musical, timbre ou ritmo) da produção sonora.

Tabela 4.2. Requisitos de interface para reabilitação motora

N°	REQUISITO	ESPECIFICAÇÃO
6	Interação	O sistema deve possuir uma interface tangível que possibilite sua manipulação com as mãos, sem uso de dispositivos e adaptações.
7	Cenário	O cenário do sistema deve ser baseado em objetos virtuais tridimensionais. A maioria dos trabalhos apresentados no Capítulo 3 relata que o uso de tais recursos estimula o interesse e motiva o usuário. Deve-se evitar uso excessivo de botões e ícones na janela de interface principal e também de cores contrastantes, pois muitos pacientes com Paralisia Cerebral, por exemplo, apresentam (além da deficiência física) baixa visão e/ou déficits cognitivos. Um sistema cuja interface seja simples e de fácil compreensão facilita a utilização por parte destes usuários.
8	Complexidade das tarefas	O sistema deve possibilitar a configuração das tarefas, antes do início das intervenções terapêuticas de forma a reduzir a complexidade. Quanto maior a quantidade de informações adicionadas no cenário, maior poderá ser a complexidade da tarefa.
9	Estimulação bimanual das mãos	O sistema deve possuir um recurso que possibilite estimular o usuário/paciente a utilizar ambas as mãos simultaneamente. Isso possibilita que uma criança, por exemplo, que tenha uma das mãos comprometida por um problema físico, e que em alguns momentos da terapia se recuse a trabalhar com a mão comprometida, se sinta motivado a utilizar ambas as mãos ao invés de apenas a mão não-comprometida.
10	Baixo custo para aquisição dos dispositivos interativos	Os dispositivos para interação devem ser flexíveis para ajuste em crianças e adultos, não necessitar de esterilização após o uso e devem ser acessíveis economicamente para uso em clínica e em ambiente domiciliar.

Tabela 4.3. Requisitos para uso domiciliar

N°	REQUISITOS	ESPECIFICAÇÃO
11	Monitoramento remoto	Recurso que possibilite monitorar os exercícios feitos pelo usuário/paciente em domicílio. Para isso, deve-se criar um banco de dados que permita que o usuário/terapeuta possa se cadastrar no sistema e cadastrar seu usuário/paciente, armazenar, registrar, deletar e alterar dados dos exercícios e analisar os relatórios de desempenho das tarefas.
12	Planejamento e descrição das tarefas	Recurso que possibilite que o usuário/terapeuta possa planejar e descrever os exercícios de reabilitação (propostos pelo software) de forma fácil e compreensível pelo usuário/paciente. Este requisito poderá facilitar na memorização destes exercícios pelo paciente contribuindo para a realização dos exercícios de forma correta.
13	Atividades colaborativas	Recurso que possibilite realizar atividades colaborativas à distância com o usuário/terapeuta ou outro usuário/paciente cadastrado no sistema.
14	*Feedback* de desempenho	Recurso que possibilite fornecer para o usário/paciente um *feedback* de seus exercícios realizados em tempo real. Dessa forma, o usuário/paciente poderá saber se está realizando os exercícios de forma correta e orientá-lo caso contrário.

4.3 Requisitos Funcionais e Não-Funcionais

Esta seção apresenta os requisitos funcionais e não-funcionais e os requisitos de interface identificados a partir da análise dos requisitos gerais apresentados na seção anterior. De acordo com Sommerville (1996), os requisitos funcionais expressam funções ou serviços que um *software* deve ser capaz de executar ou fornecer. As funções ou serviços são, em geral, processos que utilizam entradas para produzir

saídas. Os requisitos não funcionais declaram as restrições ou atributos de qualidade para um *software*. Além destes, existem ainda os requisitos de interface, que especificam as funcionalidades inerentes a interface do sistema com o usuário.

Requisitos Funcionais

- **Notas Musicais:** O sistema deve prover um conjunto de notas musicais para composição musical. As notas musicais devem ser definidas (por padrão) na escala de Dó Maior. Os sons das notas musicais devem ser definidos (por padrão) no timbre do piano e com uma intensidade fixa.
- **Instrumentos Musicais:** O sistema deve prover um conjunto de instrumentos musicais de corda, sopro e percussão. A figura dos instrumentos musicais como corda e sopro não emitem sons. Para mudança do timbre das notas musicais o primeiro comando é apresentar a figura que representa o instrumento musical desejado. Os instrumentos de percussão devem emitir seus sons correspondentes.
- **Escala Musical:** O sistema deve possibilitar alterar a escala musical. A altura da escala musical deve variar para sons mais agudos ou mais graves.
- **Composição Musical:** O sistema deve possibilitar gravar as composições musicais. A gravação poderia ser ativada ou desativada. As composições podem ser gravadas em arquivos digitais em formato de áudio.
- **Cronômetro:** O sistema deve prover um cronômetro na tela para cronometrar o tempo das tarefas. O cronômetro deve poder ser ativado ou desativado. O cronômetro poderá ser ativado caso a aplicação esteja rodando em tela cheia.
- **Jogos de Memória Musical:** O sistema deve prover um jogo musical de siga-sons-e-cores. Neste jogo, o usuário deve seguir uma sequência sonora por meio de objetos coloridos que “acendem” numa determinada sequência. O jogo deve ser ativado ou desativado. Os sons-e-cores poderiam ser representados por objetos virtuais 3D coloridos que, a medida que forem sendo sorteados na

sequência, “acenderiam” com cores mais brilhantes. Além desta animação no objeto virtual, estes também poderiam sofrer alguma variação de forma (escala) e movimento (translação e rotação) para facilitar a visualização.

- **Jogo Tempo Coincidente:** O sistema deve prover um jogo musical de tempo coincidente. Neste jogo, o usuário deve “bater” num alvo a medida que objetos virtuais passassem por ele. Deve haver um recurso que possibilite adicionar um ou mais alvos no cenário, de acordo com a complexidade desejada na tarefa. O jogo deve ser ativado ou desativado. O jogo poderia ser criado a partir de uma melodia com um determinado ritmo musical.

Requisitos Não-Funcionais

- **Alta disponibilidade:** O sistema deve ser projetado de forma a ser acessado via Web por todos os usuários remotos, por meio de um navegador (browser). Simplificar o acesso via Web pode expandir a aplicação com rapidez e economia, aumentando assim a base de usuários finais.
- **Multiplataforma:** O sistema deve rodar em mais de uma plataforma. Caso seja um arquivo executável, devem-se disponibilizar versões do sistema para os Sistemas Operacionais mais utilizados como Windows, Linux e MacOS. Caso seja um aplicativo para Web, o sistema deve ser executado a partir de diferentes navegadores como o Mozilla Firefox, Internet Explorer, Google Chrome, entre outros.
- **Desempenho:** Como se trata de um sistema interativo, com realimentação sonora, o sistema deve ter o melhor desempenho possível para que não comprometa as atividades musicais que, muitas vezes levam em consideração o tempo de resposta sonora.

4.4 Projeto do Sistema

Esta seção apresenta o modelo conceitual do sistema elaborado com base nos requisitos elicitados. São apresentados diagrama de casos de uso, arquitetura e diagrama de classes do sistema.

4.4.1 Diagrama de Casos de Uso

Os atores (usuários) do sistema são: terapeutas e pacientes com deficiência motora (congênita ou adquirida) decorrentes de lesões neurológicas, neuromusculares, ortopédicas ou de má formação e que precisem recuperar ou manter funções motoras básicas, por meio de procedimentos de reabilitação motora que possam ser motivados pelo Fazer Musical. O diagrama de casos de uso ilustrado na Figura 4.2 mostra os atores do sistema e suas respectivas tarefas.

Tanto o terapeuta quanto o paciente podem interagir livremente com o sistema e desenvolver as tarefas[12] de recriação, improvisação, composição e audição sonora e musical. Há também jogos de memória musical e de tempo coincidente. Todas estas tarefas podem ser previamente planejadas pelo terapeuta para uso presencial (na clínica) ou à distância (exercícios domiciliares).

O planejamento das tarefas (estimulação cognitiva) inclui: organização dos elementos virtuais (modelo, quantidade, tamanho e distância entre os objetos), sequência das ações motoras e quantidade de repetições. Este planejamento resulta na definição do nível de dificuldade da tarefa.

[12] Entende-se tarefa como um objetivo que o paciente tenha que alcançar, enquanto entende-se atividade como um encadeamento de ações que o levam a realizar uma determinada tarefa.

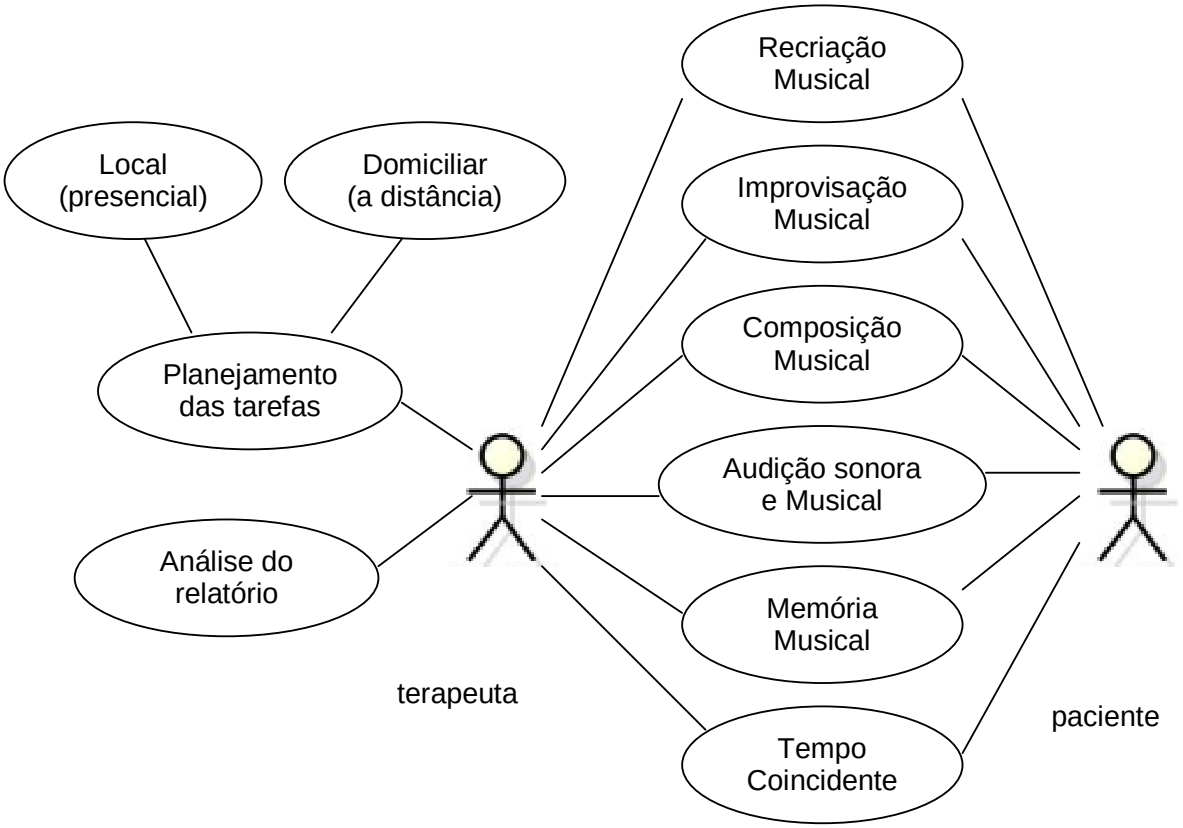


Figura 4.2 - Diagrama de casos de uso

As tarefas executadas pelo paciente podem ser gravadas em formato de vídeo ou áudio para futura análise de desempenho motor do paciente. O terapeuta também pode analisar o relatório de desempenho de cada tarefa. O relatório contém informações referentes aos exercícios executados pelo paciente realizados presencialmente ou à distância: se concluiu ou não a tarefa, quantidade de vezes que executou a tarefa, tempo para concluir determinada tarefa, os totais de acertos e erros.

4.4.2 Arquitetura

A arquitetura do sistema é composta pelos elementos básicos que compõem as aplicações de Realidade Aumentada: um computador com placa gráfica e placa de som, um software de Realidade Aumentada musical, uma *webcam*, um dispositivo de visualização de ambientes misturados e cartões marcadores.

A tecnologia de Realidade Aumentada foi escolhida para a construção da interface do sistema, pois atende aos seguintes requisitos da Tabela 4.2:

- **N° 6 (interação):** permite a manipulação natural dos objetos virtuais, com uso das mãos, sem necessidade de dispositivos ou adaptações.
- **N° 7 (cenário):** possui características motivadoras para reabilitação, como por exemplo, dispositivos de interação diferenciados do padrão mouse e teclado e recursos visuais tridimensionais.
- **N° 8 (complexidade das tarefas):** facilita a construção do cenário virtual por meio da adição, remoção ou alteração das propriedades dos elementos virtuais em tempo real.
- **N° 10 (Baixo custo para aquisição dos dispositivos interativos):** possibilita construir sistemas interativos mais acessíveis economicamente, com uso de um computador e uma *webcam*. Os dispositivos de interação podem ser à base de papel ou cartolina. Estes materiais podem ser descartados sendo de fácil reconstrução e adaptação para crianças e adultos e não precisam ser esterilizados.

A Figura 4.3 mostra a arquitetura do Sistema de Realidade Aumentada Musical. Primeiramente, uma *webcam* (conectada ao computador) captura imagens do mundo real em busca dos cartões marcadores. Estes cartões são compostos por símbolos musicais que estão catalogados no banco de dados do *software* instalado no computador. Os símbolos musicais detectados nos cartões são analisados e

interpretados pelo *software*. A interpretação dos símbolos produz objetos virtuais sonorizados que são combinados com o mundo real do usuário. O mundo misturado é enviado pelo *software* para um dispositivo de visualização que pode ser tanto um monitor de vídeo quanto um capacete de visualização de mundos misturados.

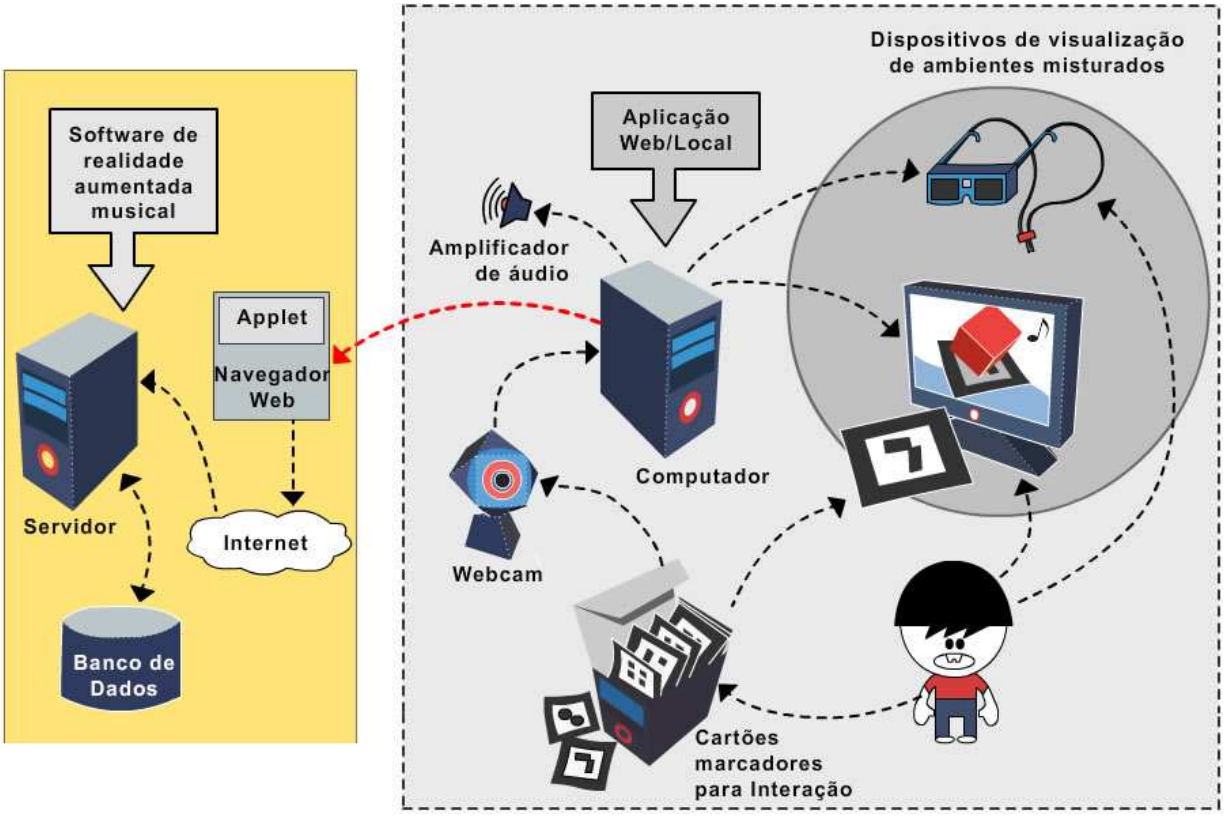


Figura 4.3 - Arquitetura do sistema

O *software* pode ser instalado no computador por meio de um arquivo executável (aplicação local). Outra possibilidade é acessar uma página na Internet que contenha uma versão Web do sistema. A versão Web (aplicação remota), está integrada a um banco de dados por onde é possível cadastrar pacientes e terapeutas, armazenar, registrar, apagar e alterar dados dos exercícios e analisar relatórios de desempenho das tarefas.

Também estão previstos recursos para que o terapeuta possa planejar e descrever os exercícios de reabilitação (propostos pelo *software*) com vistas a possibilitar que o paciente possa visualizar facilmente estas instruções em casa e, dessa forma, realizar

os exercícios de forma correta. Outro recurso possibilita fornecer para o paciente uma realimentação de seus exercícios realizados em tempo real (desempenho do paciente). Dessa forma, o paciente pode saber se está realizando os exercícios de forma correta e, caso contrário, o sistema o orienta de acordo com as instruções do terapeuta. Outro recurso possibilita realizar atividades colaborativas à distância com o terapeuta ou outros pacientes cadastrados no sistema. As atividades colaborativas podem ser realizadas em forma de desafios propostos pelos jogos musicais.

4.4.3 Diagrama de Classes

A Figura 4.4 mostra o diagrama de classes do sistema, numa visão macro, onde podem ser observados os diferentes tipos de objetos.

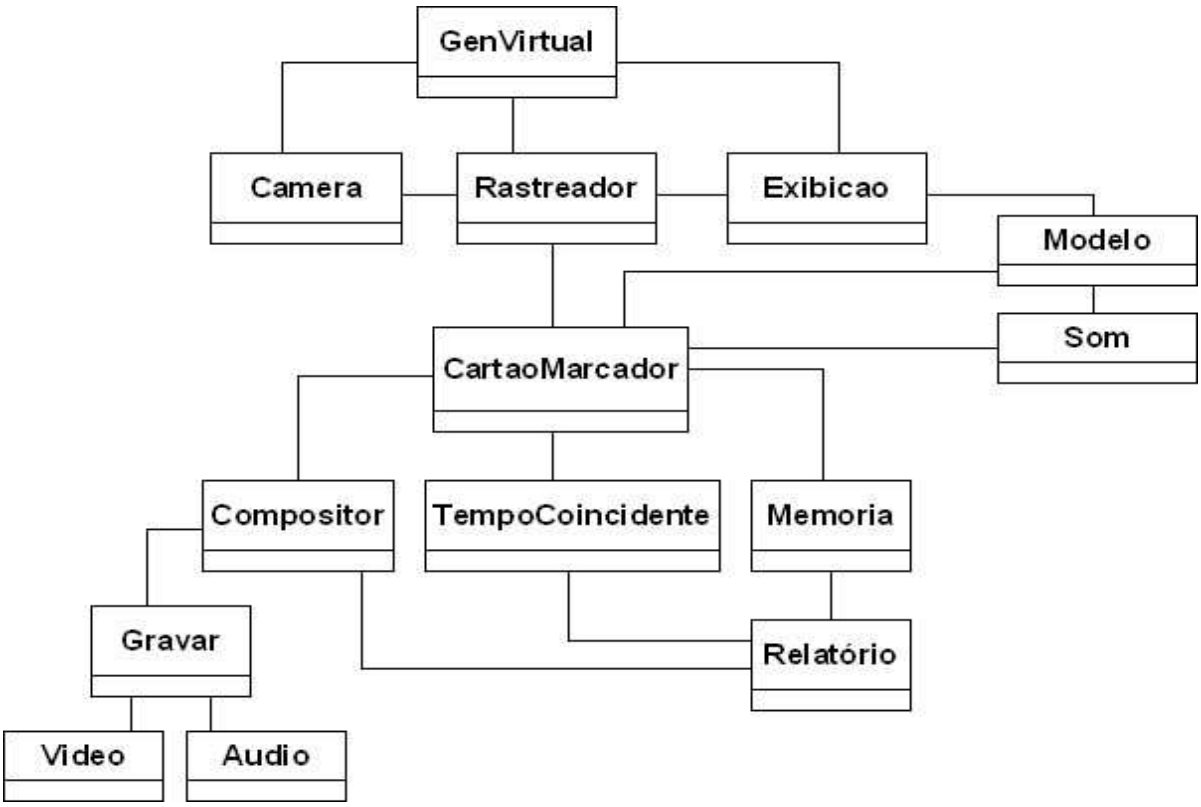


Figura 4.4 - Diagrama de classes do sistema

A classe responsável pelo controle do sistema é a classe GenVirtual, onde é instanciada a função principal *main()* da aplicação. No seu processo de construção, cria uma câmera para gerenciar a captura do mundo real através de um dispositivo de captura de vídeo. Em seguida, prepara um rastreador de marcadores e também a saída de vídeo que é executada no dispositivo de exibição. Após essa preparação, os marcadores do menu são instanciados.

O menu contém as opções que o usuário pode tomar: jogo da memória musical, compositor de melodias e jogo de tempo coincidente:

- **Modo jogo da memória:** jogo de siga-sons-e-cores gerados a partir das animações e sons emitidos pelos objetos virtuais.
- **Modo compositor de melodias**: atividades musicais livres de recriação, improvisação, composição e audição musical. Estas atividades podem ser gravadas em formato de arquivos de vídeo ou áudio.
- **Modo tempo coincidente**: jogo para acertar “alvos” (objetos virtuais) acompanhando um determinado ritmo musical.

Todas as tarefas executadas podem gerar um relatório de desempenho. O detalhamento dos diagramas de cada uma das classes está especificado no Apêndice A deste documento.

4.4.4 Recursos Motivacionais

Os recursos motivacionais do sistema se desdobram em: atratividade; facilidade de uso e formas de uso.

a) Atratividade

Um dos fatores atrativos do sistema é a possibilidade de executar os sons dos instrumentos musicais de corda, sopro e percussão por meio da interação com os modelos 3D (objetos sonoros) que forem adicionados no mundo real. A forma de interação com os objetos sonoros também é considerada um fator atrativo. Os objetos sonoros podem ser “tocados” com as mãos, sem uso de dispositivos ou adaptações. Cartões marcadores feitos de papel serão os mecanismos de controle e inserção dos objetos virtuais no mundo real.

Neste trabalho é adotado o termo “cartão musical” ao invés de “cartão marcador”, pois, os identificadores dos cartões são (em sua maioria) símbolos musicais impressos em suas faces. Os símbolos musicais se dividem em notas musicais e instrumentos musicais. As notas musicais são representadas por notações musicais, como por exemplo, o uso das palavras (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si), e os instrumentos musicais pela imagem dos próprios instrumentos (Figura 4.5).

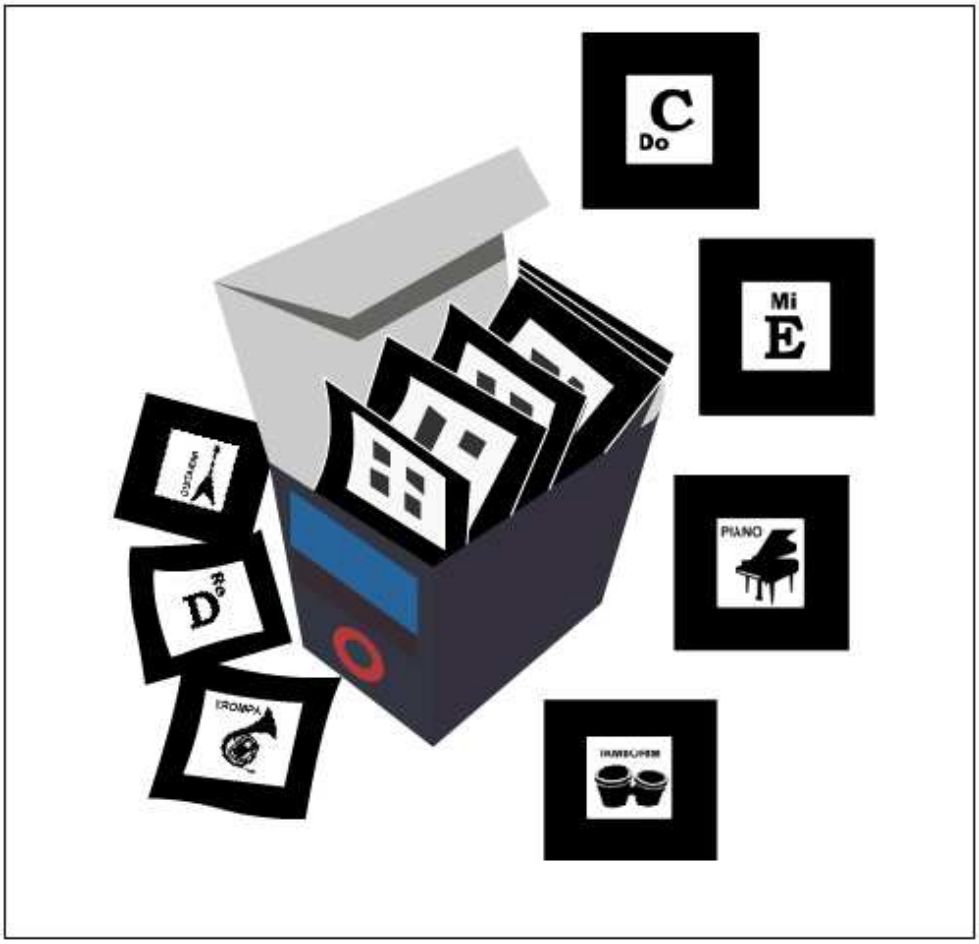


Figura 4.5 - Cartões Musicais

Os símbolos musicais foram um dos requisitos levantados com os especialistas. Segundo os terapeutas que colaboraram com a especificação dos requisitos, os desenhos nos cartões facilitam o planejamento das atividades musicais. Cada cartão musical origina um objeto virtual sonoro (modelo 3D). Para visualizar estes objetos, o usuário deve posicionar os cartões musicais no campo de visão da *webcam* (Figura 4.6). Para percutir os sons das notas musicais, o usuário deve “tocar” nos objetos virtuais, ou seja, obstruir o cartão musical no campo de visão da *webcam.*

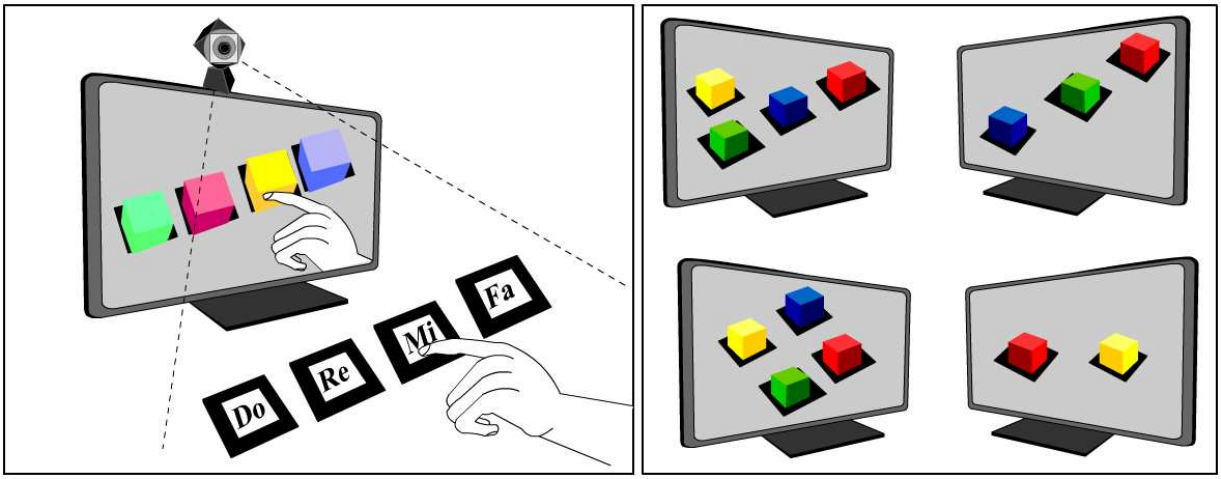


Figura 4.6 - Interação com os cartões musicais

Os objetos virtuais podem variar em forma, tamanho e cor dependendo do desafio que o terapeuta desejar criar para o paciente. Dependendo da tarefa planejada ou dos jogos propostos pelo sistema, os objetos virtuais podem disparar eventos de animação como rotação e translação e sofrer variações de cores.

b) Facilidade de uso

O usuário pode efetuar movimentos desde um simples ralar dos dedos (Figura 4.7**a**) e 4.7**b**) até uma batida com as mãos fechadas em forma de punho sobre os cartões marcadores (Figura 4.7**c**).

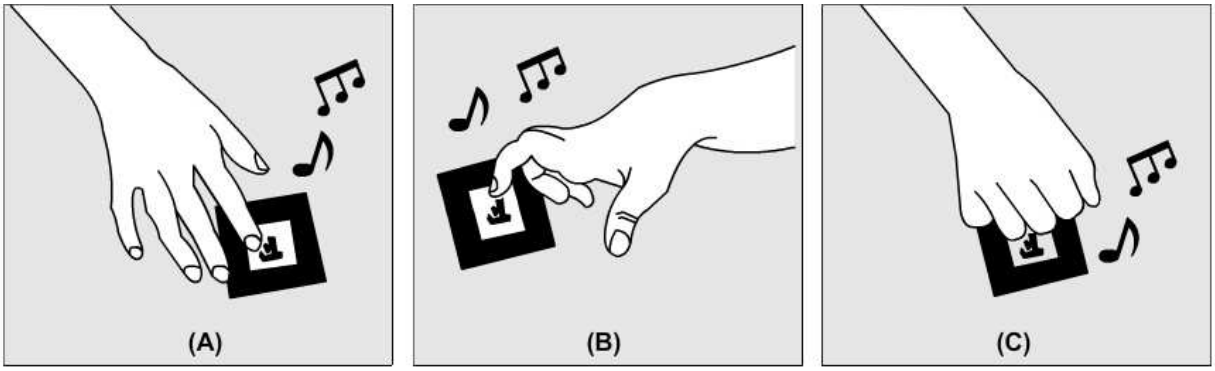


Figura 4.7 - Cartões musicais para acessibilidade musical

O timbre do piano é o timbre padrão das notas musicais. Mas, pode-se alterar o timbre das notas musicais, colocando-se no campo de visão da *webcam*, o cartão com a imagem do instrumento musical desejado. Não é necessário permanecer com o cartão do instrumento musical (corda ou sopro) no campo de visão da *webcam*. Uma vez que o cartão do instrumento for reconhecido pelo sistema (usuário coloca o cartão no campo de visão da *webcam*), todas as notas musicais têm seu timbre alterado automaticamente a partir de então (Figura 4.8).

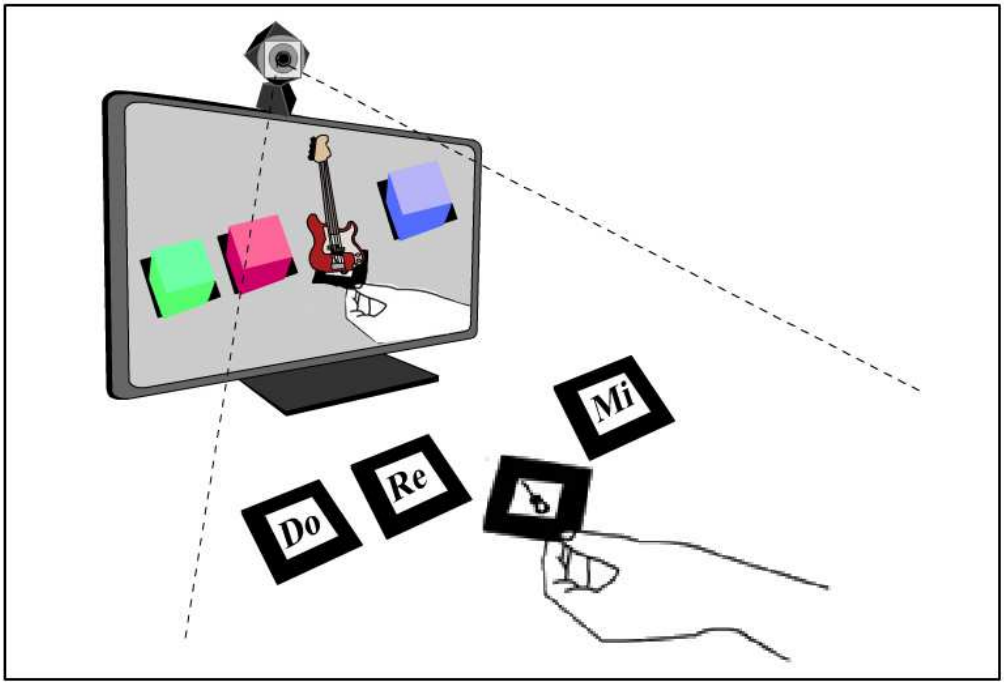


Figura 4.8 - Mudando o timbre das notas musicais

Os sons dos instrumentos musicais com altura definida (instrumentos de corda e sopro) são utilizados apenas para trocar o timbre das notas musicais colocando-se o cartão do instrumento musical no campo de visão da *webcam*. Já, nos casos dos cartões dos instrumentos de percussão, como estes instrumentos possuem a altura não definida (ou indeterminada), é necessário utilizar o próprio cartão do referido instrumento para sua execução (Figura 4.9).

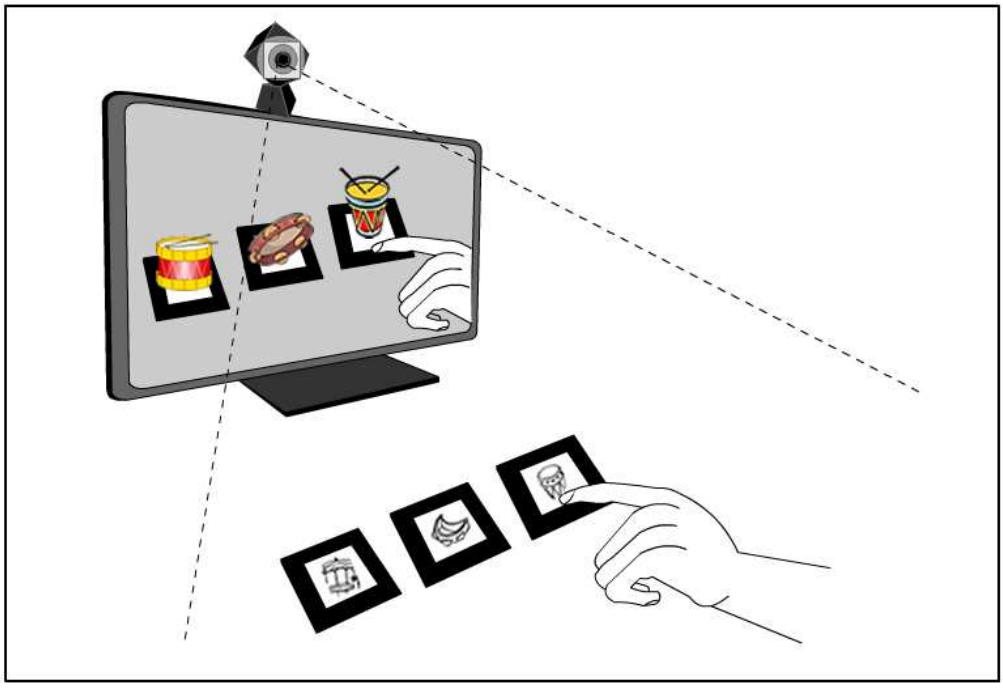


Figura 4.9 - Resultado sonoro dos instrumentos musicais de percussão

A interface gráfica do *software* possui apenas imagens do ambiente misturado, sem botões ou ícones gráficos, podendo permanecer em tela cheia durante todo o tempo de execução. Desta forma, todas as tarefas propostas pelo sistema podem ser realizadas apenas com uso dos seus respectivos cartões musicais, mesmo para mudar de uma atividade para outra, para gravar as tarefas em arquivos de áudio ou vídeo e acionar o cronômetro.

c) Formas de uso

Os cartões musicais podem ser utilizados para reabilitação motora de MMSS e de membros inferiores (MMII), uma vez que a forma de interação é a mesma. No primeiro caso, os cartões podem ser organizados sobre uma mesa, onde o usuário deve ser posicionado sentado em uma cadeira ou aproximar-se da mesa em uma cadeira de rodas (Figura 4.10**a**). Os cartões podem ser impressos em tamanhos maiores e posicionados sobre o chão, para uso com os pés, caso haja interesse na reabilitação de MMII (Figura 4.10**b**).

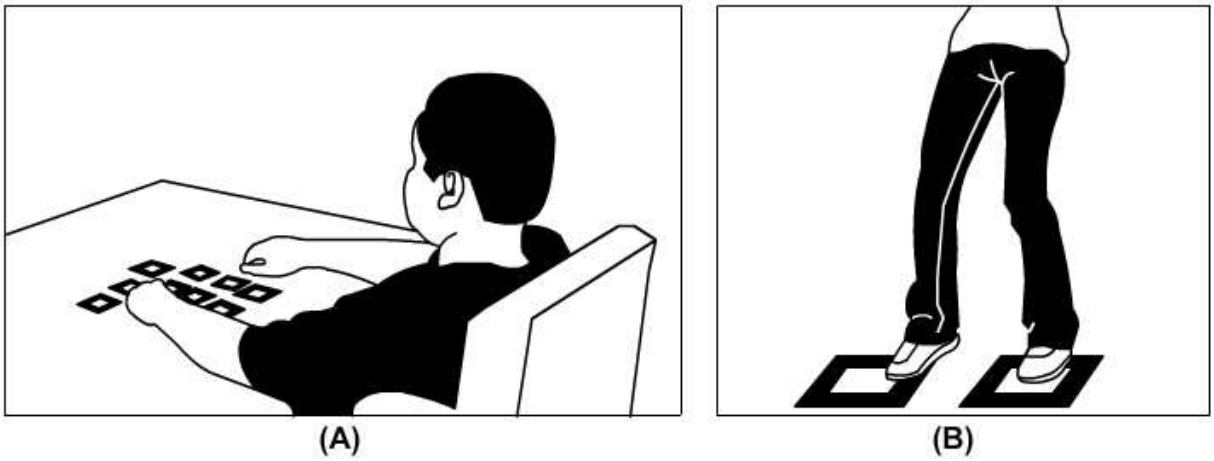


Figura 4.10 - Formas de interação com o sistema

O sistema pode ser montado em espaços diversificados, de acordo com o objetivo da intervenção (reabilitação motora de MMSS ou MMII). A flexibilidade dos cartões musicais propicia o planejamento das tarefas para cada paciente, de acordo com suas características: tamanho das mãos/pés e pernas/braços (crianças ou adultos), postura e mobilidade do usuário (Figura 4.11).

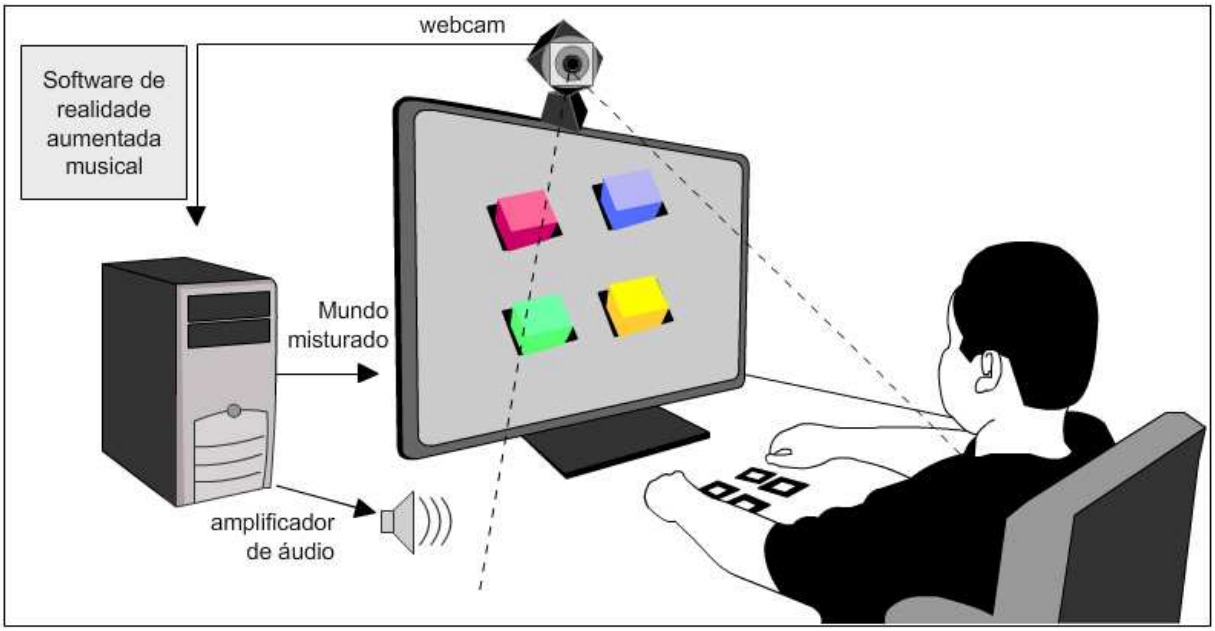


Figura 4.11 - Facilidade de uso do sistema

4.5 Propostas de Atividades Musicoterapêuticas com o Sistema

A partir dos métodos e procedimentos musicoterapêuticos apresentados no Capítulo 2, foi possível estabelecer as principais atividades que podem ser exploradas com uso do sistema. Como visto, os métodos musicoterapêuticos se apóiam em atividades de improvisação, recriação, composição e audição musical.

A Tabela 4.4 apresenta propostas de atividades musicoterapêuticas apoiadas pelo sistema.

Tabela 4.4. Propostas de atividades musicoterapêuticas apoiadas pelo sistema

Atividade	Descrição
Improvisação musical	Executar, por meio dos cartões musicais, os elementos sonoros (notas musicais e instrumentos musicais), de improviso, sozinho, em dueto ou em grupo. Os resultados desta prática poderão ser mensurados por meio da improvisação, onde o indivíduo é estimulado a pensar e raciocinar sozinho fazendo uma reflexão quanto às formas de assimilar e transmitir sua expressão musical. Os objetivos desta atividade, do ponto de vista terapêutico são: estabelecer um canal de comunicação não-verbal e uma ponte para a comunicação verbal, dando sentido à auto-expressão, a desenvolver habilidades colaborativas, a desenvolver a criatividade, à liberdade de expressão, à espontaneidade e à capacidade lúdica, estimulando e desenvolvendo os sentidos, às habilidades perceptivas e cognitivas. Pode ainda estimular a capacidade de planejamento e organização apoiando a estimulação das habilidades motoras de coordenação, força, equilíbrio e sincronização. Desafios de improvisação poderão proporcionar ao indivíduo momentos de criatividade através da interação com os sons musicais e, ao mesmo tempo, desenvolver as habilidades musicais que são básicas para uma apreciação mais elaborada da música e do autoconhecimento.

Recriação musical	Executar, reproduzir, transformar ou interpretar uma música ou parte dela por meio dos cartões musicais (notas musicais e instrumentos musicais). A recriação poderá ser gravada como um registro para posterior avaliação musicoterapêutica. A atividade de recriação musical poderá ser realizada por meio da manipulação livre dos cartões musicais ou por meio dos jogos de memória musical (siga-sons-e-cores) e jogos de tempo coincidente (acertar as notas musicais no tempo certo). Em ambos os jogos, o usuário poderá escolher uma música pré-estabelecida pelo sistema e reproduzir musicalmente a versão original ou, vice-versa, conforme os desafios propostos pelos jogos.
Composição musical	Criar canções por meio da execução dos cartões musicais. A criação poderá ser original ou possuir características de paródias já conhecidas pelo usuário. A composição poderá ser feita no timbre de apenas um instrumento musical ou vários instrumentos musicais simultaneamente. O usuário poderá executar uma nota musical de cada vez ou várias notas simultaneamente proporcionando criação de peças musicais mais sofisticadas. A criação poderá ser gravada e arquivada como um registro para posterior avaliação musicoterapêutica. Os objetivos desta atividade são desenvolver atividades de planejamento e organização, desenvolver habilidades para solucionar problemas de forma criativa, promover a auto-responsabilidade, desenvolver habilidade de registrar e comunicar experiências internas e promover a exploração de temas musicais.
Audição sonora e musical	Ouvir os sons de notas musicais no timbre de instrumentos musicais de sopro e corda e sons de instrumentos musicais de percussão, escutar músicas gravadas pelo sistema, escutar e acompanhar as músicas disponibilizadas nos jogos musicais. Esta atividade poderá estimular habilidades de atenção e receptividade, melhorar a escuta perceptiva, organizar ritmicamente comportamentos motores, memorização de informações, compreensão e apreciação sonora e musical.

4.6 Considerações

Este capítulo apresentou a proposta do sistema de Realidade Aumentada musical para reabilitação. A modelagem do sistema aqui apresentado é de suma importância para que os engenheiros de *software* visualizem alguns detalhes e restrições que devem ser respeitadas ao se implementar sistemas eletrônicos interativos. No Capítulo seguinte são apresentados os detalhes da implementação dum protótipo de sistema, baseado nesta proposta, que foi determinado de GenVirtual.

5 IMPLEMENTAÇÃO DO GENVIRTUAL

Este capítulo apresenta os detalhes da implementação do protótipo do sistema, denominado de GenVirtual. A primeira versão foi implementada e à medida da realização de observações de campo, testes e avaliações com terapeutas e pacientes, novos requisitos foram surgindo e foram implementados, gerando novas versões do sistema. A primeira versão correspondia a um jogo de memória musical. A segunda versão passa a incluir um compositor musical. Na terceira versão, foram feitos ajustes nos dois modos (memória e compositor) e um novo jogo musical de tempo coincidente foi incorporado.

5.1 Bibliotecas de Desenvolvimento

A primeira versão do GenVirtual foi implementada na linguagem de programação Java. A escolha desta linguagem deveu-se à familiaridade com sua sintaxe e disponibilidade das bibliotecas *Java Sound*[13], para desenvolvimento de funcionalidades envolvendo sons e músicas, e *JARToolkit*[14], para desenvolvimento de funcionalidades envolvendo Realidade Aumentada.

Entretanto, esta biblioteca não apresentava um bom desempenho para reconhecer os marcadores. Os sons dos objetos virtuais demoravam cerca de dois segundos para serem executados a partir da interferência das mãos do usuário, tempo elevado e inadequado para as atividades musicais testadas. Além disso, o processo de identificação das imagens dos cartões marcadores deixava a desejar. Quando era necessário utilizar vários cartões simultaneamente e, quando algum destes cartões

[13] *Application Programming Interfaces* (API), em linguagem Java, que provê suporte para operações de áudio e MIDI com alta qualidade, tais como captura, mixagem, gravação, sequenciamento e síntese MIDI.

[14] Invólucro escrito na linguagem Java para o *ARToolKit*.

apresentava características semelhantes a outro como, por exemplo, o símbolo das notas musicais E e F (Mi e Fá, respectivamente), o sistema os confundia trocando os sons das notas musicais.

Dessa forma, esta versão preliminar foi descartada e foi necessário utilizar outra biblioteca de Realidade Aumentada para desenvolver a primeira versão do sistema. Várias bibliotecas, descritas no Apêndice B, foram estudadas. A biblioteca *ARToolkit*, implementada na linguagem C, apresentou maior eficiência em relação ao número simultâneo de cartões marcadores possíveis de serem utilizados sem que houvesse confusão entre os símbolos cadastrados. Além disso, foi encontrado na literatura um vasto material bibliográfico para desenvolvimento de aplicações com *ARToolkit*, bem como vários relatos de estudos de casos com uso desta ferramenta.

Foi necessário identificar uma nova biblioteca de som compatível com a linguagem C. Foram feitos estudos com a biblioteca de som do *Windows* (*API Win32*) e a biblioteca *OpenAL* e ambas passaram a ser utilizadas. Ao todo, para desenvolvimento do GenVirtual, foram utilizadas seis bibliotecas, ilustradas na Figura 5.1:

- ***Software Development Kit (SDK) VideoLib*:** Biblioteca usada para manipulação dos parâmetros e fluxos de vídeos.
- ***ARToolkit*:** Biblioteca de Realidade Aumentada que realiza rastreamento ótico usado para calibração da webcam e detecção de marcadores que fazem parte do cenário da aplicação.
- ***Microsoft Foundation Class Library (MFC):*** Biblioteca usada para gerenciamento da interface gráfica com o usuário. Possui uma coleção de classes usadas em programação orientada a objetos que podem ser usadas para construir interfaces como, por exemplo, para impressão de textos na tela e carregamento de imagens.
- ***OpenAL (Open Audio Library):*** Biblioteca multiplataforma desenvolvida para manipular arquivos de áudio multicanal tridimensional.

- ***API Win32:*** biblioteca do *Windows* composta de rotinas para a manipulação de mensagens MIDI que podem ser enviadas ao sintetizador MIDI disponível na placa de som do computador. Estas mensagens especificam a nota musical e suas características (altura, velocidade, intensidade e timbre).
- ***OpenGL:*** Biblioteca para manipulação de rotinas gráficas e de modelagem, bidimensional (2D) e tridimensional (3D).

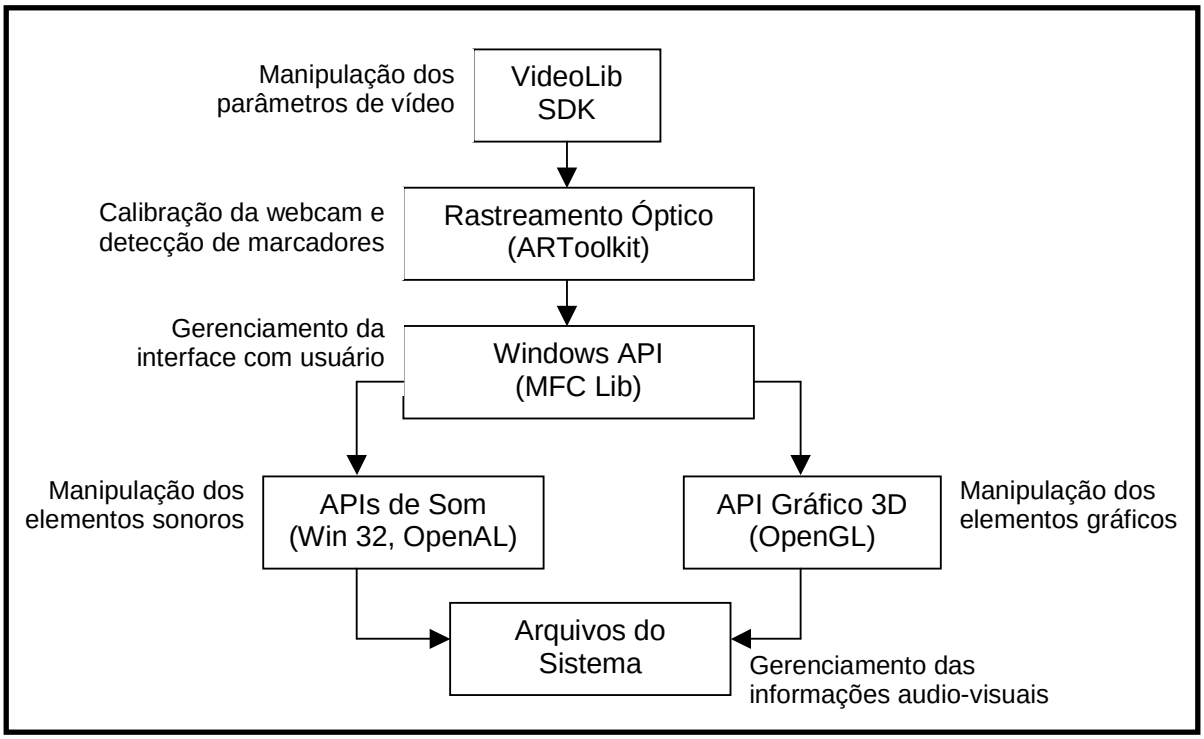


Figura 5.1 - Bibliotecas de desenvolvimento do GenVirtual

Os arquivos MIDI, manipulados pela API Win32, apenas armazenam as informações referentes às notações musicais, ou seja, a partitura da música. Estas informações são necessárias para que a placa de som possa interpretar o arquivo MIDI e tocar os sons. Para a determinação do timbre das notas musicais foi utilizado o "*General MIDI Mode*[15]" que consiste em uma especificação de 128 timbres associadas ao padrão MIDI. Esta especificação define a utilização de um mínimo de 16 tipos de instrumentos musicais (128 sons) mais 47 instrumentos de percussão, bem como a sua localização num

[15] http://www.classicalmidiconnection.com/General_Midi.html

sintetizador da placa de som do computador: de 1 a 8 os pianos, de 17 a 24 os órgãos e de 105 a 112 os instrumentos étnicos, por exemplo. Ao ordenar os instrumentos por categorias, atribuindo-lhes um número, o *General MIDI Mode* garante que uma música criada num determinado equipamento MIDI seja corretamente reproduzida num outro dispositivo do mesmo gênero, sem alteração dos instrumentos originalmente utilizados.

5.2 Funcionamento Básico

A Figura 5.2 mostra a sequência básica de funcionamento do GenVirtual. Inicialmente, a tela de apresentação do GenVirtual é inicializada e um “Menu de Opções” é exibido ao usuário. Este Menu contém uma lista de atividades que o usuário pode escolher e que podem ser acessadas acionando-se as seguintes teclas: Jogo Musical (Tecla J); Compositor de Melodias (Tecla C); Tempo Coincidente (Tecla T); Ajuda (Tecla A.). O GenVirtual pode ser finalizado a qualquer momento acionando-se a Tecla ESC.

O mecanismo de acesso às opções do GenVirtual (a partir do acionamento das teclas indicadas no Menu) foi escolhida pela facilidade de implementação do sistema. Foram feitas tentativas de implementação de outros mecanismos de acesso ao Menu, como por exemplo, a navegação por setas que é a mais utilizada nos jogos. Entretanto, algumas limitações e conflitos entre as bibliotecas escolhidas para desenvolvimento dificultaram esta implementação.

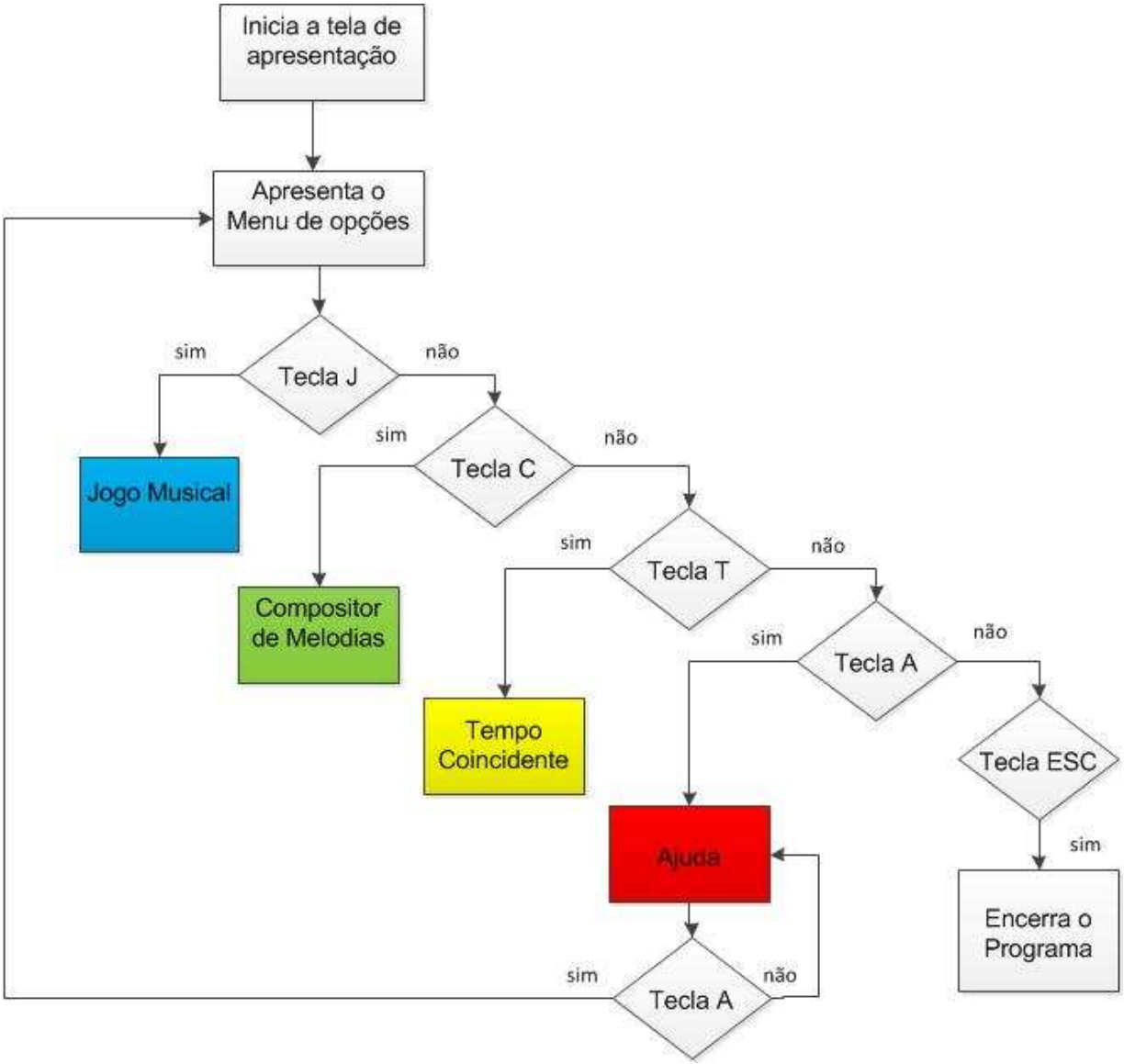


Figura 5.2 - Sequência básica de funcionamento do GenVirtual

Independente da opção escolhida pelo usuário, com exceção da opção de Ajuda, uma rotina é disparada pelo sistema que permanece em repetição até que o usuário finalize a aplicação. Esta rotina contém o ciclo de renderização dos objetos 3D e dos sons correspondentes aos marcadores. O ciclo é executado em cada quadro de vídeo capturado e é composto pelas seguintes etapas:

1. Inicialmente, uma *webcam* conectada ao computador, captura imagens do mundo real (30 quadros de vídeo por segundo).
2. As imagens capturadas são convertidas em imagens binárias (preto e branco) e são processadas pelo *ARToolkit* em busca de regiões quadradas.
3. Ao encontrar uma região quadrada, o *ARToolkit* calcula a posição e orientação deste quadrado em relação à posição da *webcam*.
4. O GenVirtual, por meio de rotinas da biblioteca *ARToolkit*, identifica o símbolo que está desenhado no centro do quadrado e verifica se o símbolo encontrado está cadastrado no banco de dados do sistema.
5. Caso tenha encontrado o símbolo no banco de dados, o GenVirtual verifica qual elemento audiovisual está associado a este símbolo.
6. São utilizados para criação dos elementos gráficos 3D e dos eventos sonoros as bibliotecas *OpenGL* e *Win 32* respectivamente.
7. O GenVirtual, por meio de rotinas da biblioteca *ARToolkit*, sobrepõe a imagem do elemento audiovisual (imagem virtual) sobre o quadro de vídeo capturado em tempo real (imagem real).
8. As imagens misturadas são enviadas ao dispositivo de saída de vídeo para exibição para o usuário.
9. Volta para a etapa 1 iniciando um novo ciclo.

5.3 Versões do GenVirtual

Foram implementadas três versões do GenVirtual. A primeira versão continha apenas um jogo de memória musical. Esta versão foi testada por um especialista em Musicoterapia e a partir das observações e discussões proporcionadas pelos testes, novas funcionalidades foram descobertas, originando uma nova versão.

A segunda versão do GenVirtual passou a incorporar dois modos: modo jogo da memória musical e modo compositor de melodias. Esta versão foi testada numa sessão de Musicoterapia com um paciente com Paralisia Cerebral, o que gerou novas recomendações de usabilidade para outra versão.

A terceira versão do GenVirtual, melhorada e ampliada em suas funcionalidades, foi testada por especialistas em Musicoterapia e com pacientes e terapeutas em sessões de Musicoterapia e em sessões de Terapia Ocupacional.

5.3.1 Primeira Versão

A primeira versão do GenVirtual consiste num jogo de memória musical baseado em sons e cores inspirado no jogo Genius fabricado pela empresa Estrela (ESTRELA, 2011), porisso foi denominado inicialmente de “Genius Musical Virtual” e depois de GenVirtual. O jogo é composto por cartões musicais que ao serem adicionados no mundo real do usuário geram cubos virtuais coloridos que simulam as notas musicais (C-Dó, D-Ré, E-Mi, F-Fá, G-Sol, A-Lá e B-Si) na escala de Dó Maior. A sequência sonora do jogo pode ser criada randomicamente (o sistema sorteia as notas musicais aleatoriamente) ou a partir da leitura de um arquivo texto contendo a sequência das notas musicais que compõem uma melodia conhecida pelo usuário.

A Tabela 5.1 mostra as principais diferenças entre o jogo Genius da Estrela e o jogo de memória musical do GenVirtual.

Tabela 5.1. Genius Estrela x Jogo de Memória Musical do GenVirtual

GENIUS DA ESTRELA	JOGO DE MEMÓRIA MUSICAL DO GENVIRTUAL
Possui 4 botões coloridos.	Possibilidade de adicionar ou remover elementos virtuais (botões).
Botões em posições fixas em formato de disco voador.	Possibilidade de utilizar os marcadores em diferentes tamanhos e em diferentes posicionamentos.
Sons eletrônicos.	Sons de notas musicais (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si).
Sons invariantes.	Possibilidade de alterar o timbre dos sons (piano e flauta).
Sequência sonora randômica.	Possibilidade de criar sequência sonora ou musical.

Os cartões musicais do jogo são definidos como “peças”. Com estas peças, pode-se aumentar ou diminuir o processamento de estímulos vindos da interface do jogo.

Antes de iniciar o jogo de memória musical do GenVirtual, é preciso configurar o modo de criação da sequência musical. Esta sequência pode ser criada de duas formas:

- **Aleatória:** Caso a opção escolhida seja a Aleatória, então o sistema solicita ao usuário que indique a quantidade de notas musicais, ou seja, a quantidade de peças que deseja utilizar no jogo e o tamanho da sequência. A partir desta informação, o sistema sorteia as notas musicais, indica ao usuário quais foram as notas musicais sorteadas, gera a sequência musical do jogo e aguarda pelo início do jogo pelo usuário.

- **Sequencial:** Caso a opção escolhida seja a Sequencial, então o sistema solicita ao usuário que selecione uma melodia (arquivo de texto) que estiver disponível no banco de dados do sistema. A partir desta informação, o sistema faz a leitura do arquivo para verificar as notas musicais existentes e gerar a sequência musical. Em seguida, o sistema indica ao usuário quais notas musicais (peças) serão utilizadas no jogo e aguarda pelo início do jogo pelo usuário.

A Figura 5.3 mostra as duas opções de criação da sequência musical do jogo de memória musical do GenVirtual.

Figura 5.3 – Modos de criação da sequência musical do jogo de memória musical do GenVirtual

Os arquivos de texto, que contém as informações referentes à sequência musical do GenVirtual, são formados por dados textuais correspondentes às notas musicais e seus parâmetros elementares dentro de um arquivo MIDI. Ao abrir um arquivo de texto, o sistema busca identificar e quantificar corretamente as notas musicais existentes. Nesta versão do sistema, os arquivos são criados manualmente pelo usuário. As notas musicais lidas no arquivo de texto são convertidas em números inteiros (frequência da nota) e armazenadas numa lista. Os números correspondem às notas musicais do protocolo MIDI. Uma rotina devolve como resposta uma única lista contendo as informações contidas no arquivo de texto, sendo a primeira informação, a quantidade de notas musicais da sequência, o timbre musical e a sequência das notas. O tamanho da sequência musical é determinada pelo usuário na primeira linha do código. O algoritmo armazena na lista apenas as primeiras notas musicais que couberem no tamanho da sequência indicada. A Figura 5.4 mostra um exemplo de um arquivo de texto de uma das melodias disponíveis no GenVirtual.

```
# Nona Sinfonia de Bethoven

# tamanho da sequência musical
15

# timbre
piano

#sequência musical
mi mi fa sol sol fa mi re do do re mi mi re re
mi mi fa sol sol fa mi re do do re mi re do do
re mi do re mi fa mi do re
```

Figura 5.4 - Exemplo de um código do arquivo de texto do jogo de memória musical do GenVirtual

A notação textual adotada, neste trabalho, evita uma perda de tempo na implementação de algoritmos de leitura de arquivos MIDI e sua conversão para texto. Existem na literatura *softwares* capazes de ler e traduzir informações dos arquivos MIDI em textos (MACHADO, 2001). Entretanto, seria necessário criar uma rotina capaz de interpretar as informações contidas nestes arquivos como cabeçalhos e parâmetros básicos do protocolo.

O fluxograma da Figura 5.5 mostra o funcionamento lógico do jogo. Inicialmente, o sistema dispara uma animação no elemento virtual 3D, referente ao primeiro elemento da sequência musical. O elemento virtual emite seu som correspondente e fica a espera da interação do usuário. Quando o usuário obstrui um cartão, o sistema executa o som correspondente e verifica se o cartão obstruído corresponde ao primeiro elemento da sequência musical. Caso negativo, o sistema emite uma mensagem de erro e o jogo é finalizado. Caso positivo, o sistema atualiza a pontuação do jogo e verifica se a sequência musical chegou ao final. Se sim, então o sistema finaliza o Jogo e informa que o usuário venceu. Se não, o sistema incrementa a sequência musical e inicia o novo ciclo, aumentando assim, o desafio de memória e retenção de informação do jogo.

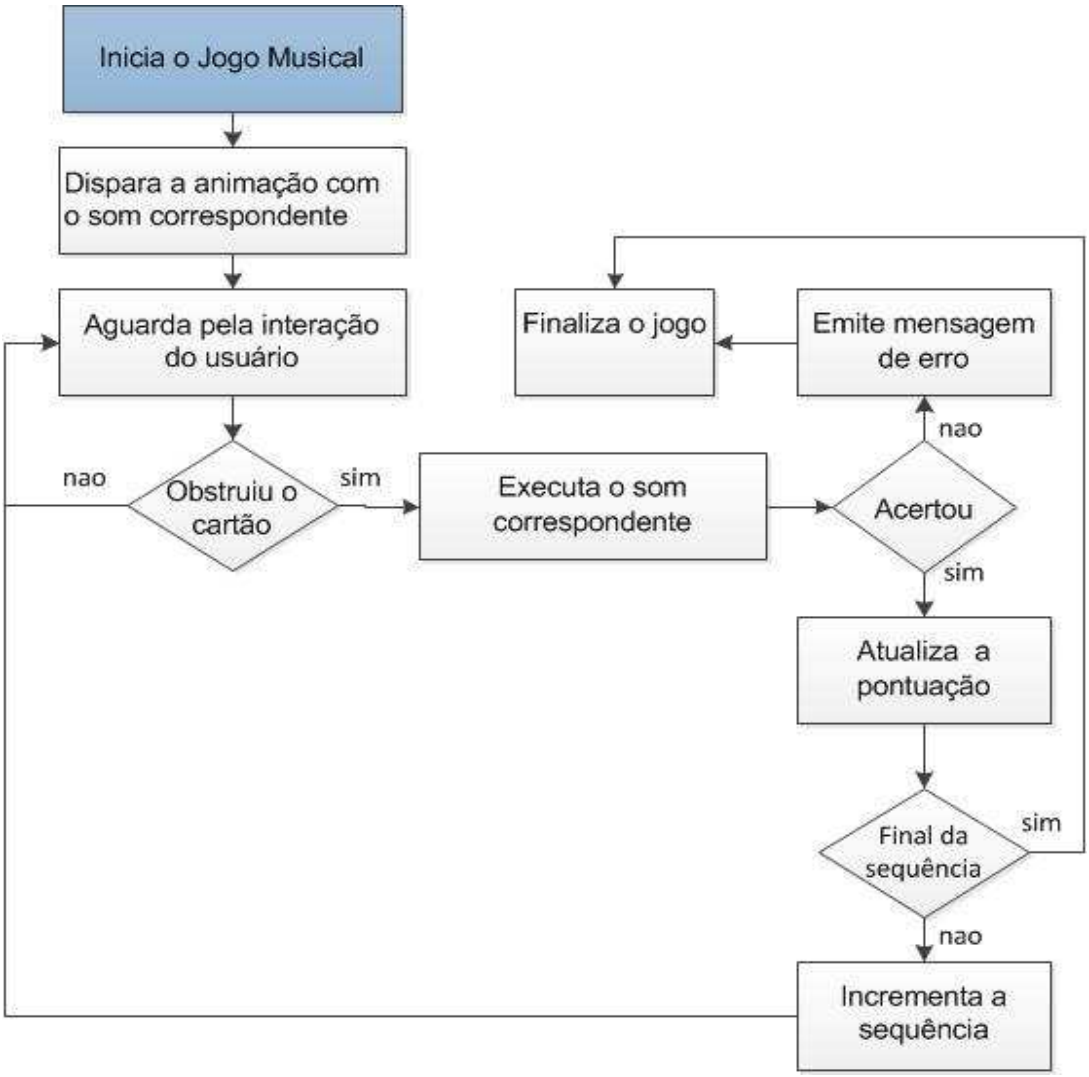


Figura 5.5 - Fluxograma do jogo musical

Nesta versão preliminar do GenVirtual, os cartões foram criados com os símbolos padrões da biblioteca *ARToolkit* (Figura 5.6). Dessa forma, foi necessário imprimi-los em papéis coloridos (nas cores correspondentes aos elementos virtuais 3D) para ajudar o usuário a memorizar a sequência das cores e para facilitar o terapeuta no planejamento das tarefas.

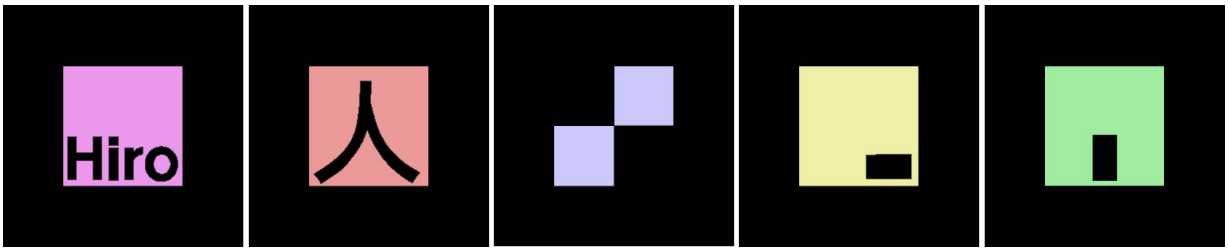


Figura 5.6 - Cartões de notas musicais da primeira versão do GenVirtual

A Figura 5.7 mostra a interface da primeira versão do jogo de memória musical do GenVirtual e a interação com o mesmo. Durante os testes funcionais, foi observado que o jogo apresenta um melhor desempenho, quando os marcadores eram distribuídos numa mesa de cor clara para contrastar com as bordas dos marcadores.

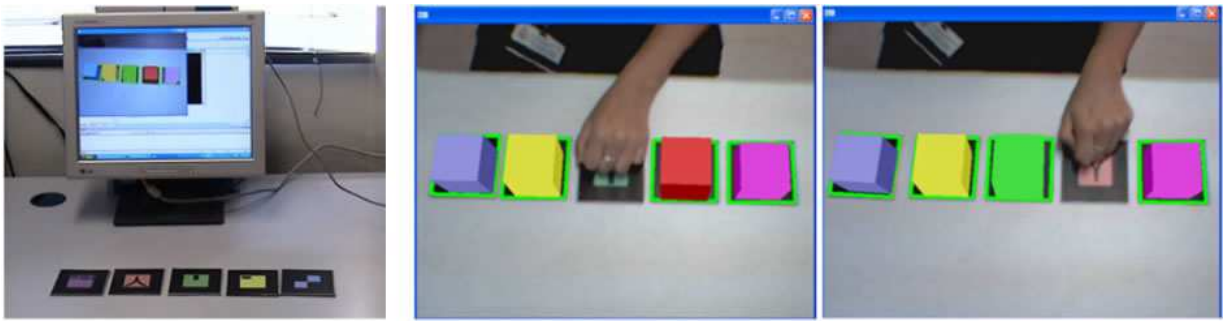


Figura 5.7 - Primeira versão do jogo de memória musical do GenVirtual

5.3.2 Segunda Versão

A segunda versão do GenVirtual passou a incorporar dois modos:

- jogo da memória musical: acionado pela tecla “J” do teclado;
- compositor de melodias: acionado pela tecla “M” do teclado.

O modo jogo da memória musical corresponde à descrição apresentada na primeira versão do GenVirtual. Já, o modo compositor foi concebido para possibilitar a criação e reprodução de melodias por meio da interação com os cubos virtuais. Foram criados novos símbolos para os cartões das notas musicais. Os correspondem às notas (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si) e foram cadastrados com a biblioteca ARToolkit (Figura 5.8). Os cartões eram impressos empapeis coloridos, nas mesmas cores dos cubos virtuais do GenVirtual. Durante os testes funcionais, dependendo da iluminação do ambiente, o sistema apresentava problemas na identificação dos símbolos dos cartões. Foi necessário criar novos símbolos, testá-los e adequá-los nos dois modos do sistema: jogo da memória musical e compositor de melodias. Os novos cartões são apresentados na próxima sessão.

Figura 5.8 - Cartões de notas musicais da segunda versão do GenVirtual

Foram adicionados dois cartões de instrumento musical (piano e flauta) para possibilitar ao usuário trocar o timbre das notas musicais. Isto ocorre colocando-se o cartão com o

desenho da flauta no campo de visão da *webcam*. A Figura 5.9 mostra os cartões de instrumentos musicais da segunda versão do GenVirtual.

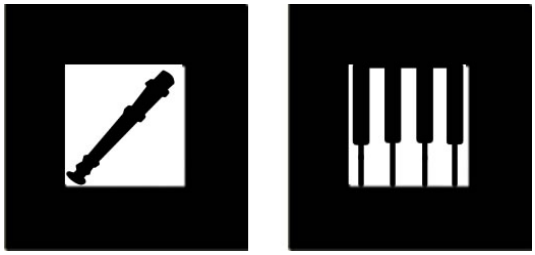


Figura 5.9 - Cartões de instrumentos musicais da segunda versão do GenVirtual

A Figura 5.10 mostra o fluxograma de funcionamento do modo compositor. Inicialmente, o sistema fica permanentemente aguardando pela interação do usuário até que detecte a obstrução de algum dos cartões musicais. Caso seja detectada uma obstrução, o sistema verifica qual o cartão musical foi obstruído. Caso seja uma nota musical (identificado num vetor que armazena o índice das notas musicais), o sistema executa o som da nota musical correspondente. Caso seja um instrumento musical (identificado num vetor que armazena o índice dos instrumentos musicais), o sistema altera o timbre das notas musicais para o timbre do instrumento musical detectado.

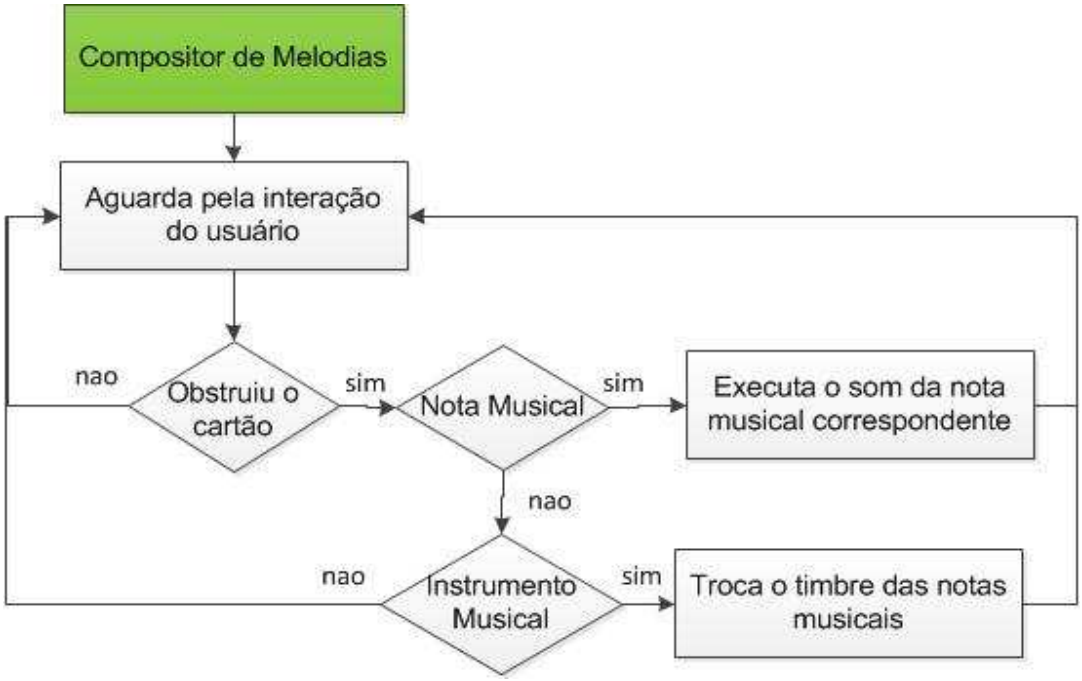


Figura 5.10 - Fluxograma de funcionamento do modo compositor de melodias do GenVirtual

A Figura 5.11 mostra imagens dos testes funcionais do modo compositor do GenVirtual. Foi utilizado um monitor de vídeo conectado à saída de vídeo de um *notebook* (utilizado para implementar o sistema) para simplificar a interface com o usuário, eliminando a presença do teclado e do mouse na frente do usuário.

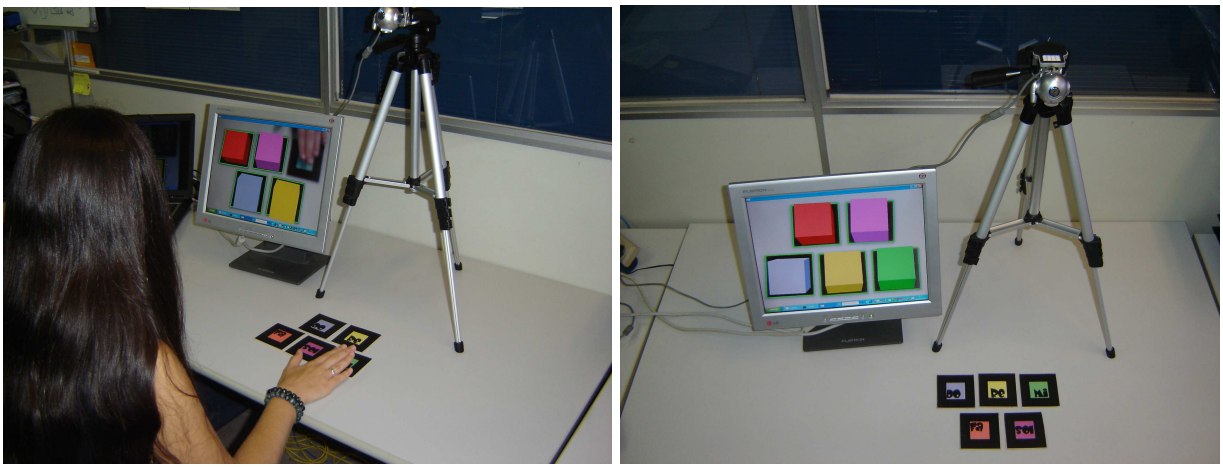


Figura 5.11 - Testes funcionais com a segunda versão do GenVirtual.

5.3.3 Terceira Versão

A terceira versão do protótipo é uma versão melhorada do modo jogo da memória musical e do modo compositor acrescido do jogo de tempo coincidente musical.

a) Jogo da Memória Musical

O jogo da memória musical foi ajustado para prover a utilização dos mesmos cartões musicais do modo compositor de melodias. Na tela inicial do jogo, foram adicionadas informações sobre o número total de peças, total de rodadas (tamanho da sequência musical) e pontuação (informando o número de acertos e erros). A Figura 5.12 mostra a tela inicial do jogo de memória musical do GenVirtual.

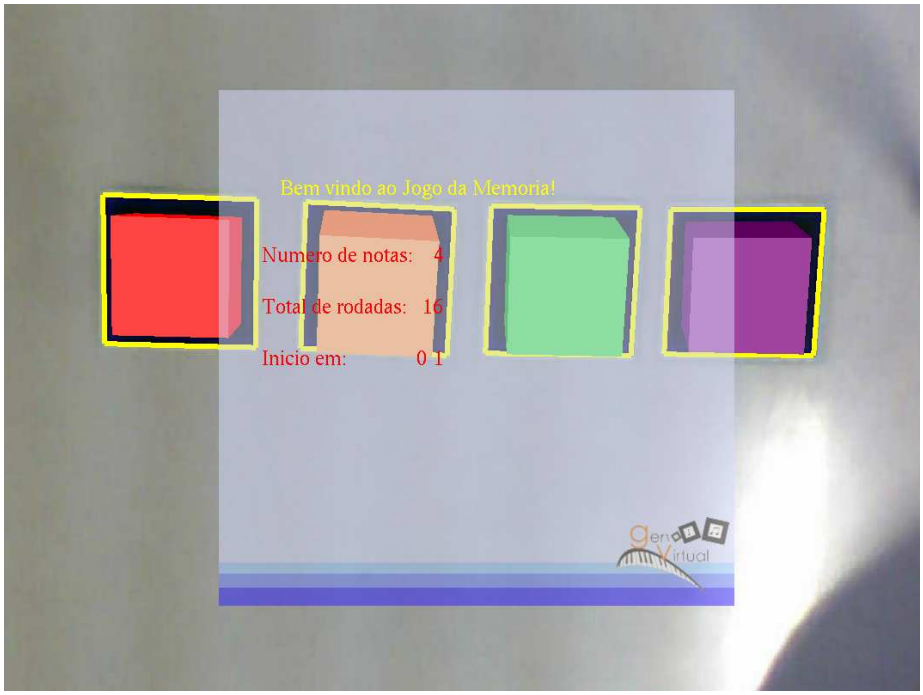


Figura 5.12 - Tela principal do jogo de memória musical da terceira versão do GenVirtual.

Foram feitos ajustes para melhorar a animação dos cubos virtuais. Os cubos giram à medida que as notas musicais vão sendo executadas pela sequência musical do jogo. A cada acerto, o sistema incrementa uma nota musical na sequência e o usuário recomeça a rodada. Caso contrário, o sistema emite uma mensagem de erro para o usuário. A Figura 5.13 mostra a animação dos cubos e o usuário tocando a nota musical em sequência.

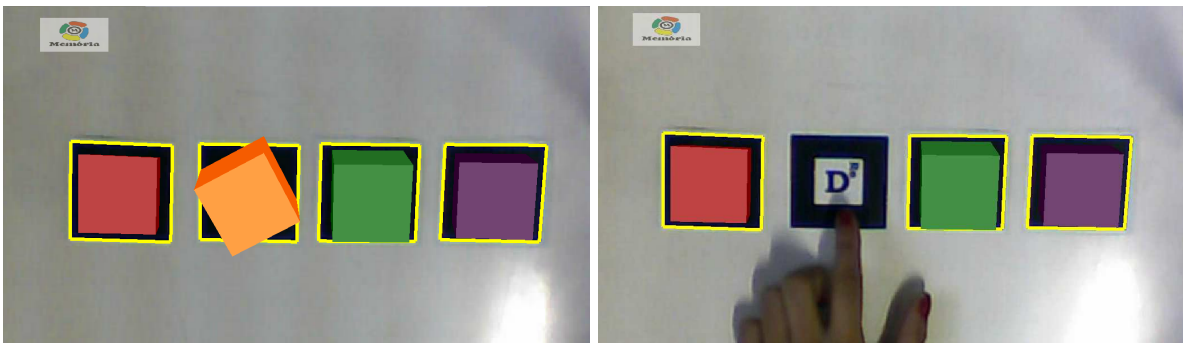


Figura 5.13 - Animação do jogo da memória musical do GenVirtual e interação do usuário

Caso o usuário erre a nota da sequência, então uma mensagem de erro é enviada ao usuário e o jogo recomeça. A Figura 5.14 mostra a imagem da tela de mensagem de erro do jogo da memória musical.

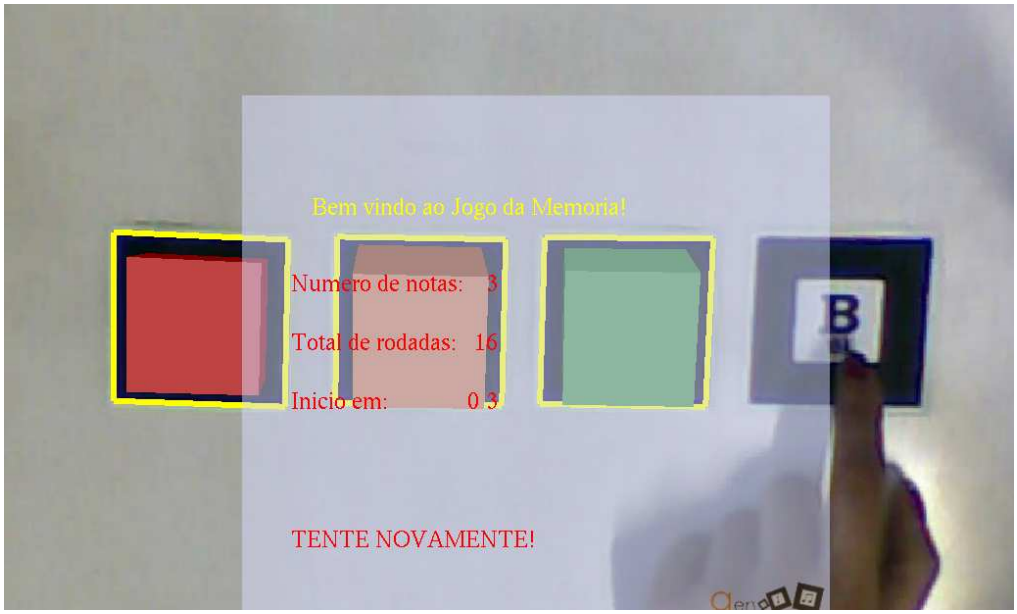


Figura 5.14 - Mensagem de erro do jogo da memória musical do GenVirtual

b) Modo Compositor

Foi ajustado para comportar o seguinte conjunto de cartões musicais:

- notas Musicais (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si);
- instrumentos musicais de corda (piano, violino e guitarra);
- instrumento musical de sopro (flauta doce);
- instrumentos musicais de percussão (prato, caixa, surdo, pandeiro, cuíca, repique, triângulo e chocalho);
- recursos auxiliares (cronômetro, microfone e clave de sol).

Um dos requisitos coletados nos testes, com a primeira versão do Genvirtual, foi de utilizar símbolos musicais nos marcadores com vista a facilitar o planejamento das atividades pelos terapeutas. Portanto, foi necessário personalizar os cartões do GenVirtual. Foram criados novos cartões cujos símbolos eram formados pela notação musical (C, D, E, F, G, A B). Entretanto, símbolos semelhantes como as letras E e F, ou C e G por exemplo, eram constantemente confundidos pelo sistema fazendo com que os sons das notas musicas ficassem mudando sem a interferência do usuário. Vários testes foram feitos até encontrar a melhor alternativa ilustrada na Figura 5.9. Foram acrescidas as sílabas correspondentes às notas musicais (C-Dó, D-Ré, E-Mi, F-Fá, G-Sol, A-La e B-Si) em posições diferentes para evitar esta confusão entre os símbolos. A Figura 5.15 mostra os cartões de notas musicais do GenVirtual.

Figura 5.15 - Cartões de Notas Musicais

Foram criados desenhos de instrumentos musicais de corda e sopro para personalizar os cartões de instrumentos musicais do GenVirtual (Figura 5.16). Estes cartões são utilizados para trocar o timbre das notas musicais.

Figura 5.16 - Cartões de instrumentos musicais de corda e sopro do GenVirtual

A Figura 5.17 mostra imagens dos oito cartões musicais de percussão criados para o GenVirtual. Estes cartões emitem os sons dos seus instrumentos correspondentes.

Figura 5.17 - Cartões de instrumentos musicais de percussão do GenVirtual

Foram também confeccionados três cartões auxiliares (cronômetro, microfone e clave de sol). A Figura 5.18 mostra os desenhos dos cartões auxiliares do GenVirtual.

Figura 5.18 - Cartões auxiliares

O cronômetro é utilizado para marcar o tempo das tarefas e foi um requisito solicitado pelos terapeutas durante testes com um paciente. Este requisito foi elencado, pois, nesta versão o sistema foi modificado para rodar em tela cheia. Dessa forma, não havia mais acesso ao relógio disponível no sistema operacional do computador.

Para acionar o cronômetro, é necessário colocar no campo de visão da *webcam* o cartão com o símbolo do cronômetro, podendo retirá-lo após o início da contagem, se o usuário assim desejar. Para pausar o cronômetro, basta apontar mais uma vez o cronômetro para a *webcam*, ou obstruí-lo, caso este não tenha sido retirado do campo de visão da *webcam*.

O microfone é um recurso que permite gravar as composições dos usuários. Assim como ocorre com o cronômetro, a gravação inicia apontando-se para a *webcam* o cartão com o símbolo de um microfone, podendo retirá-lo após o início da gravação, se o usuário assim desejar. Para finalizar a gravação, basta apontar mais uma vez o cronômetro para a *webcam*, ou obstruí-lo, caso este não tenha sido retirado do campo de visão da *webcam*.

A clave de sol é um recurso que permite ouvir a melodia gravada. Basta apontar o cartão da clave de sol no campo de visão da *webcam* que o sistema inicia o processo de reprodução do último áudio gravado. É possível ouvir a melodia gravada em outros timbres. Para isso, basta trocar o cartão do instrumento musical desejado antes de reproduzir o áudio.

O GenVirtual também possui um recurso para auxiliar nas atividades de recriação musical. Foram criadas partituras compostas por melodias que podem ser lidas por meio de bolinhas coloridas. As cores das notas musicais da partitura correspondem às mesmas cores das notas musicais do GenVirtual. A Figura 5.19 mostra uma das partituras musicais disponível no GenVirtual retirada do livro “Canções no Piano” baseado na obra *Winnie the Pooh* da Companhia *Disney Enterprises*..

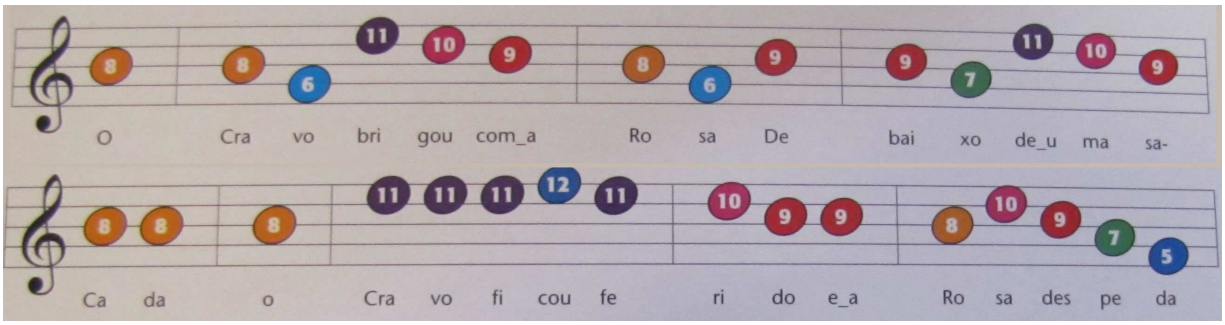


Figura 5.19 - Partitura musical do GenVirtual

As partituras podem ser acionadas por meio da tecla “P” do teclado e apenas no modo compositor. À medida que o usuário pressiona esta tecla, o sistema vai alternando as melodias do pentagrama (Figura 5.20). Para desativar o pentagrama, usa-se a tecla SHIFT+P.

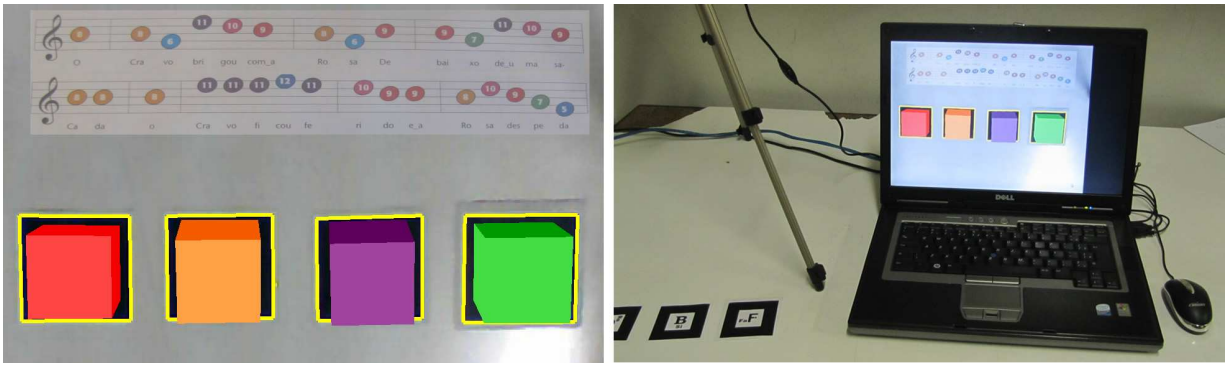


Figura 5.20 - Partituras na tela do GenVirtual

O algoritmo do modo compositor precisou de ajustes para possibilitar a utilização destes novos recursos. A cada repetição do ciclo de renderização, o sistema gera uma lista com o estado dos cartões musicais, que pode variar entre visível ou obstruído. Foi criado um método que verifica nesta lista quais marcadores estão obstruídos e, em seguida, envia essa informação a outro método que extrai destes cartões as instruções para execução das seguintes operações:

- **Executar Nota Musical:** Caso o símbolo do cartão seja uma nota musical, então o sistema envia uma mensagem MIDI para o sintetizador MIDI do Windows contendo informações, tais como, a frequência da nota musical e duração.
- **Executar Timbre do Instrumento Musical:** Caso o símbolo do cartão seja um instrumento musical, então o sistema envia uma mensagem MIDI para o sintetizador MIDI do Windows contendo a informação referente ao índice do timbre correspondente. Caso seja um instrumento de percussão, então o método executa um arquivo WAV, pois durantes os testes funcionais, foi observado que os sons gerados pelo protocolo MIDI dos instrumentos de percussão apresentavam volume muito baixo.
- **Executar Cronômetro:** O sistema ativa o cronômetro, caso seja a primeira vez que o cartão ficou visível; congela o cronômetro, caso seja a segunda vez que o cartão ficou visível; zera o cronômetro caso, seja a terceira vez que o cartão ficou visível.
- **Executar Gravação:** O sistema ativa a gravação de áudio caso o cartão correspondente estiver visível. Um vetor armazena apenas as informações das notas musicais que são executadas pelo usuário. Dessa forma, é possível reproduzir a gravação com vários timbres diferentes através da troca do cartão de instrumentos musicais.

- **Executar Reprodução:** O sistema envia, por meio de mensagens MIDI, as informações do vetor que contém a gravação para ser executado pelo sintetizador MIDI do Windows.

A Figura 5.21 mostra o novo fluxograma do modo compositor.

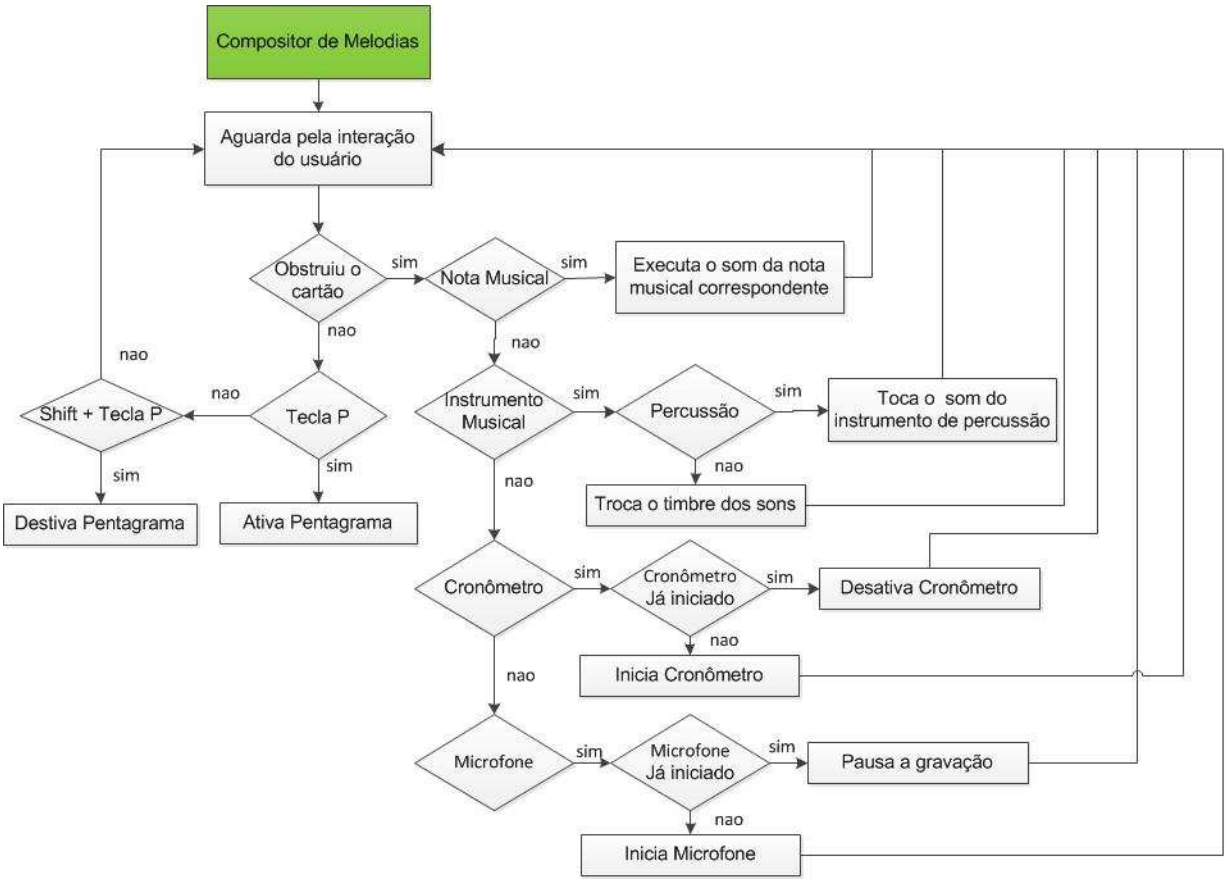


Figura 5.21 - Novo fluxograma do modo compositor de melodias do GenVirtual

A Figura 5.22 mostra imagens dos testes funcionais do modo compositor do GenVirtual sendo realizados num *notebook*. Como pode ser observado, o GenVirtual pode ser utilizado com a palma das mão abertas, com os dedos ou com as mãos em forma de punho.

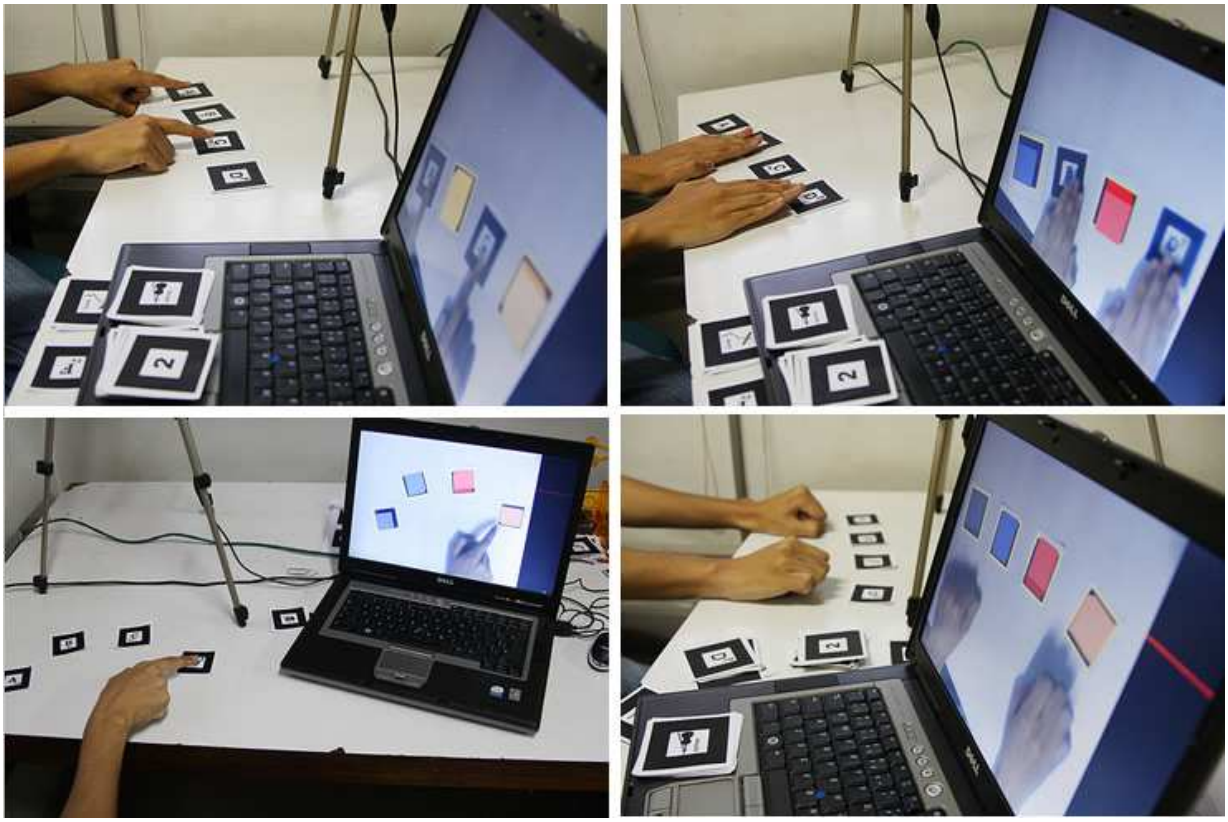


Figura 5.22 - Testes funcionais com a terceira versão do modo compositor de melodias do GenVirtual

Outros ajustes foram feitos como, por exemplo, trocar imagens dos instrumentos musicais (cubos pretos) pelo modelo 3D do respectivo instrumento. Os modelos 3D dos instrumentos musicais foram criados no *software* 3D Studio Max[16] e exportados no formato Collada. A Figura 5.23 mostra uma imagem do instrumento violino.

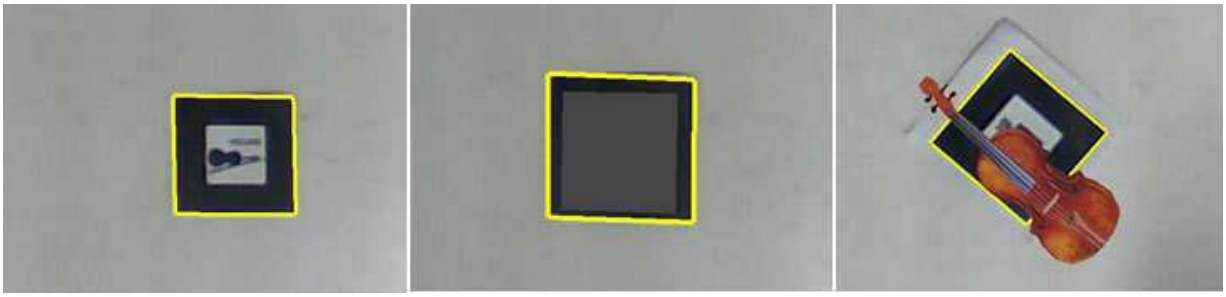


Figura 5.23 - Sequência em que é incluído o modelo 3D do instrumento musical violino

[16] *Software* para criação, modelagem e animação de modelos 3D.

c) Tempo Coincidente

O jogo de tempo coincidente do GenVirtual foi inspirado no jogo *Guitar Hero*[17]. Neste jogo, pequenas esferas surgem da parte superior da tela do computador e deslizam até a parte inferior em direção aos seus respectivos alvos. As esferas correspondem às notas musicais e deslizam na tela num determinado ritmo musical (melodia de acompanhamento) atingindo seu alvo exatamente no momento em que as notas musicais correspondentes devem ser executadas na melodia. As esferas possuem a mesma cor de seus respectivos alvos e representam a antecipação sonora das notas musicais a serem executadas na melodia. O objetivo do jogo é obstruir o máximo de alvos possíveis no exato momento em que as esferas correspondentes coincidirem com estes. A Figura Figura 5.24 mostra imagens do jogo de tempo coincidente do GenVirtual.

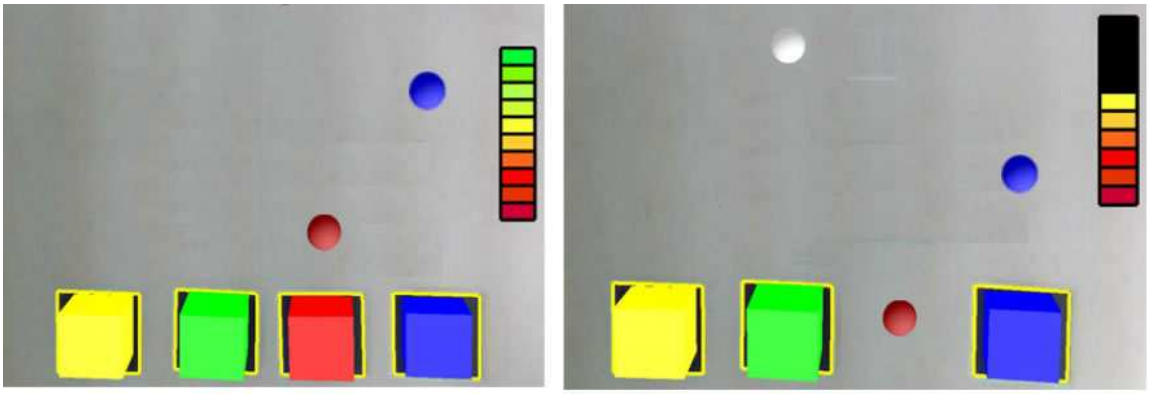


Figura 5.24 - Jogo tempo coincidente do GenVirtual

Neste jogo, o usuário pode escolher a quantidade de alvos que desejar. Os alvos correspondem às notas musicais e, portanto, somam-se no total, sete alvos respectivos às notas Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si. Caso o usuário consiga obstruir um alvo no momento certo, então a nota musical, respectiva a este alvo, é executada com uma intensidade maior do que as demais notas musicais da melodia, sobressaltando-se com um som mais forte. Caso contrário, um som que indica que o usuário errou.

[17] Desenvolvido pela companhia *Harmonix Music Systems* (desenvolvedora de videogames) e publicado pela *RedOctane* (companhia de entretenimento eletrônico) para o console Playstation 2.

O mecanismo de pontuação do jogo ativa uma barra de energia na tela do computador. A barra é composta de 10 blocos que correspondem ao total de energia e que são empilhados na barra. Os blocos possuem dois estados (preenchido e parcialmente preenchido). Um bloco preenchido equivale a 100 pontos e um bloco parcialmente preenchido equivale a 50 pontos. No início do jogo, a barra de energia aparece com 100% de energia (1.000 pontos) e o bloco no topo da pilha aparece no estado “preenchido”. A cada erro cometido pelo usuário, o sistema subtrai 50 pontos e o bloco do topo da pilha passa para o estado de “parcialmente preenchido”. Caso o usuário erre novamente, este bloco é eliminado da pilha e o um novo bloco passa a ser o topo da pilha no estado “preenchido”. Do mesmo modo, a cada acerto, o sistema soma 50 pontos. Caso o último bloco da pilha esteja no estado “preenchido” e, caso ainda haja espaço para empilhar blocos na pilha, então um novo bloco “parcialmente preenchido” é empilhado. Caso contrário, e, se ainda houver espaço na pilha, um novo bloco ”preenchido” é empilhado. O jogo termina quando o usuário consome todos os pontos da barra de energia sem completar o jogo (usuário perde o jogo) ou quando consegue completar o jogo, sem esgotar a barra de energia (usuário ganha o jogo).

Esferas brancas servem de prêmios e podem cair a qualquer momento e em qualquer um dos alvos. Caso o usuário os acerte, então a pontuação é dobrada de acordo com o seguinte critério: se o último bloco da pilha estiver parcialmente cheio (50 pontos), então o sistema soma mais 100 pontos; se o último bloco da pilha estiver totalmente cheio (100 pontos), então o sistema soma mais 200 pontos. O sistema não armazena mais que 1.000 pontos e, caso o usuário esteja com 9 blocos empilhados (900 pontos) e ganhe mais dois blocos (acertando o alvo com a esfera branca, por exemplo), então o sistema soma apenas os 100 pontos restantes para completar 100% de energia.

O grau de dificuldade do jogo aumenta na medida em que a velocidade e a frequência das esferas aumentam acompanhando o ritmo da melodia. O usuário pode optar pela sequência de melodias sugeridas pelo sistema (dos ritmos mais suaves e, portanto mais fáceis aos ritmos mais frenéticos e, portanto mais difíceis) ou selecionar a melodia que comandará o ritmo do jogo.

A Figura 5.25 mostra o fluxograma de funcionamento do jogo de tempo coincidente do GenVirtual.

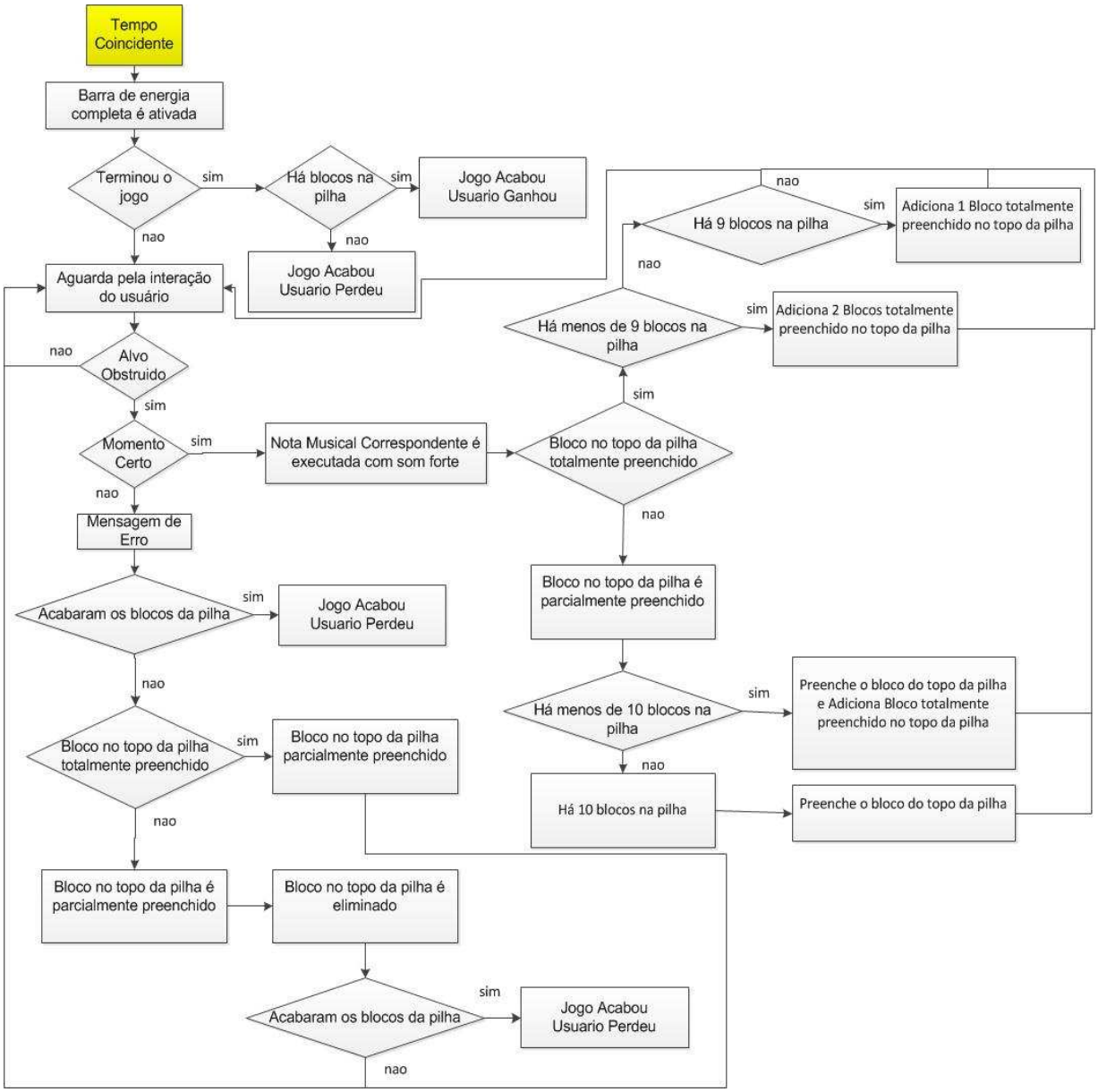


Figura 5.25 - Fluxograma do jogo Tempo Coincidente do GenVirtual

Para que o ciclo de desenvolvimento do GenVirtual pudesse ser finalizado, foi necessário realizar avaliações de usabilidade junto ao público alvo. Segundo Nielsen

(2003), o nível de usabilidade de um *software* é analisado ao se considerar a satisfação do usuário, em uma abordagem que valorize a experiência de uso do mesmo. *Softwares* desenvolvidos sem o atendimento aos requisitos de usabilidade levam a um desempenho deficiente e a uma redução da qualidade do aplicativo junto aos usuários. Os testes e avaliações das versões do GenVirtual são apresentadas no próximo Capítulo.

5.4 Considerações

Este capítulo apresentou detalhes da implementação do sistema GenVirtual. O sistema foi desenvolvido em etapas conforme os requisitos iam sendo elencados a partir dos testes funcionais de uso da ferramenta.

Foram destacadas as decisões e as dificuldades técnicas, inerentes a este tipo de aplicação, como por exemplo: o baixo desempenho computacional da versão preliminar implementada na linguagem Java, o alto custo de processamento quando se utiliza vários cartões marcadores simultaneamente, a necessidade de criar símbolos bem diversificados para não comprometer o processo de reconhecimento das imagens, entre outros. Os problemas encontrados foram superados conforme descrito neste capítulo.

6 TESTES E AVALIAÇÕES DO GENVIRTUAL

Este Capítulo descreve os testes e avaliações do GenVirtual que foram realizadas em três etapas. Para cada etapa são apresentados a metodologia, os resultados e as publicações. Além dos testes e avaliações do GenVirtual, descritas nesta seção, outros testes e avaliações qualitativos foram realizados durante a I e a II Feira Muito Especial de Tecnologia Assistiva realizadas em Agosto de 2009 no Rio de Janeiro (RJ) e em Outubro de 2009 em Olinda (PE) respectivamente (APÊNDICE C).

6.1 Primeira Etapa – Avaliação de Aplicabilidade com um Especialista em Musicoterapia

Nesta etapa, a primeira versão do GenVirtual foi testada por uma musicoterapeuta para avaliação de aplicabilidade. O objetivo foi verificar a aplicabilidade do jogo da memória musical como recurso de apoio à reabilitação em Musicoterapia e levantar possíveis requisitos para a implementação de nova versão.

6.1.1 Metodologia

A avaliação foi realizada no setor de Musicoterapia da AACD.

Participou desta avaliação, uma musicoterapeuta da AACD, formada em Música pela Faculdade Carlos Gomes (FCG), especialista em Musicoterapia pela Faculdade Paulista de Artes (FPA) e especialista em medicina comportamental pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). A musicoterapeuta atua na área clínica de Musicoterapia desde 1985 e ingressou na AACD em 1995, onde foi responsável pela supervisão do setor até Maio de 2011.

Os materiais utilizados foram: a primeira versão do GenVirtual (seção 5.2.1) instalada num *notebook* (Pentium 4 Intel de 1.0 GHz e 512mb de memória RAM), um monitor de vídeo de 15'' e uma *webcam* (*Logitech Webcam Pro 9000*).

Inicialmente, foi necessário organizar o espaço onde ocorreu o teste. O monitor de vídeo foi colocado sobre uma mesa e conectado na saída de vídeo do *notebook* onde estava instalado o GenVirtual. A *webcam* foi encaixada num suporte acima da região em que foram posicionados os cartões musicais sobre a mesa de modo a fornecer a distância mínima para comportar os cartões musicais posicionados linearmente. Em sequência, foram feitas algumas demonstrações de uso do GenVirtual e foi solicitado que a musicoterapeuta interagisse com o mesmo. O teste com o GenVirtual durou aproximadamente 90 minutos, iniciando a partir da montagem do equipamento na sala de musicoterapia até o final das discussões com a musicoterapeuta e foi registrado por meio de vídeos e anotações. A avaliação foi realizada com base num estudo etnográfico[18] por meio de gravações em vídeo e anotações e os principais resultados são descritos a seguir.

6.1.2 Resultados

Após a análise dos apontamentos e vídeos gravados durante o teste com a musicoterapeuta, foi possível identificar as possibilidades de uso da ferramenta em sessões de Musicoterapia que, de acordo com a musicoterapeuta, podem potencializar o tratamento convencional em dois aspectos:

[18] Os estudos etnográficos são realizados quando há um número reduzido de participantes sob análise. Baseiam-se em quatro tipos de métodos de análise de dados: a observação do participante, a entrevista etnográfica, a análise de artefatos e a introspecção (reflexão) do investigador (ATKINSON; HAMMERSLEY, 1994).

- **Estimulação cognitiva:** O jogo pode ser utilizado para estimular a atenção, concentração e memorização de cores e sons emitidos a partir dos elementos virtuais 3D.
- **Estimulação Física ou Motora:** O jogo pode ser utilizado para estimular ações motoras com base no planejamento dos cartões musicais no espaço da terapia.

A musicoterapeuta destacou uma característica a mais que as encontradas no jogo Genius do fabricante Estrela: "*proporciona o aprendizado motor, que ocorre de acordo com o planejamento da ação motora feito previamente pelo terapeuta. O planejamento pode variar em cada intervenção de acordo com as limitações físicas do paciente*".

A Figura 6.1, mostra a musicoterapeuta testando a primeira versão do jogo da memória musical do GenVirtual.

Figura 6.1 - Musicoterapeuta testando a primeira versão do jogo de memória musical do GenVirtual

A musicoterapeuta sugeriu outra forma de utilização do GenVirtual, não apenas como um jogo da memória, mas também como ferramenta de composição musical:

> "*poderíamos, por exemplo, utilizar livros de iniciação musical, que trazem as notas musicais das melodias escritas no pentagrama no sistema de cores. Cada cartão musical do GenVirtual poderia corresponder à uma nota musical do pentagrama. Logo, poderíamos utilizar os cubos virtuais coloridos como instrumentos de iniciação musical*".

Para entender melhor este processo, a musicoterapeuta mostrou uma adaptação manual, feita por ela, no piano da sala de Musicoterapia: foram colados adesivos coloridos nas teclas do piano para facilitar a memorização dos sons (Figura 6.2).

Figura 6.2 - Adaptação de cores nas teclas do piano da sala de Musicoterapia da AACD

Este apontamento inspirou o desenvolvimento do modo compositor de melodias. A Figura 6.3 mostra o momento em que a musicoterapeuta sugere como o GenVirtual poderia ser utilizado para iniciação musical em suas intervenções. Surgiu a idéia de que as cores dos cubos coloridos poderiam ser configurados para corresponder às cores utilizadas para representar notas musicais nos livros de iniciação musical

Figura 6.3 - Musicoterapeuta indicando atividades de composição musical com o GenVirtual

A musicoterapeuta sugeriu incluir os sons dos instrumentos de percussão para facilitar a interação de pacientes com distrofia muscular que não possuem força muscular suficiente para interagir com este tipo de instrumento. Esta sugestão parecia viável uma vez que a interação com o GenVirtual é feita por meio de processamento de imagens, e não seria necessário aplicar força nos dedos ou mãos para percutir os sons dos instrumentos musicais.

A partir da observação do vídeo com as discussões e comentários feitos pela musicoterapeuta, das anotações realizadas durante o teste com o GenVirtual, e dos estudos sobre Musicoterapia, sintetizados no Capítulo 2, foi possível elencar seis possíveis atividades que podem ser realizadas com o apoio do GenVirtual. A Tabela 6.1 mostra uma síntese dos resultados da análise feita nesta avaliação.

Tabela 6.1. Resultados da análise da primeira avaliação de uso do GenVirtual

ATIVIDADE	DESCRIÇÂO
Percepção visual	Possibilita a interação com os sons representados por cores e formas (cubos coloridos) e imagens de instrumentos musicais em 3D.
Percepção auditiva	Possibilita a interação com a escuta sonora das notas musicais e diferentes timbres por meio da execução reprodução de diversas melodias.
Reprodução musical	Possibilita trabalhar com a reprodução de melodias conhecidas pelo paciente. A reprodução pode ocorrer de duas formas: a) reproduzindo melodias conhecidas e memorizadas pelo paciente; b) reproduzindo melodias escritas em pentagramas que trazem a representação das notas em forma de cores.
Composição musical	Possibilita a autoria onde o paciente ou o terapeuta podem criar melodias. Estas melodias podem ser gravadas por um recurso de gravação sonora disponível no software.
Imitação musical	Possibilita desenvolver o eco-ritmo. O paciente imita uma determinada sequência musical executada pelo terapeuta e vice-versa.
Planejamento motor e cognitivo	Possibilita desenvolver modelos individualizados de exercícios físicos e motores por meio da disponibilização dos cartões marcadores sobre a mesa. A adição e subtração dos cartões na mesa podem aumentar ou diminuir a complexidade das tarefas, com novos desafios musicais.

Esta avaliação permitiu confirmar a aplicabilidade do GenVirtual para uso em sessões de musicoterapia. Um dos requisitos levantados, a partir da análise aqui descrita, foi a necessidade de incluir um modo de composição musical. De acordo com a musicoterapeuta, um compositor de melodias com as características de interação fornecidas pelo GenVirtual é essencial para a utilização da ferramenta com seus pacientes. O desenvolvimento desta funcionalidade resultou na segunda versão do sistema que foi avaliada na segunda etapa, apresentada na seção seguinte.

6.1.3 Publicações

Esta etapa resultou em quatro importantes publicações: dois artigos completos em anais de congressos (CORRÊA et al., 2007a), (CORRÊA et al., 2007b); um artigo completo em revista nacional (CORRÊA et al., 2008a) e um capítulo de livro (CORRÊA et al., 2007c). Cabe destacar que o artigo (CORRÊA et al., 2007a) foi agraciado com o prêmio de melhor artigo científico do Simpósio Brasileiro de Informática em Educação (SBIE) em 2007.

6.2 Segunda Etapa

Nesta etapa, a segunda versão do GenVirtual foi testada e avaliada em duas sessões terapêuticas diferentes: Musicoterapia (num centro de reabilitação) e Terapia Ocupacional (num ambiente domiciliar). A metodologia e os resultados destas duas avaliações, bem como os trabalhos publicados são descritos a seguir.

6.2.1 Avaliação de Uso em Sessão de Musicoterapia

O objetivo desta avaliação foi verificar a aceitabilidade do uso do GenVirtual por um paciente e se a ferramenta apresentava potencial para uso em sessões de Musicoterapia.

6.2.1.1 Metodologia

A avaliação foi realizada no setor de Musicoterapia da AACD.

Participaram desta avaliação, um paciente com Paralisia Cerebral (PC) e a musicoterapeuta que participou da avaliação do GenVirtual na etapa anterior. O diagnóstico clínico deste paciente era o seguinte:

- **Idade:** Cinco anos.
- **Número do prontuário da AACD:** 92011.
- **Disfunção motora:** Diparesia espástica (dificuldades em modular a força motora, impedindo a atividade eficaz dos membros). A diparesia quanto a topografia da lesão[19], afeta mais os MMII.
- **Quadro clínico:** Conforme relatório médico de 24/06/2010, a criança estava frequentando a escola normal, mas apresentando dificuldades de aprendizado. Apresentava fala disártrica, semi-independente para as atividades da vida diária (como: tomar banho, ir ao banheiro, vestir-se, entre outros), movimentos involuntários dos MMSS e iniciando treino com andador de marcha.

[19] Segundo Leite e Prado (2004), a PC pode ser classificada por dois critérios: pelo tipo de disfunção motora presente e/ou topografia da lesão. A disfunção motora inclui: os tipos extrapiramidal ou discinético (atetóide, coréico e distônico), atáxico, misto e espástico. A topografia da lesão inclui tetraplegia ou quadriplegia, monoplegia, paraplegia ou diplegia e hemiplegia. O quadro clínico pode acusar ainda deficiência mental, epilepsia, distúrbios visuais e auditivos, distúrbios de comportamento, de linguagem e/ou ortopédicos

Os materiais utilizados foram: a segunda versão do GenVirtual (seção 5.2.2) instalada num Notebook (Pentium 4 Intel de 1.0 GHz e 512mb de memória RAM), um monitor de vídeo de 15'' e uma *webcam* (*Logitech Webcam Pro 9000*).

A metodologia de avaliação foi realizada com base num estudo etnográfico por meio de gravações em vídeo e anotações. Buscou-se avaliar algumas das metas decorrentes da experiência do usuário[20] (PREECE et al., 2005): se o GenVirtual é agradável, divertido e esteticamente apreciável. A cuidadora do paciente foi informada sobre os objetivos e os procedimentos da pesquisa e foi solicitado a ela que assinasse o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para que o teste pudesse ser registrado através de gravações em vídeo. O equipamento foi montado, na sala de musicoterapia, no mesmo espaço onde ocorreu o teste da etapa anterior. Inicialmente, a musicoterapeuta fez um planejamento sequencial e linear com os cartões musicais sobre a mesa. Em seguida, sentou-se ao lado do paciente e mostrou a ele um movimento para estimular os MMSS: impulsionou um de seus braços para frente e para trás de forma a alcançar e obstruir os cartões musicais em foco. Em seguida, ajudou o paciente a realizar os mesmos exercícios, segurando em seu braço esquerdo e solicitou que ele o fizesse sozinho. Os exercícios foram feitos divididos em três estágios: 10 minutos com o braço esquerdo, depois mais 10 minutos com o braço direito e depois mais 10 minutos com ambos os braços, um de cada vez, alternando-os a cada término de uma sequência linear. Um observador anotou os comentários feitos pelos participantes no decorrer deste teste. Os principais resultados são descritos a seguir.

6.2.1.2 Resultados

A Figura 6.4 mostra o paciente utilizando o modo compositor do GenVirtual. As imagens mostram o primeiro estágio dos exercícios feitos com o MMSS esquerdo. A

[20] Enquanto as metas de Usabilidade são descritas de forma mais objetivamente mensurável, as metas da Experiência de Usuário são mais subjetivas, verificadas principalmente através da observação de uso e opinião dos usuários (PREECE et al., 2005).

musicoterapeuta cronometrou o tempo dos exercícios utilizando seu relógio de pulso e sugeriu que o sistema pudesse cronometrar e controlar o tempo das tarefas.

Figura 6.4 - Paciente testando a segunda versão do GenVirtual em sessão de Musicoterapia

No segundo estágio dos exercícios, realizados com MMSS direito, foi observado que ao tentar obstruir os cartões marcadores, o paciente os empurrava para fora do campo de visão da *webcam*. Isto aconteceu por dois motivos: **a)** os cartões foram impressos em papelão o que os deixou muito leves; **b)** o MMSS direito era o mais negligenciado nas atividades-de-vida-diária deste paciente por consequências da paralisia cerebral. Como pode ser observado na Figura 6.5a, o paciente não apresentava coordenação motora suficiente para controlar os movimentos feitos pela mão direita. Foi necessário interromper o exercício para fixar os cartões na mesa com um adesivo (Figura 6.5b).

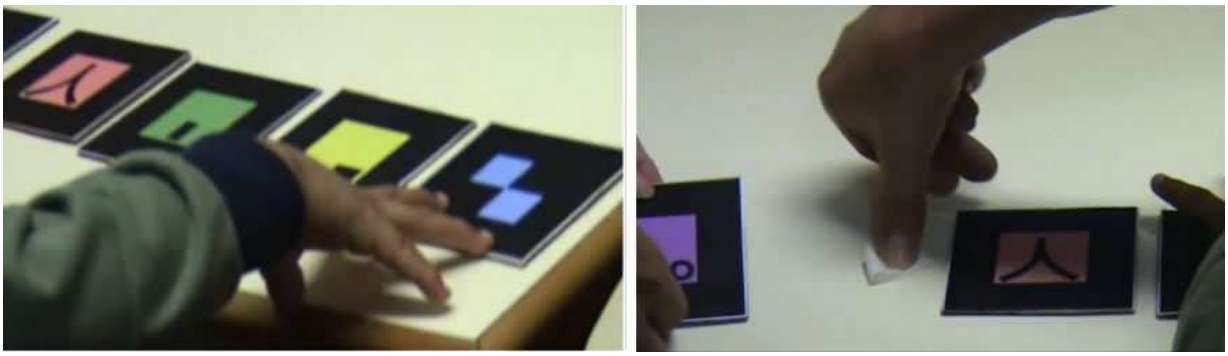


Figura 6.5 - **(a)** Exercícios com a mão direita; **(b)** Cartões marcadores sendo fixados na mesa

A cuidadora deste paciente acompanhou todo o teste e, observando suas dificuldades para realizar os exercícios com o MMSS direito, solicitou à musicoterapeuta permissão para ajudá-lo com os movimentos da mão direita. A cuidadora e a musicoterapeuta auxiliaram o paciente durante todos os exercícios do segundo e terceiro estágios e sugeriram um recurso para gravar as sequências de sons executadas pelo paciente.

Após a análise dos vídeos e das anotações feitas pelo observador durante este teste, foi possível identificar requisitos do sistema:

- incluir um recurso que possibilite cronometrar o tempo das tarefas;
- incluir um recurso para gravar as composições;
- incluir um recurso para ouvir as composições gravadas;
- colar os cartões marcadores em algum material antiderrapante.

No momento da montagem do equipamento na sala de Musicoterapia, o paciente mostrou-se curioso e ansioso para utilizar a ferramenta. Os cartões marcadores foram o maior alvo de interesse do paciente, o que possibilitou considerar a interface esteticamente apreciável.

O paciente utilizou o sistema durante os trinta minutos propostos. Não houve reclamações por parte do paciente ou do cuidador. Não houve desvio do foco de atenção do paciente enquanto fazia os exercícios propostos. O paciente apresentava uma expressão de satisfação e felicidade ao interagir com a ferramenta. Estas observações possibilitaram considerar a interface divertida e agradável de utilizar.

6.2.2 Avaliação de Uso em Sessão de Terapia Ocupacional

O objetivo desta avaliação foi verificar se o GenVirtual se apresentava como uma ferramenta potencial para uso em ambiente domiciliar.

6.2.2.1 Metodologia

A avaliação foi realizada em domicílio por solicitação de uma família que entrou em contato por e-mail com a autora, após ter visto uma reportagem sobre este projeto de pesquisa.

Participaram desta avaliação: uma Terapeuta Ocupacional, uma criança com paralisia cerebral (PC), com 5 anos de idade, e seus pais. Foi agendada uma visita no domicílio da família no horário em que a Terapeuta Ocupacional do paciente atende em domicílio, a fim de que a mesma estivesse presente para utilizar o GenVirtual em sua intervenção.

Os materiais utilizados foram: a segunda versão do GenVirtual (seção 5.2.2) instalada num *notebook* (Pentium 4 Intel de 1.0 GHz e 512mb de memória RAM) e uma *webcam* (*Logitech Webcam Pro 9000*) equipada com um tripé.

A metodologia de avaliação foi realizada com base num estudo etnográfico por meio de vídeos, anotações e questionários de satisfação da interação do usuário baseado no método QUIS (*Questionnaire for User Interaction Satisfaction*) (FILARDI; TRAINA, 2008). Os pais e a terapeuta foram informados sobre os objetivos e os procedimentos da pesquisa e foi solicitado a eles que assinassem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O equipamento foi montado sobre uma mesa com cadeira localizada no quarto do paciente. Foi feita uma demonstração de uso do GenVirtual para a terapeuta e para os pais. Em seguida, a terapeuta sentou-se junto com o paciente e demonstrou o GenVirtual. Após alguns minutos, a terapeuta mostrou ao paciente como interagir com a ferramenta por meio de alguns movimentos com os MMSS. Em seguida, solicitou a ele que reproduzisse os movimentos. Um observador anotou os comentários feitos pelo participante no decorrer deste teste. Os principais resultados são descritos a seguir.

6.2.2.2 Resultados

A Figura 6.6 mostra a terapeuta ensinando o paciente a utilizar o GenVirtual. Este paciente apresentava dificuldades para utilizar a mão direita devido às consequências da PC e, portanto, queria utilizar somente sua mão esquerda, que era a menos negligenciada. Quando era solicitado que utilizasse a mão direita (mão plégica), o paciente tentava por poucos minutos, mas logo passava para a mão esquerda. Mesmo com a orientação da terapeuta e dos pais, o paciente resistia em fazer os exercícios com o braço plégico e demonstrou irritação no momento em que a terapeuta segurou seu braço esquerdo para que não o utilizasse com o GenVirtual. Segundo a terapeuta, este procedimento de imobilizar o braço não lesado é uma ação comum empregada em seus métodos terapêuticos com o objetivo de estimular o uso do braço plégico. A terapeuta tentou amarrar a mão esquerda do paciente com uma meia para que não tentasse utilizá-la nos exercícios, mas o paciente descobriu que o GenVirtual executa os sons dos instrumentos musicais apenas com a obstrução dos cartões e, que mesmo com a meia amarrada nas mãos, conseguia interagir com o sistema. Interessante ressaltar que mesmo com uma das mãos amarradas, o paciente continuou demonstrando interesse pelo GenVirtual. A Figura 6.7 mostra o paciente com uma das mãos amarradas com a meia.

Figura 6.6 - Testes da terceira versão do GenVirtual em domicílio

Figura 6.7 - Testes da terceira versão do GenVirtual em domicílio

No final deste teste, os pais e terapeutas responderam a um questionário de satisfação (APÊNDICE D) que estava sendo elaborado para uso nas avaliações da terceira etapa. Este teste ajudou a validar o questionário que precisou de ajustes para uso na terceira etapa.

Os dados coletados mostraram que tanto a terapeuta quanto a família consideraram o GenVirtual interessante, divertido e fácil de usar. As atividades terapêuticas realizadas foram consideradas satisfatórias e as instruções para utilizar o GenVirtual, foram consideradas de fácil assimilação. Foi possível concluir que o GenVirtual tem potencial para estar a serviço das atividades terapêuticas utilizadas em domicílio.

Após a análise das imagens e das anotações feitas pelo observador durante este teste, foi possível identificar outro requisito do sistema:

- incluir um recurso que estimule o paciente a utilizar ambas as mãos simultaneamente.

A partir deste requisito, foi criado o jogo de tempo coincidente do GenVirtual e elaboradas sugestões de situações em que é necessário utilizar ambas as mãos simultaneamente para atingir o objetivo do jogo.

6.2.3 Publicações

Estes estudos resultaram em três publicações: dois artigos completos em anais de congressos (CORRÊA et al., 2008b), (CORRÊA et al., 2009a) e um capítulo de livro (CORRÊA et al., 2009b).

6.3 Terceira Etapa

Nesta etapa, a terceira versão do GenVirtual foi testada e avaliada em três pilotos: **a)** por um grupo de musicoterapeutas com vistas a validar o conjunto de requisitos relacionados ao "fazer musical" musicoterapêutico; **b)** por um grupo de pacientes com déficits motores em sessões de Musicoterapia na AACD; **c)** por um grupo de pacientes com distrofia muscular de Duchenne em sessões de Terapia Ocupacional na ABDIM. A metodologia e os resultados destas avaliações, bem como os trabalhos publicados, são descritos a seguir.

6.3.1 Avaliações dos Requisitos do "Fazer Musical" por Musicoterapeutas

O objetivo deste teste foi validar os requisitos referentes ao "fazer musical" musicoterapêutico apresentados na Tabela 4.1 do Capítulo 4.

6.3.1.1 Metodologia

A avaliação foi realizada no setor de Musicoterapia da AACD durante um encontro de musicoterapeutas.

Participou desta avaliação um grupo composto por 11 musicoterapeutas advindos de diferentes estados brasileiros.

Os materiais utilizados foram: a terceira versão do GenVirtual (seção 5.2.2) instalada num computador (Pentium II Intel de 1.0 GHz e 512mb de memória RAM), um monitor de 15'' e uma *webcam* (*Logitech Webcam Pro 9000*) equipada com um tripé.

A metodologia de avaliação foi realizada por meio de um questionário de avaliação dos requisitos elaborado pela autora (APÊNDICE E). A musicoterapeuta, responsável pelo setor, formou grupos compostos por três pessoas cada e realizou oficinas de uso do GenVirtual. Inicialmente, o sistema foi apresentado aos participantes que, em seguida, interagiram com o mesmo. Durante o experimento, a musicoterapeuta apontou possíveis atividades de musicoterapia que poderiam ser apoiadas com uso do sistema e solicitou que os musicoterapeutas testassem estas atividades. Ao final do experimento foi solicitado, a cada um dos participantes, que preenchessem um questionário. Os principais resultados são descritos a seguir.

6.3.1.2 Resultados

Após a análise dos dados coletados nos questionários, constatou-se que o GenVirtual contempla todas as atividades musicais propostas na Tabela 4.1 do Capítulo 4:

- A recriação musical pode ser realizada por meio da interação com os cartões musicais. Pode-se recriar composições escritas nas partituras do GenVirtual. Pode-se transformar uma linha melódica ou parte dela alterando os instrumentos musicais disponíveis no sistema.
- A composição musical pode ser realizada por meio da interação com os cartões musicais. Pode-se criar composições livres ou parte de melodias inéditas e gravá-las no sistema.
- A imitação musical pode ser realizada por meio da interação com os cartões musicais onde o usuário pode interagir de improviso, sons de instrumentos

musicais variados. As sonoridades dos instrumentos musicais da ferramenta se aproximam da sonoridade dos instrumentos convencionais.

- A audição sonora e musical é possibilitada pelo recurso do gravador e da clave de sol disponíveis no sistema.

Além das questões objetivas, foram feitas duas perguntas abertas em relação aos pontos fortes e fracos do GenVirtual. Os pontos fortes destacados são:

- possibilidade de se trabalhar os sons das notas musicais relacionadas às cores;
- facilidade e simplicidade de uso da aplicação;
- baixo custo para aquisição;
- apresentar um recurso moderno e atual que agrada, entretém e diverte as crianças desta nova geração;
- possibilidade de usar o computador com o paciente;
- possibilidade de uso por parte de pessoas com graves comprometimentos motores;
- possibilidade de gravar e reproduzir improvisos musicais.

Os pontos fracos destacados foram:

- sonoridade de alguns instrumentos musicais um pouco diferente do instrumento convencional, o que pode atrapalhar as atividades de apreciação sonora e musical;
- resultado sonoro, às vezes, é “lentificado” pelo sistema.

6.3.2 Avaliações de Uso em Sessões de Musicoterapia na AACD

O objetivo destas avaliações foi avaliar a motivação e a satisfação dos pacientes e cuidadores em intervenções de Musicoterapia apoiadas pelo GenVirtual.

6.3.2.1 Metodologia

As avaliações foram realizadas no setor de Musicoterapia da AACD.

Os materiais utilizados foram os mesmos já citados nos testes da seção 6.3.1.

Participaram dos testes três pacientes enquadrados no programa de reabilitação para MMSS no setor de Musicoterapia da AACD com média de 6 anos de idade. Foram excluídos do estudo os indivíduos com baixa cognição, com intercorrências clínicas e com baixa aderência ao tratamento de reabilitação.
A metodologia de avaliação foi realizada por meio de um questionário de satisfação da interação do usuário baseado no método QUIS (APÊNDICE F) que foi aplicado ao terapeuta no final de cada sessão. Buscou-se avaliar os fatores: **a)** satisfação do terapeuta; **b)** motivação dos pacientes; **c)** facilidade de uso do GenVirtual; **d)** aplicabilidade; **e)** interesse em continuar utilizando o GenVirtual em sessões de Musicoterapia. Foram elencados três procedimentos para estimular a função da musicalidade e a função motora com os seguintes objetivos: estímulo da percepção visual; estímulo da percepção auditiva; e imitação motora a partir do *feedback* auditivo. Os procedimentos foram os seguintes:

1. **Percepção visual:** O paciente tocava nos cubos virtuais na medida em que a musicoterapeuta solicitava a execução de uma determinada cor. Quando o paciente entendeu o procedimento, a musicoterapeuta citava uma determinada sequência de cores e o paciente tentava reproduzi-la.

2. **Percepção sonora:** O terapeuta executava uma determinada nota musical no teclado musical (timbre do piano) e solicitava que o paciente a reproduzisse

através do GenVirtual, ou seja, o paciente tentava identificar, entre os cartões marcadores, o som correspondente ao executado pela musicoterapeuta. Foi solicitado também que o paciente trocasse o timbre das notas musicais e, em seguida, identificasse qual seria o instrumento musical referente ao timbre apreciado. Quando o paciente demonstrava reconhecimento do timbre dos instrumentos musicais, a musicoterapeuta solicitava um determinado timbre e o paciente se mobilizava para reconhecer o instrumento musical solicitado.

3. **Imitação musical:** A musicoterapeuta tocava uma determinada sequência musical no teclado eletrônico e o paciente tentava reproduzí-la com uso do GenVirtual (eco-ritmo). Outrora invertia os papéis: solicitava que o paciente executasse uma determinada sequência musical e, em seguida, a reproduzia no teclado musical.

Os pacientes e seus cuidadores foram informados sobre os objetivos e os procedimentos da pesquisa. Foi solicitado aos cuidadores que preenchessem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para que os experimentos pudessem ser registrados através de fotos e vídeos. Os testes foram feitos individualmente, na sala de musicoterapia, e com duração de 30 minutos cada. O participante foi adequadamente posicionado sentado, em frente a uma mesa, sobre a qual estavam os materiais. Os principais resultados são discutidos a seguir.

6.3.2.2 Resultados

O estudo buscou a avaliação da experiência de interação dos participantes numa sessão de Musicoterapia. Os resultados da análise dos dados coletados nos questionários indicam que a musicoterapeuta considerou que:

- ficou satisfeita com os resultados das intervenções;
- o paciente se sentiu muito motivado após as intervenções;

- é fácil utilizar o GenVirtual;
- possui aplicabilidade adequada para o setor de Musicoterapia;
- tem interesse em continuar utilizando o GenVirtual com estes e outros pacientes.

A Figura 6.8 mostra imagens do teste no setor de musicoterapia da AACD.

Figura 6.8 - **a)** Instruções de uso do GenVirtual; **b)** Atividades de imitação musical.

Os pontos fortes destacados foram:

- **Diversão:** A possibilidade de acompanhar o ritmo musical da musicoterapeuta e de criar sua própria música despertou o interesse e a diversão do paciente. Segundo Preece et al. (2005), a diversão é um aspecto contribuinte para o prazer e inclui atenção, concentração, envolvimento, entre outros. Estes aspectos foram explorados com o GenVirtual.
- **Motivação:** O GenVirtual melhorou o desempenho e a ação do paciente ao realizar os exercícios de formas diferentes possibilitando sair da rotina dos exercícios convencionais.
- **Criatividade:** Foi observado que alguns pacientes demonstraram suas habilidades musicais, o que possibilita considerar que o GenVirtual pode ser

utilizado como meio incentivador de criatividade (requisito que satisfaz uma das metas decorrentes da interação do usuário).

- **Utilidade:** O GenVirtual possibilitou o desenvolvimento de diversas atividades musicoterapêuticas feitas na forma como era preciso e de que se esperava.
- **Aprendizado:** As tarefas foram realizadas sem muito esforço tanto por parte do terapeuta, no momento de criar o planejamento das tarefas, quanto por parte do paciente ao interagir com o sistema.
- **Inclusão Digital:** Nenhum dos pacientes havia anteriormente interagido com um ambiente de Realidade Aumentada.

6.3.3 Avaliações de Uso em Sessões de Terapia Ocupacional na ABDIM

O contato direto com as instituições de reabilitação propiciou interações e discussões com especialistas de outras áreas da reabilitação como, por exemplo, terapeutas ocupacionais da ABDIM. A apresentação da proposta deste trabalho gerou interesse, por parte desses terapeutas, de verificar se uma interface sonora teria potencial de uso também em Terapia Ocupacional. Dessa forma, foi elaborado um plano de trabalho para uso desta ferramenta no setor de Terapia Ocupacional da ABDIM. O objetivo foi verificar se o GenVirtual, aplicado a um programa de reabilitação de MMSS, era capaz de interferir na motivação, satisfação e, consequente, na aderência aos exercícios da Terapia Ocupacional, em pacientes com distrofia muscular de Duchenne. Cabe ressaltar que esta pesquisa foi agraciada com um prêmio de melhor pôster no Congresso Internacional de Reabilitação Infantil (KLEIN et al., 2009).

6.3.3.1 Metodologia

As avaliações foram realizadas no setor de Terapia Ocupacional da ABDIM.

Os materiais utilizados foram: a terceira versão do GenVirtual (seção 5.2.2) instalada num computador (Pentium II Intel de 1.0 GHz e 512mb de memória RAM), um monitor

de 17'' e uma *webcam* (*Logitech Webcam Pro 9000*) equipada com um tripé adaptada com um cano de PVC[21].

Participaram dos testes 16 pacientes enquadrados no programa de reabilitação para MMSS no setor de Terapia Ocupacional da ABDIM com diagnóstico de distrofia muscular de Duchenne[22], com média de 20 anos de idade. Todos os pacientes eram usuários de cadeira de rodas com grave limitação física e funcional e dependentes para quase todas as atividades básicas de vida diária. Os pacientes apresentavam limitação em MMSS: incapacidade de movimento ativo de flexão de ombros, déficit para flexão e extensão ativa de cotovelos, pronação e supinação ativas prejudicadas, bem como deformidades em punhos e dedos resultantes do desequilíbrio muscular. Os critérios de inclusão adotados foram: possuir diagnóstico de DMD e realizar programas de reabilitação específicos de MMSS na ABDIM no mínimo há 12 meses. Os critérios de exclusão foram: possuir algum déficit cognitivo e pacientes não alfabetizados. Os exercícios de reabilitação de MMSS elencados foram: **a)** exercícios para extensão ativa de cotovelo; **b)** pronação/supinação de antebraço e **c)** extensão de punho.

Os pacientes foram aleatorizados, por meio de sorteio, em dois grupos:

- **Grupo Intervenção (GI):** composto por 11 pacientes que receberam um programa de reabilitação utilizando o GenVirtual (GV) (Figura 6.9a).

- **Grupo Controle (GC):** composto por 05 pacientes que receberam um programa de reabilitação utilizando os recursos convencionais de reabilitação com massa de modelar e bastão (MMB) (Figura 6.9b). O GC ficou com menor

[21] Cloreto de polivinila ou policloreto de vinila mais conhecido pelo acrônimo PVC (*Polyvinyl Chloride*).

[22] A Distrofia Muscular de Duchenne (DMD) se caracteriza por fraqueza muscular progressiva, deterioração e degeneração das fibras musculares, sendo estas de transmissão hereditária. Afeta crianças do sexo masculino com uma expectativa de vida atual em torno de 20 anos. Na DMD, os sinais clínicos iniciam-se entre 3-5 anos de idade (com quedas freqüentes, dificuldades para subir escadas, correr e levantar do chão), levando ao retardo do desenvolvimento motor. O confinamento à cadeira de rodas se dá, em média, após os 12 anos de idade e os afetados raramente sobrevivem após a terceira década de vida.

quantidade de pacientes em relação ao GI, pois, houve algumas desistências de tratamento no setor logo no início desta avaliação.

Figura 6.9 - **a)** Paciente do grupo GI utilizando o GenVirtual - GV); **b)** Paciente do GC utilizando os materiais convencionais (massa e bastão - MMB)

Para coleta de dados, foi elaborado um questionário (APENDICE G) baseado na escala Likert[23] (LAERHOVEN et al., 2004). Buscou-se avaliar os fatores apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2. Fatores para avaliação da Aplicabilidade do GenVirtual na ABDIM

USUÁRIOS	FATORES DE AVALIAÇÂO
Paciente	• facilidade de uso do equipamento durante a terapia, • efeito do exercício, • grau de motivação ao realizar o exercício, • grau de satisfação ao realizar o exercício.
Terapeuta	• praticidade de uso do equipamento (pré e pós), • instruções ao paciente, • grau de motivação do paciente (visão do terapeuta).

[23] Na aplicação da escala Likert os pacientes indicavam o seu grau de concordância ou discordância com declarações relativas à realização das tarefas. A pontuação foi distribuída da seguinte forma 100% (excelente), 80% (muito bom), 60% (bom), 40% (ruim), 20% (muito ruim) e 0% (péssimo).

Cada grupo recebeu intervenção de 30 minutos semanais durante 16 semanas (4 meses). A cada três semanas de intervenção, um questionário era aplicado pelo avaliador cego[24]. Ao final de 12 sessões, os grupos foram invertidos, ou seja, o GI passou a usar MMB e o GC passou a usar o RGV. Devido ao período de férias que estava se aproximando, as novas avaliações, com os grupos invertidos, duraram apenas 04 semanas (01 mês). Sendo assim, a cada semana de intervenção, um questionário era aplicado pelo avaliador cego. A Figura 6.10 mostra um esquema da metodologia desta avaliação.

[24] Avaliador não comprometido com a intervenção clínica ou avaliações e que desconheça qual grupo o paciente pertenceu.

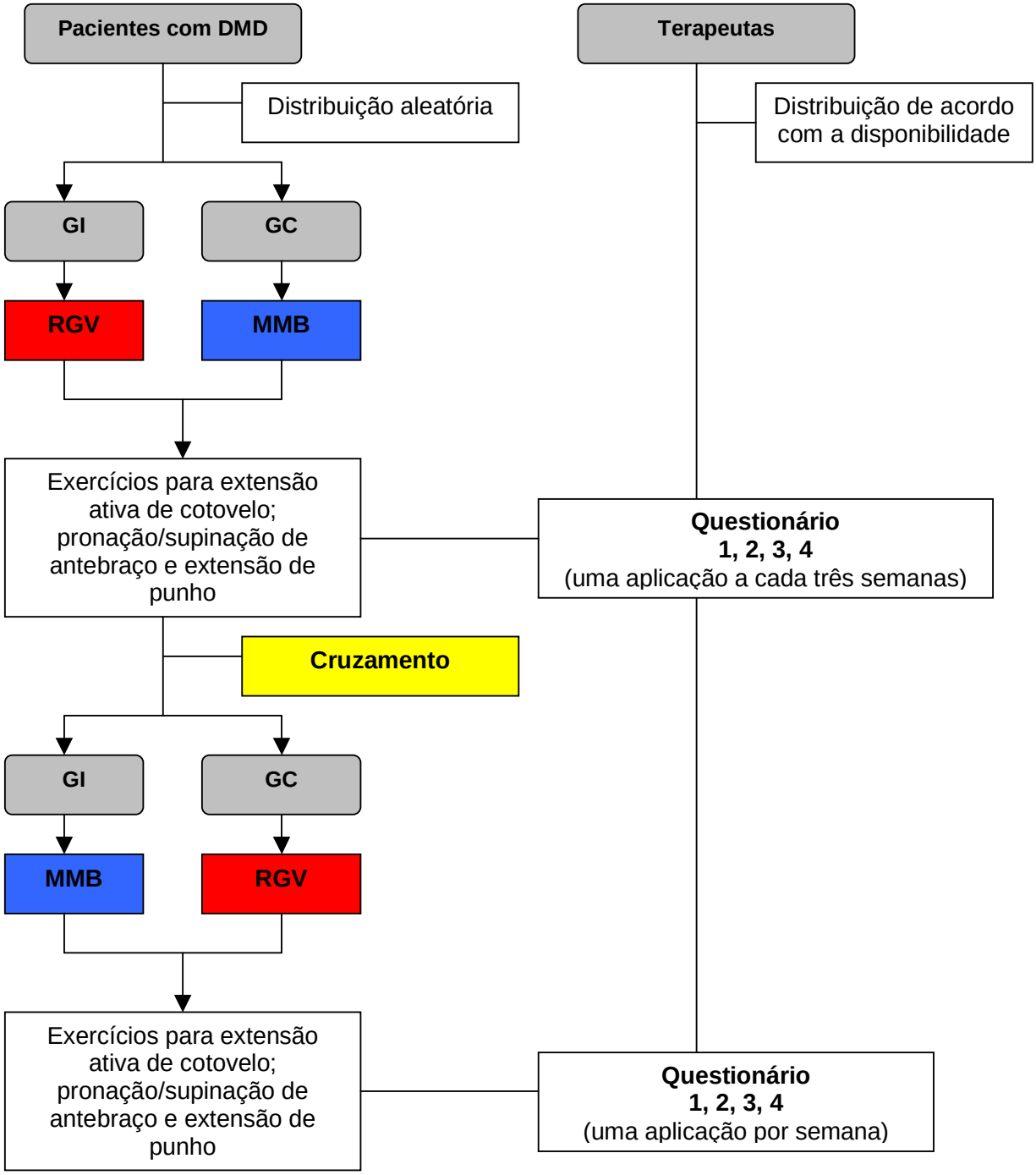


Figura 6.10 - Representação esquemática da metodologia da avaliação na ABDIM

Após a primeira sessão (semana 1), os pacientes foram interrogados (por um avaliador cego) sobre seu grau de motivação e satisfação ao realizar os exercícios. Após quatro, oito e doze sessões a mesma avaliação foi novamente reaplicada.

6.3.3.2 Resultados

Os resultados da análise das respostas dos pacientes são apresentados, detalhadamente no Apêndice H e Apêndice I, e sinteticamente a seguir.

Em relação à **facilidade de uso**, o GI considerou que a reabilitação com massa de modelar e bastão (MMB) são mais fáceis de usar que a reabilitação com o GenVirtual (RGV). Os pacientes do GI disseram que o processo de organização dos cartões musicais na mesa, para alcançar um determinado “layout” específico na RGV leva um tempo maior em relação ao uso da massa e do bastão na MMB. Para o GC, a RGV mostrou-se mais fácil de usar que a MMB. Esta divergência entre os grupos pode ser relativa à motivação dos pacientes que vinham utilizando massa e bastão durante 12 semanas consecutivas e depois passaram a utilizar o GenVirtual e, portanto, acharam o GenVirtual mais interessante e divertido.

Em relação ao **efeito do exercício**, os grupos GI e GC acharam que a MMB faz mais efeito que a RGV, ou seja, os pacientes tiveram a percepção de que a resistência do material é mais importante. Com a MMB é necessário aplicar uma determinada força para esticar/modelar a massa, o que não é necessário na RGV. O esforço muscular realizado é no sentido de esticar ou flexionar os braços, punhos e dedos para alcançar os cartões marcadores. A necessidade deste esforço pode dar esta percepção de que o efeito foi melhor. Deve-se ressaltar que o objetivo dos exercícios podem ser diferentes. Para os casos em que seja importante a amplitude do movimento, o RGV pode ser eficaz uma vez que o importante é a amplitude e não a força aplicada.

Em relação ao **grau de motivação**, os grupos GI e GC acharam (em média), a RGV mais motivadora que a MMB.

Em relação ao **grau de satisfação**, os grupos GI e GC ficaram (em média), satisfeitos com o resultado dos exercícios. A Figura 6.11 mostra imagens de uma das sessões terapêuticas realizadas na ABDIM.

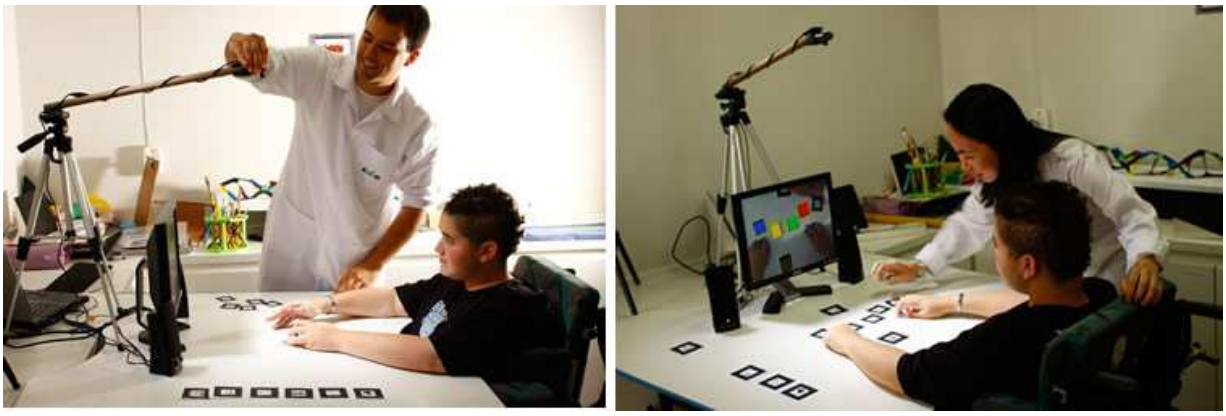


Figura 6.11 - Intervenções de reabilitação de MMSS na ABDIM

Os resultados da análise das respostas dos terapeutas são apresentados a seguir.

Em relação à **praticidade de uso**, no GI o GenVirtual mostrou-se mais prático que uso de massa e bastão. No GC o resultado foi diferente. Os resultados demonstram que o nível de praticidade de ambos os materiais foram bons. O tempo de montagem do GenVirtual foi maior que o tempo com bastão e massa. Para usar a massa e o bastão, bastava que o terapeuta encaixasse a mesa na cadeira de rodas do paciente. Para usar o GenVirtual, era necessário ajustar a mesa entre o mobiliário que abrigava o monitor de vídeo do GenVirtual e a cadeira de rodas do paciente.

Em relação ao **grau de motivação** do Paciente, os resultados mostraram um aumento considerável do grau de motivação do GC quando passou da massa e bastão para o GenVirtual.

Em relação à **aplicabilidade** dos materiais utilizados, os resultados mostraram que ambos os materiais (RGB e MMB) possuem aplicabilidade no setor.

6.3.4 Publicações

Este estudo resultou em oito publicações: quatro resumos em anais de congressos (KLEIN et al., 2009), (CORRÊA et al., 2009c), (CORRÊA et al., 2010a), (CORRÊA et al., 2010b); dois artigos em revistas (CORRÊA et al., 2011a), (CORRÊA et al., 2011b) e dois capítulos de livros (CORRÊA et al., 2009d), (CORRÊA et al., 2011c). Cabe destacar que o trabalho (KLEIN et al., 2009) foi agraciado com o prêmio de Menção Honrosa no II Congresso Nacional de Medicina de Reabilitação e o artigo (CORRÊA et al., 2011b) foi agraciado com o prêmio de melhor artigo da Revista Brasileira de Inovação em Saúde (R-BITS).

6.4 Considerações

Este capítulo apresentou os resultados das avaliações do GenVirtual com terapeutas e pacientes em dois Centros de Reabilitação (AACD e ABDIM). O capítulo mostrou os procedimentos adotados pela musicoterapeuta para uso do GenVirtual com pacientes com PC, bem como os procedimentos adotados por uma Terapeuta ocupacional com crianças com DMD.

Em ambos os casos, o GenVirtual possibilitou a interação natural com o sistema, utilizando as mãos, sem necessidade de treinamento ou adaptações, e pode ser comprovado o seu potencial para apoiar e ampliar as estratégias das intervenções musicoterapêuticas no contexto da reabilitação.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho buscou investigar o estado da arte em Reabilitação Virtual e as possibilidades de utilização de sistemas eletrônicos para apoio e ampliação das estratégias de intervenções em Musicoterapia no contexto da reabilitação, para o que foi necessário conceber e desenvolver uma sequência de protótipos de sistema eletrônico interativo. Trata-se de uma pesquisa multidisciplinar, que envolveu o estudo de diferentes áreas de conhecimento, como reabilitação motora e cognitiva, música e musicoterapia, realidade aumentada e engenharia.

Para que esta investigação pudesse ser concretizada e fundamentada, utilizou-se como arcabouço teórico as principais abordagens e métodos musicoterapêuticos destacadas por Benezon (1998), Baranow (1999), Bruscia (2000), Nascimento (2006) e Ikuta (2009) como fundamentais para obter os objetivos terapêuticos desejados, são elas: improvisação, recriação e composição musical, audição sonora e musical e imitação musical. Na área tecnológica, buscou-se descrever os principais fundamentos e tecnologias de realidade virtual e aumentada destacadas por Milgram e Kishino (1994), Azuma (1997), Tori e Kirner (2006). Buscou-se apresentar os principais conceitos relacionados à área de Reabilitação Virtual destacados por Burdea (2003) e Krebs (1998) com ênfase nos sistemas eletrônicos utilizados para reabilitação de MMSS. Além das abordagens terapêuticas apontadas por Burdea (2003) “terapia por exemplos”, “terapia por jogos” e “terapia por exposições”, e da abordagem terapêutica apontada por Krebs (1998) “terapia por robô”, a autora acrescenta uma outra abordagem, que denominou de “terapia por música”.

Para que a hipótese deste trabalho pudesse ser verificada, foi necessário criar, projetar, conceber e testar um sistema eletrônico interativo para uso em intervenções musicoterapêuticas, denominado de GenVirtual. Para comprovar se o GenVirtual era capaz de apoiar e ampliar as estratégias das intervenções musicoterapêuticas, foi necessário envolver os usuários no ciclo de desenvolvimento, por meio de testes e

avaliações de uso do sistema em diferentes ambientes terapêuticas e também em domicílio. Para alcançar este objetivo, foi feita uma pesquisa de campo exploratória, com base em observações, entrevistas e discussões com terapeutas e também com pacientes em intervenções de Musicoterapia e Terapia Ocupacional. O envolvimento do público alvo, durante as etapas de investigação e desenvolvimento do GenVirtual, foi essencial para identificar necessidades e estabelecer requisitos para a construção de uma interface usável, útil e agradável.

As avaliações do GenVirtual em sessões de Musicoterapia na AACD, descritas nas seções 6.2.1, 6.3.1 e 6.3.2 do Capítulo 6, permitiram confirmar que o GenVirtual possibilitou o desenvolvimento das atividades musicoterapeuticas propostas na Tabela 4.5 do Capítulo 4 (improvisação, recriação e composição musical, audição sonora e musical). Os dados mostraram que a musicoterapeuta se sentiu satisfeita com uso do GenVirtual no setor e que tem interesse em continuar a usá-lo com seus pacientes em outras intervenções. Na visão da musicoterapeuta, com o uso do GenVirtual, os pacientes se mostram mais motivados e interessados, passam a perceber a terapia como divertida. e recebem incentivo à criatividade e que, portanto, tem aplicabilidade no setor.

O fato dos testes e avaliações terem sido feitos dentro de centros de reabilitação favoreceram o envolvimento de outros setores da reabilitação como a Terapia Ocupacional. A avaliação do GenVirtual em sessões de Terapia Ocupacional na ABDIM, descritas na seção 6.3.3, mostrou que os pacientes se sentiram mais motivados e satisfeitos com o uso do GenVirtual em reabilitação, quando comparado com reabilitação com massa de modelar e bastão, materiais convencionais utilizados no setor. Esta avaliação também mostrou que os efeitos dos exercícios são diferentes, pois com o GenVirtual não é necessário aplicar força muscular para interação, ao passo que com a massa de modelar e bastão isso se faz necessário. Esta característica do sistema pode trazer benefícios aos pacientes no estágio avançado da DMD, onde se torna possível entreter, motivar e reabilitar o paciente sem muito esforço muscular, o que, nestes casos, deve ser preservado. Por parte do terapeuta, o GenVirtual foi considerado prático e com aplicabilidade para o setor.

Em todas as avaliações realizadas com pacientes, pode-se constatar que o GenVirtual lhes proporcionou diversão, ao mesmo tempo em que se mostrou como uma ferramenta útil e eficiente para os terapeutas. As tarefas foram realizadas sem muito esforço de aprendizado por parte dos usuários, o que torna o GenVirtual uma ferramenta fácil de aprender a usar. Tanto nas sessões de Musicoterapia, quanto nas sessões de Terapia Ocupacional, observou-se que o GenVirtual melhorou o desempenho e o estímulo da ação dos pacientes, características estas que contribuem para a motivação dos usuários. Além disso, proporcionou a inclusão digital, visto que nenhum dos pacientes envolvidos nos testes tinham interagido com tecnologias de Realidade Aumentada.

Dado que se baseia em plataforma computacional convencional (computador com webcam), o GenVirtual, protótipo desenvolvido para as investigações, já está em condições de ser utilizado em centros de reabilitação, clínicas e ambiente domiciliar.

7.1 Impactos Científicos e Tecnológicos

Ao longo da evolução desta pesquisa, os resultados foram publicados em periódicos e apresentados em congressos científicos. No total foram quinze publicações: quatro capítulos de livro; três artigos em revistas nacionais; quatro artigos completos em anais de congressos; quatro resumos expandidos em anais de congressos. Três destas publicações foram agraciadas com premiações: uma como melhor artigo do Simpósio Brasileiro de Informática em Educação, Corrêa et al. (2007); uma menção honrosa de melhor trabalho do Congresso Nacional de Medicina de Reabilitação, Klein et al. (2009); e uma como melhor artigo da Revista Brasileira de Inovação em Saúde, Corrêa et al. (2010).

Além das contribuições científicas deste trabalho, merece destaque a sua contribuição tecnológica. Ao disponibilizar o GenVirtual para uso livre em site específico (APÊNDICE E), este poderá ser utilizado na forma atual e novas pesquisas e aprimoramentos poderão ser realizados com colaboradores do Brasil e do exterior.

7.2 Trabalhos Futuros

Em relação a aprimoramentos do protótipo, necessários para sua efetiva utilização em ambientes de centros e clínicas hospitalares e em ambientes domiciliares, que não foram feitos por restrição de tempo deste trabalho, destacam-se:

- Avaliação do jogo de Tempo Coincidente junto ao público-alvo para adequação dos aspectos relacionados à usabilidade.
- Integração de modelos 3D dos instrumentos musicais do modo compositor. Os modelos foram criados na ferramenta Blender e exportados no formado VRML. Será necessária uma adequação no código-fonte para possibilitar carregar os modelos VRML para dentro da aplicação. Atualmente, os modelos 3D dos cubos virtuais são projetados por meio de desenhos feitos com a biblioteca OpenGL.
- Criação de relevo nas figuras dos cartões marcadores que podem ser percebidas através do tato por pessoas com deficiência visual. Será disponibilizado um cartão marcador padrão que contenha apenas a borda do marcador para impressão em papel comum. As figuras dos marcadores serão disponibilizadas em outros documentos que poderão ser impressos em papel especial, que possibilite a identificação do relevo, para depois serem recortadas e coladas no centro da borda do marcador. Serão necessários testes de usabilidade da interface para validar estes cartões marcadores em alto-relevo.
- Criação de um novo modo “Compositor Colaborativo” que possibilite o desenvolvimento de atividades colaborativas entre dois ou mais usuários conectados em rede. Será necessário um estudo detalhado sobre as formas de interação e disponibilização das informações e aplicações para os usuários.
- Implementação de uma versão Web do GenVirtual em Flash para uso na Internet. Pretende-se utilizar a biblioteca FLARToolkit que possui um conjunto

de classes desenvolvidas em *ActionScript* 3.0 (AS3), e que juntamente com o Papervision3D, possibilita o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada para Web. Para a disponibilização desta versão Web do GenVirtual, o site em que está disponibilizado o GenVirtual atualmente precisará ser adaptado.

- Implementação de novos recursos no GenVirtual, a fim de viabilizar seu uso em atividade não-assistidas (sem a presença do terapeuta), seja em ambiente de centro ou clínica, seja em ambiente domiciliar. Para isso, será necessário um estudo detalhado sobre estratégias, informações relevantes e mecanismos para medição e registro de informações durante as atividades para acompanhamento e análise pelos terapeutas.

Cabe ressaltar que estes apontamentos são apenas o começo e, que novos estudos e trabalhos poderão e serão derivados de estudos como este, permitindo em um futuro próximo a união de tecnologia de realidade virtual e aumentada, confiabilidade, avaliação, credibilidade e validade em sistemas voltados para reabilitação motora e cognitiva.

REFERÊNCIAS

ACME - Augmented Virtuality or Virtual Augmented Reality. Disponível em: http://www.virtualworldlets.net/Resources/Hosted/Resource.php?Name=ACME. Acesso em Janeiro de 2011.

ASSIS, G.A.; LOPES, R.D. NeuroR: realidade aumentada aplicada à reabilitação dos membros superiores de pacientes vítimas de acidentes vasculares encefálicos. In: **X Symposium on Virtual and Augmented Reality**, p. 1-4, 2008.

ATKINSON, P.; HAMMERSLEY, M. **Ethnography and participant observation**. In: N. Denzin e Y. Lincoln (Eds). Handbook of qualitative research. Newbury Park: Sage, 1994.

AZUMA, R. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

AZUMA, R. A survey of augmented reality. **Presence Teleoperators and Virtual Environments**, v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997.

BARANOW, A. **Musicoterapia: uma visão geral**. Rio de Janeiro: Enelivros, 1999.

BENEZON, R. **Teoria da musicoterapia**. 2. ed. São Paulo: Summus, 1998.

BOIAN, R. et al. Virtual reality-based post-stroke hand rehabilitation. **Medicine Meets Virtual Reality**, p. 64-70, 2002.

BOTELLA, C. et al. Treating cockroach phobia with augmented reality. **Behavior Therapy**, v. 41. n. 3, p. 401-413, 2010.

BRITO, T.A. **Música na educação infantil**. 2. ed. São Paulo: Peirópolis, 2003.

BROLL, W. et al. An infrastructure for realizing custom-tailored augmented reality user interfaces. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 11, n. 6, p. 722-733, 2005.

BRUCK, I.; ANTONIUK, S.; CARVALHO, N. Cerebellar vermis hypoplasia: non progressive congenital ataxia. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 58, n. 3, p. 897-900, 2000.

BRUSCIA, K.E. **Definindo musicoterapia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Enelivros, 2000.

BUCKLEY, K.; PRANDON, C.; TRAN, C. Nursing management and the acceptance/use of telehealth technologies by caregivers of stroke patients in the home setting. In: **Conference on Telerehabilitation and Applications of Virtual Reality**, p. 35-3, 2002.

BURDEA, G. Virtual rehabilitation–benefits and challenges. **Methods of Information in Medicine**, v. 42, n. 5, p. 519-523, 2003.

BURDEA, G. et al. Nintendo Wii-based rehabilitation. **Virtual Rehabilitation**, 2008.

BURKE, J.W. et al. Designing engaging, playable games for rehabilitation, international conference series on disability. In: **Virtual Reality And Associated Technologies** (ICDVRAT), 2010a.

BURKE, J.W. et al. Augmented reality games for upper-limb stroke rehabilitation. In: **Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications** (VS-GAMES), p.75-78, 2010b.

CARDOSO, V.D.; PALMA, L.E. Análise bimecânica na marcha de uma pessoa com hemiplegia. Um estudo de caso. **Revista Dgital,** Buenos Aires, v. 15, n. 143, 2010.

CARROLL, J.B. **Human cognitive abilities: a survey of factoranalytic studies**. New York: Cambridge University Press, 1993.

CETIC - CENTRO DE ESTUDOS SOBRE TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO. **Pesquisa sobre o uso das tecnologias da informação e comunicação no Brasil entre 2005 e 2009**. Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR: São Paulo, 2010.

CERVELLINI, T.; MIZELL, D. Qualidade de vida do musicoterapeuta em formação. In: **XII Simpósio Brasileiro de Musicoterapia**, 2006.

CHEN, L.; PU, P. Eye-Tracking study of user behavior in recommender interfaces. In: **User Modeling, Adaptation, and Personalization In User Modeling, Adaptation, and Personalization,** p. 375-380, 2010.

CHRISTIE. Demonstration session: stereoscopic displays and virtual reality Systems. In: Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIV, 2007.

CIDADE, R.E.A.; FREITAS, P.S. **Introdução à educação física e ao desporto para pessoas portadoras de deficiência**. Paraná: Editora UFPR, 2002.

CORRÊA, A.G.D. et al. GenVirtual: um jogo musical, em realidade aumentada, para auxílio à reabilitação física e cognitiva de indivíduos com necessidades especiais. In: **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação** (SBIE), p. 381-390, São Paulo-SP, 2007a, (agraciado como melhor artigo do SBIE2007).

_____. et al. GenVirtual: an augmented reality musical game for cognitive and motor rehabilitation. In: **International Workshop on Virtual Rehabilitation** (IWVR). IEEE Virtual Rehabilitation, ISBC: 8574011614, Venice – Italy, 2007b.

_____. et al. GenVirtual: um jogo musical, em realidade aumentada, para auxílio à reabilitação física e cognitiva de indivíduos com necessidades especiais. In: **TICAI2007:**

TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. ISBN 978-84-8158-380-9, IEEE, Sociedad de Educacíon: Capítulos Espanol, Português y Colombiano, p. 115-120, 2007c.

_____. et al. GenVirtual: um jogo musical para reabilitação de indivíduos com necessidades especiais. **Revista Brasileira de Informática na Educação** (RBIE), v. 16, n. 1, p. 10-17, ISSN 1414-5685, 2008a.

_____. et al. A musicoterapia apoiada pelos meios eletrônicos interativos: um sistema musical para reabilitação de indivíduos com doenças neuromusculares. In: **Anais do Workshop de Informática Média (WIM): Congresso Brasileiro de Computação** (CSBC), Belém-PA, 2008b.

_____. et al. Computer assisted music therapy: a case study with an augmented reality musical system for rehabilitation of child with cerebral palsy. In: **9th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies** - ICALT2009, Riga-Letônia, 2009a.

_____.; LOPES, R.D. **Explorando as possibilidades dos ambientes de realidade virtual e aumentada**. In: Marilena do Nascimento. (org.). Musicoterapia e a reabilitação do paciente neurológico. ISBN: 978-85-7954-0004, p. 411-428, 2009b.

_____.; LOPES, R.D. GenVirtual: ambiente de realidade aumentada para reabilitação motora e cognitiva. In: **Anais do II Congresso de Medicina de Reabilitação e 9. Congresso Internacional de Reabilitação Infantil da ORITEL**, São Paulo-SP, 2009c.

_____.; KLEIN, A.N.; LOPES, R.D. Augmented reality musical system for rehabilitation of patients with duchenne muscular dystrophy. Rehabilitation Engineering, **In-Tech**, ISBN: 978-953-307-023-0, p. 13-36, 2009d.

_____. et al. Music therapy supported by new technologies. **Livro de Resumos do VIII Europen Music therapy Congress. Evidence for Music Therapy Research, Practice & Education** (Cadiz - Spain), p. 59-60, Maio de 2010a.

_____. et al. GenVirtual: ambiente de realidade aumentada musical para rehabilitación en musicoterapia. **Livro de Resumos do IV Congreso Del comité Latinoamericano de Musicoterapia** (CLAM), Julho de 2010b.

_____. et al. Contribuições de um software de realidade aumentada musical para a estimulação de habilidades motoras em sessões de musicoterapia para pacientes enquadrados em um centro de reabilitação. **Arquivos Brasileiros de Paralisia Cerebral (ABPC)**, 2011a.

_____. et al. O uso da tecnologia de realidade amentada no apoio ao processo de reabilitação em sessões de musicoterapia. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde** (R-BITS), v.3, n.3, 2011b, (agraciado como melhor artigo da R-BITS).

_____. et al. Contributions of an augmented reality musical system for the stimulation of motor skills in music therapy sessions in patients with cerebral palsy, **InTech - Learning Disabilities**, ISBN 978-953-307-767-3, 2011c.

COYNE, C. Video-games in the clinic: PTs report early results. **Magazine of Physical Therapy,** v. 16, n 5, p. 23-28, 2008.

CONSTANZA, E. et al. Introducing audio-touch tangible user interface for music composition and performance. In: **VI International Conference on Digital Audio Effects** (DAFX-03), London-UK, 2003.

CRUZ-NEIRA, C. et al. The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. **Communications of the ACM**, v. 35, n. 6, p. 64-72, 1992.

DAVIS, H.S.; ROCKWOOD, K. Conceptualization of mild cognitive impairment: a review. **International Journal of Geriatric Psychiatry**, v. 19, n. 4, p.313-9, 2004.

DEUTSCH. J. Virtual reality and gaming systems to improve walking and mobility for people with musculoskeletal and neuromuscular conditions. **Studies in health technology and informatics**, v. 145, p. 84-93, 2009.

_____. et al. Use of a low-cost commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with Cerebral Palsy. **Physical Therapy**, v. 88, n. 10, p. 1196-207, 2008.

DICIONARIO DE TERMOS TECNICOS DE MEDICINA E SAUDE. Luis Rey. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

DRETTAKIS, G. Image-based techniques for the creation and display of photorealistic interactive virtual environments. In: **10th Eurographics Symposium on Virtual Environments**, 2004, p. 157-166.

ELLIS, P. The music of sound: a new approach for children with severe and profound and multiple learning difficulties. **British Journal of Music Education**, v. 14, n.2, p. 173-186, 1997.

_____.; VAN LEEUWEN, L. Living sound: human interaction and children with autism. In: **ISME commission on Music in Special Education, Music Therapy and Music Medicine, Regina-Canada**, July 2000.

ESTRELA. Disponível em <http://www.estrela.com.br>. Acesso em Fevereiro de 2011.

FLARMANAGER augmented reality in flash. Disponível em: <http://words.transmote.com/wp/flarmanager/> Acesso em Janeiro de 2010.

FLARToolkit - actionScript class library. Disponível em: <http://www.libspark.org/wiki/saqoosha/FLARToolKit/> Acesso em Janeiro de 2010.

FIALA M. ARTag, a fiducial marker system using digital techniques. **IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, v. 2, p. 590-596, 2005

FILARDI A.L.; TRAINA A.J.M. Montando questionários para medir a satisfação do usuário: Avaliação de interface de um sistema que utiliza técnicas de recuperação de imagens por conteúdo. In. **VIII Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais**, p. 176-185, 2008.

FILHO, F.; AOKI, S. Malformações Congênitas e Outras Síndromes. In: NASCIMENTO. M. **Musicoterapia e a reabilitação do paciente neurológico**. São Paulo: Memmon, 2009. p. 208-227.

FISCHER, J; BARTZ, D.; STRASSER, W. Enhanced visual realism by incorporating camera image effects. **IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality**, p. 205-208, 2006.

FRANCO, M.; RODRIGUES, A.B. A música no alívio da dor em pacientes oncológicos. **Einstein**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 147-151, 2009.

GARBIN, T.R. **Ambientes de comunicação alternativos com base na realidade aumentada para crianças com paralisia cerebral: uma proposta de currículo em ação**. Tese de Doutorado apresentado à Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2008.

_____.; AmCARA - Ambiente e Comunicação Alternativo com Realidade Aumentada: o acesso do deficiente motor severo a softwares e Web. In: **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Informática em Educação**, 2009.

_____.; DAINESE, C.A.; KIRNER, C. Sistema de realidade aumentada para trabalho com crianças com necessidades especiais. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. **Fundamentos e Tecnologias de Realidade Virtual e Aumentada**. Livro do Pré-Simpósio VIII Simposium on Virtual Relaity, p. 289-297, 2006.

GEIGER, C. SCHMIDT T. STOCKLEIN J. Rapid de-velopment of expressive AR applications. Proceedings of the 3rd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, p. 292-293, 2006.

GONZALES. R.; WOODS. R.E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed., São Paulo: Edgar Blucher, 640p. 2010.

GORGATTI, M.G.; BÖHME, M.T.S. Autenticidade científica de um teste de agilidade para indivíduos em cadeira de rodas. **Revista Paulista de Educação Física**. São Paulo, n. 17, n. 1, p. 41-50, 2003.

GOLOMB, M. et al. In-home virtual reality videogame telerehabilitation in adolescents with hemiplegic Cerebral Palsy. **Archives in Physical Medicine Rehabilitation**, v. 91, n. 1, p 1-8, 2010.

GORMAN, M. et al. A camera-based music-making tool for physical rehabilitation. **Computer Music Journal**, v. 31, n. 2, p. 39-53, 2007.

GREVE, J.M.D. Reabilitação: conceito terapêutico. In: GREVE, J. M D. **Tratado de Medicina de Reabilitação**. São Paulo: Manole, p 8-9, 2007.

HANSER, S.B.; THOMPSON, L.W. Effects of a music therapy strategy on depressed older adults. **Journal of Gerontology**, v. 49, n. 6, p. 265-269, 1994.

HOFFMAN, G.H.; CARLIN, A.; FURNESS, T. A. Interfaces that hal: coupling real and virtual objects to cure spider phobia. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 15, n. 1, p. 283-300, 2003.

HOLDEN, M.K.; DYAR, T. Virtual environment training: a new tool for rehabilitation. **Neurology Report**, v. 26, n. 2, p. 62-7, 2002.

HUA, Z.; LIEH-NG, W. Speech recognition interface design for in-vehicle system. In: **ACM International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications**, v. 978, p. 29-33, 2010.

HUBER, M. Feasibility of modified remotely monitored in-home gaming technology for improving hand function in adolescents with Cerebral Palsy. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, v. 14, n. 2, p. 526-534, 010.

ISHII, H.; ULLMER, B. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In: **ACM Computer Human Interaction Conference**, 1997.

IKUTA, C. Métodos de intervenção mMusicoterapêutica e suas aplicações. In: NASCIMENTO. M. **Musicoterapia e a reabilitação do paciente neurológico**. São Paulo: Memmon, 2009. p. 82-101.

JACOB, R. The use of eye movements in Human-Computer Interaction Techniques: What You Look At is What You Get. **ACM Transactions on Information Systems**, v. 9, n. 3, p. 152-169, 1991.

JUAN, C; BEATRICE, F.; CANO, J. An Augmented Reality System for Learning the Interior of the Human Body. IEEE Advanced Learning Technologies (ICALT), p-186-188, 2008.

KATO, H.; BILLINGHURST, M. Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. **IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality**, p. 85-94, 1999.

KIRNER, T.G.; MARTINS, V.F. A Model of Software Development Process for Virtual Environments: Definition and a Case Study. In: **2nd IEEE Symposium on Application-Specific System and Software Engineering Technology** (ASSET'99), p. 155-161, 1999.

KIRNER, C.; TORI, R. Fundamentos de Realidade Aumentada. In: TORI, R.; ------.; SISCOUTTO, R. **Fundamentos e Tecnologias de Realidade Virtual e Aumentada**. Livro do Pré-Simpósio VIII Simposium on Virtual Relaity, p. 22-38, 2006.

KIRNER, C.; ZORZAL, E.R.; KIRNER, T.G. Case studies on the development of games using augmented reality. In: 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Taipei - Taiwan, 2006.

KIRNER, C.; KIRNER, T.G. (2008) **Virtual Reality and Augmented Reality Applied to Simulation Visualization**. In: El Sheikh, A.A.R.; Al Ajeeli, A.; Abu-Taieh, E.M.O. (Ed.). Simulation and Modeling: Current Technologies and Applications. 1 ed. Hershey-NY: IGI Publishing, v. 1, p. 391-419, 2008.

KLEIN, A.N.; CORRÊA, A.G.D.; LOPES, R.D. O uso de tecnologia de realidade aumentada para reabilitação funcional. In: **Anais do II Congresso de Medicina de Reabilitação e 9. Congresso Internacional de Reabilitação Infantil da ORITEL**, São Paulo-SP, 2009, (agraciado como melhor pôster do Congresso).

KREBS, H. I. Robot-Aided Neurorehabilitation. **IEEE transactions on rehabilitation engineering**, v. 6, n. 1, 1998.

LACERDA, O. **Teoria elementar da música**. 12. ed. São Paulo: Ricordi, 1996.

LAERHOVEN H.V.; ZAAG-LOONEN, H.J.; DERKX, B.H.F. A comparison of Likert scale and visual analogue scales as response options in children questionnaires. **Acta pediátrica**, v. 6, n. 6, p. 830-835, 2004.

LEITNER, M. et al. Designing tangible tabletop interfaces for patients in rehabilitation. In: **Conference and Workshop on Assistive Technologies for People with Vision and Hearing Impairments**: Assistive Technology for All Ages, 2007.

LEME, R.J.S.A. **Neurofisiologia da música**. In: NASCIMENTO. M. Musicoterapia e a reabilitação do paciente neurológico. São Paulo: Memmon, p. 30-42, 2009.

LIANZA, S.; KODA, L.C. Avaliação clínica da incapacidade. In: LIANZA. S. **Medicina de Reabilitação**. 3.ed. Guanabara, 2001.

LINA, S.B.S. As Adaptações na musicoterapia. In: NASCIMENTO. M. **Musicoterapia e a reabilitação do paciente neurológico**. São Paulo: Memmon, 2009. p. 263-280.

LOPES, R.D. et al. O uso do computador e da internet em escola públicas de capitais brasileiras. In: **Fundação Victor Civita: Estudos & Pesquisas Educacionais**. Fundação Victor Civita: São Paulo, 2010. p. 275-341.

LOUREIRO, B; RODRIGUES, R. Multi-touch as a Natural User Interface for elders: A survey. 6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), p. 1-6, 2011.

LOURO, V.S.; IKUTA, C.Y.; NASCIMENTO, M. Música e deficiência: levantamento de adaptações para o fazer musical de pessoas com deficiência. **Arquivos Brasileiros de Paralisia Cerebral**, v. 1, n. 2, p 11-17, 2005.

LOURO, V.S. **A Educação musical e deficiência: propostas pedagógicas**. São Paulo: Estúdio Dois, 2006.

_____. Educação musical e musicoterapia: adaptações do fazer musical em prol da aprendizagem ou reabilitação de pessoas com deficiência. In: NASCIMENTO. M. **Musicoterapia e a reabilitação do paciente neurológico**. São Paulo: Memmon, 2009. p. 398-410.

MACHADO, I. S.; CARDOSO, A. Dispositivos de entrada e saída para sistemas de realidade virtual. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. **Fundamentos e tecnologias de realidade virtual e aumentada**. Livro do Pré-Simpósio VIII Simposium on Virtual Relaity, p. 39-51, 2006.

MARSHALEK, B.; LOHMAN, D.F.; SNOW, R.E. The complexity continuum in the radex and hierarchical models of intelligence. **Intelligence**, v.7, pp. 107-127, 1983.

MACALLISTER, D. Stereo and 3D display technologies. **Encyclopedia of Imaging Science and Technology**, p. 1327-1344, 2002.

MACINTYRE, B. et al. DART: a toolkit for rapid design exploration of augmented reality experiences. In: **Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology,** p. 197-206, 2004.

MACHADO, A.C. **Tradutor de arquivos MIDI para texto utilizando linguagem funcional CLEAN**. Dissertação de Mestrado apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, 2001.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE Transactions on Information and Systems**, v. E77-D, n. 12, 1994.

MILGRAM, P. et al. Augmented reality: a class of displays on the reality-vrtuality continuum. **Telemanipulator and Telepresence Technologies,** v. 2351, p. 282-292, 1994.

MORIE, J. Inspiring the future: merging mass communication, art, entertainment and virtual environments. **Computer Graphics**, v. 28, n. 2, p. 135-138, 1994.

MURRAY, C. et al. The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality: three case studies. **Disability and Rehabilitation**, p. 1-5, 2007.

NASCIMENTO, M. Musicoterapia: princípio e prática. In: FERNANDES, A. C.; et al. **AACD medicina e reabilitação: princípio e prática**. São Paulo: Artes Médicas, 2006. p. 853-864.

NISCHELWITZER et al. Some aspects of the development of low-cost augmented reality learning environments as examples for future interfaces in technology enhanced learning. **Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services,** v. 4556, p. 728-737, 2007.

OLIVEIRA, R.O et al. Estudo do uso de software e recursos acesso ao computador para pacientes com distrofia muscular de duchenne. **Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar**, São Carlos, v. 18, n.2, p. 139-148, 2010.

OSGART - ARToolKit for OpenSceneGraph. Disponível em: <http://www.artoolworks.com/community/osgart/>. Acesso em Janeiro de 2010.

PACHECO, M. et al. Efeitos da prática mental combinada à cinesioterapia em pacientes pós-acidente vascular encefálico: uma revisão sistemática. **Revista Neurociências**, v. 15, n. 4, p. 304-309, 2007.

PACCHETTI C. et al. Active music therapy in parkinson's disease: an integrative method for motor and emotional rehabilitation. **Psychosomatic Medicine: Journal of Biobehavioral Medicine,** v. 62, n. 3, p. 386-393, 2000.

PAPERVISION3D Home Site. Disponível em: <http://www.papervision3d.org/> Acesso em Janeiro de 2010.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Design de interação – além da interação homem-computador**. São Paulo: Bookman Coahia Editora, p.348, 2005.

RASKAR, R. et al. Shader lamps: animating real objects with image-based Illumination. In: **Proceedings of Eurographics Rendering Workshop**, p. 89-102, 2001.

REQUIMOTO, J.; NAGAO, K. The world through the computer: computer augmented interaction with real world environments. **ACM symposium on User interface and software technology**, p. 23-26, 1995.

RICHARD, E. et al. Augmented reality for rehabilitation of cognitive disabled children: a preliminary study. **Virtual Rehabilitation**, p. 102-108, 2007.

ROCKENBACH M. H.; NASCIMENTO, M. A musicoterapia e o paciente com lesão encefálica adquirida. In: NASCIMENTO. M. **Musicoterapia e a reabilitação do paciente neurológico**. São Paulo: Memmon, 2009. p. 141-149.

ROHENKOHL, M.; CARVALHO, R. O. B.; STAPAIT, E.L. Análise do equilíbrio após intervenção com Nintendo WII Balance Board. EFDeportes.com, **Revista Digita**l. Buenos Aires, v. 15, n. 154, 2011.

SALVA, A. et al. Cognitive therapy using mixed reality for those impaired by a cerebrovascular accident. **Studies in health technology and informatics**, v. 144, p. 253-256, 2009.

SAMPAIO, R.T**. Novas perspectivas de comunicação em musicoterapia**. Dissertação de Mestrado em Comunicação e Semiótica apresentada à Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2002.

SANCHES, S.; SEMENTILE, A. A utilização da técnica de Chromakey para composição de cenas em ambientes de realidade misturada. In: **Workshop de Dissertações em Computação**, Marília, 2007.

SANTOS, G.; CARDOSO, A.; LAMOUNIER, A. Realidade virtual auxiliando o aprendizado em linhas de transmissão de energia elétrica. In: **Symposium on Virtual and Augmented Reality,** p. 348-350, 2007.

SATO, E. et al. Natural Interface Using Pointing Behavior for Human–Robot Gestural Interaction. IEEE Transactions on Industrial Electronics, p. 1105 - 1112, 2007.

SCHIAVINATO, A. et al. Influência do *Wii Fit* no equilíbrio de paciente com disfunção cerebelar: estudo de caso. **Journal Health Sciences Institute**, v.28, n. 1, p. 50-52, 2010.

SIEDLIECKI, S.L.; GOOD, M. Effect of music on power, pain, depression and disability. **Journal of Advanced Nursing**, v. 54, 553-562, 2006.

SMITH, M. **Representação sonoro-musical e o alerta atencional na Clínica Musicoterápica**. In: LEÃO, E. R. Cuidar de pessoas e música - uma visão multiprofissional. Yendis: São Paulo, 400p, 2009.

SMITH, M.P.C. **Identidade sonoro-musical**. Dissertação de Mestrado em Psicologia. São Paulo: UNIMARCO, 1999.

SNOW, R.E. Cognitive-conative aptitude interactions in learning. Em R. Kanfer (Org.), Abilities, motivation, and methodology. In: **The Minnesota Symposium on Learning and Individual Differences, Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates**, pp. 435-474, 1989.

SOMMERVILLE I. **Software engineering**. England: Addison-Wesley. 2006.

SOUNDBEAM. Disponível em: <http://www.soundbeam.co.uk/>. Acesso em Junho de 2011.

SPEARE, P. **The multiple uses of Soundbeam in the Music National Curriculum for Visually Impaired Students**. Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade de Birmingham, 1995.

STERNBERG, R.J. The nature of mental abilities. **American Psychologist**, v. 34, pp. 214-230, 1979.

STREETER, E. **Making music with the young child with special needs: guide for parents**. 2th. ed. London N1 9JB: Jessica Kingsley Publishers, 2001.

SVEISTRUP, H. et al. Experimental studies of virtual reality-delivered compared to conventional exercise programs for rehabilitation. **CyberPsychology & Behavior**, v. 6, n. 3, p. 245-249, 2003.

TAKACS, B. Cognitive, mental and physical rehabilitation using a configurable virtual reality system. **The International Journal of Virtual Reality**, v. 5, n. 4, p. 100-112, 2006.

THOMAS, R.; JOHN, N.; DELIEU, J. Augmented reality for anatomical education. **Journal of Visual Communication in Medicine**, v. 33, n. 1, p.6-15, 2010.

TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos de Realidade Virtual. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTTO, R. **Fundamentos e Tecnologias de Realidade Virtual e Aumentada**. Livro do Pré-Simpósio VIII Simposium on Virtual Reality, p. 02-21, 2006.

TRUYENQUE, M. **Uma aplicação de visão computacional que utiliza gestos da mão para interagir com o computador**. Dissertação de Mestrado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, p. 100, 2005.

WAGNER, D. **ARToolKitPlus - short tutorial**. Disponível em <http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld-ar.recent/artoolkitplus-tutorial.php>. Acesso em Janeiro de 2010.

WALD M. Captioning multiple speakers using speech recognition to assist disabled people. In: **Proceedings of the 11th international conference on Computers Helping People with Special Needs**, v. 5105, p. 617-623, 2008.

WFMT - World Federation of Music Therapy. Disponível em: <http://www.musictherapyworld.net>. Acesso em: Maio de 2011.

WHEELER, J.; KREBS, H. I.; HOGAN, N. An ankle robot for a modular gait rehabilitation system. **IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems**, v. 2, p. 1680-1684, 2004.

WOLPAW, J.; et al. Brain-computer interfaces for communication and control. **Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology**, v. 113, n. 6, p.767-791, 2002.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps**. Geneva, Switzerland: World Health Organization, p. 1-6, 1993.

ZANOTELI, E. et al. **Doenças neuromusculares**. AACD - medicina e reabilitação - princípios e prática. São Paulo: Artes Médicas, p. 115-140, 2007.

ZANOTELI, E. **O que precisamos saber sobre doenças neuromusculares.** In: Marilena do Nascimento. (Org.). Musicoterapia e a reabilitação do paciente neurológico. São Paulo: Memnon, v. 1, p. 153-165, 2009.

ZORZAL, E.R.; BUCCIOLI, A.A.B.; KIRNER, C. O uso da realidade aumentada no aprendizado musical**.** In: **WARV – Workshop de Aplicações de Realidade Virtual**, Uberlândia-MG, 2005.

ZORZAL, E.R. **Estratégias para o desenvolvimento de aplicações adaptativas de visualização de informações com realidade aumentada.** Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2009.

APÊNDICE A – Detalhamento do Diagrama de Classes

Classe GenVirtual: é instanciada no começo da execução da aplicação, logo que a função principal *main()* começa a ser executada (Figura 1). O construtor da classe é responsável por vários papéis:

- Criar uma câmera (GenVirtual::Camera) para captura do mundo real.
- Criar um rastreador (GenVirtual::Rastreador) para localizar e identificar os marcadores no mundo real.
- Criar um exibidor (GenVirtual::Exibidor) para exibir os objetos reais e virtuais em um dispositivo de exibição.

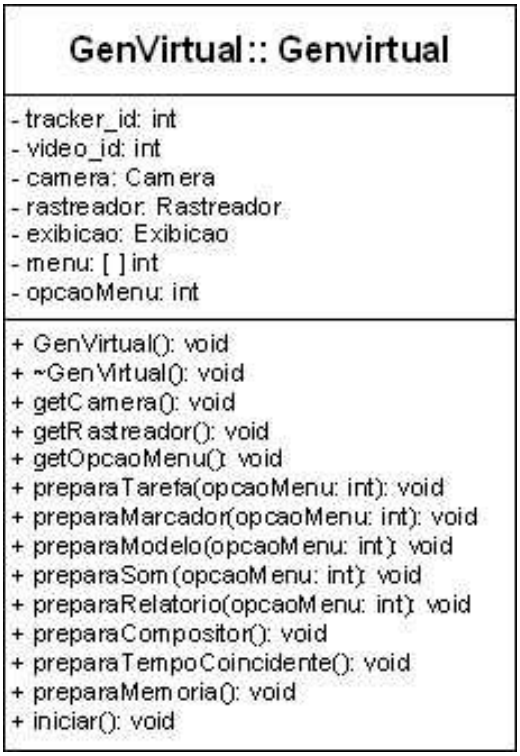


Figura 1 - Métodos e atributos da classe GenVirtual

Logo após a criação da instância de GenVirtual::Genvirtual, se os objetos da classe GenVirtual::Camera, GenVirtual::Rastreador e GenVirtual::Exibidor forem instanciado com sucesso, então haverá a chamada do método preparaTarefa(opcaoMenu:int). Este método é responsável por:

- Chamar o método da tarefa escolhida pelo usuário: preparaCompositor() ou preparaTempoCoincidente() ou preparaMemória() de acordo com a opção escolhida pelo usuário.
- Chamar o método preparaMarcador(opcaoMenu:int) para selecionar os marcadores da tarefa escolhida pelo usuário (opcaoMenu), iniciando assim o processo de associar objetos virtuais GenVirtual::Modelo e sons GenVirtual::Som aos marcadores GenVirtual::Marcador da tarefa escolhida.
- Chamar o método preparaRelatorio(opcaoMenu:int) que irá criar uma instância do relatório GenVirtual::Relatorio de acordo com a opção escolhida pelo usuário (opcaoMenu).

Classe Câmera: é responsável pela captura do mundo real, que poderá ser feita com o uso de uma *webcam* convencional (Figura 2). Essa tarefa consiste em:

- Ler o arquivo de calibragem da câmera (RA::Calibracao).
- Instanciar a câmera baseada no arquivo de calibragem lido (RA::Camera)
- Criar uma camada de vídeo para o mundo real e outra para os modelos tridimensionais (RA::Camadas)
- Adicionar o mundo real ao fundo da exibição dos modelos tridimensionais (RA::VideoMix).

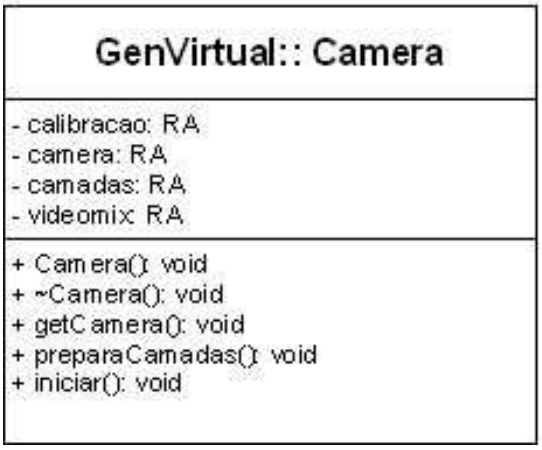


Figura 2 - Métodos e atributos da classe Camera

A classe RA é adquirida de alguma biblioteca de Realidade Aumentada escolhida no momento da implementação. A Figura 3 mostra o diagrama da classe GenVirtual::Camera.

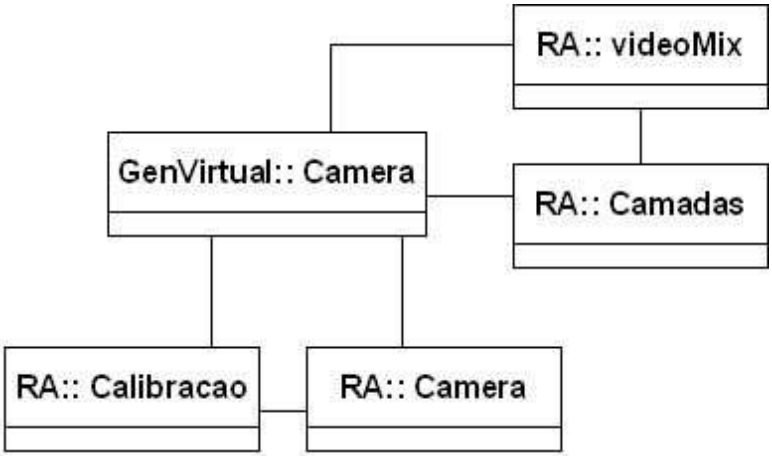


Figura 3 – Diagrama da classe Camera

Classe Rastreador: o rastreamento dos marcadores no mundo real é um dos fatores mais importantes para o sucesso da aplicação, pois só assim o modelo tridimensional, que representa as notas musicais e os instrumentos musicais, poderá ser sobreposto ao cartão marcador. Seus métodos e atributos são mostrados na Figura 4.

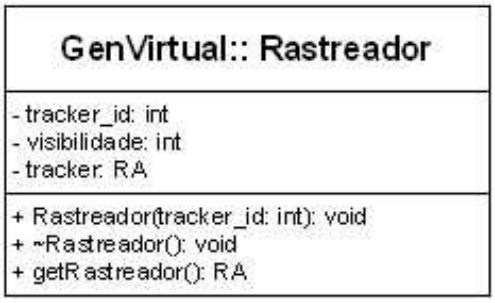


Figura 4 – Métodos e atributos da classe Rastreador

A classe GenVirtual::Rastreador é responsável por:

- Instanciar um RA::Tracker para localizar os marcadores na captura do mundo real;
- Registrar o Grafo de Cena (conjunto de marcadores: notas musicais, instrumentos musicais, outros cartões marcadores de suporte) para localizá-los dinamicamente e reconhecê-los no cenário (RA::TrackerGrafoCena).

O diagrama da classe rastreador é ilustrado na Figura 5.

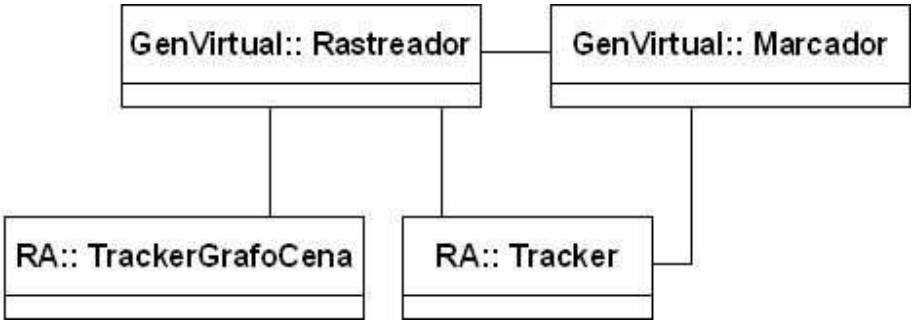


Figura 5 – Diagrama da classe Rastreador

Classe Exibição: é responsável por entregar ao dispositivo de exibição (RA::Viewer) o resultado do processamento da aplicação (Figura 6). No caso, os modelos tridimensionais correspondentes aos cartões marcadores de notas musicais e de instrumentos musicais com seus respectivos sons associados.

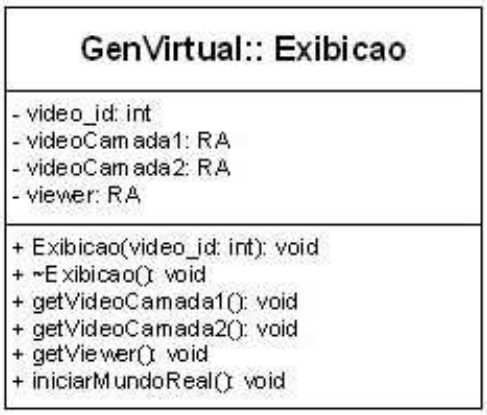


Figura 6 – Métodos e atributos da classe Exibicao

Esta classe também será responsável pela inicialização de diversos manipuladores:

- RAViewer::Ajuda.
- RAViewer::Threads.
- RAViewer::TamanhoJanela.
- RAViewer::Status.

A Figura 7 mostra o diagrama da classe GenVirtual::Exibição. A imagem do mundo real, fornecida por GenVirtual::Camera será exibida como plano de fundo (videoCamada1) na cena a ser visualizada no dispositivo de exibição (RA::Viewer). Sobreposto aos cartões marcadores (diagramaCamera) serão exibidos modelos tridimensionais (GenVirtual::Modelo) com seus respectivos sons (GenVirtual::Som) que terão suas posições dadas pela localização e identificação feita por GenVirtual::Rastreador sobre os cartões marcadores.

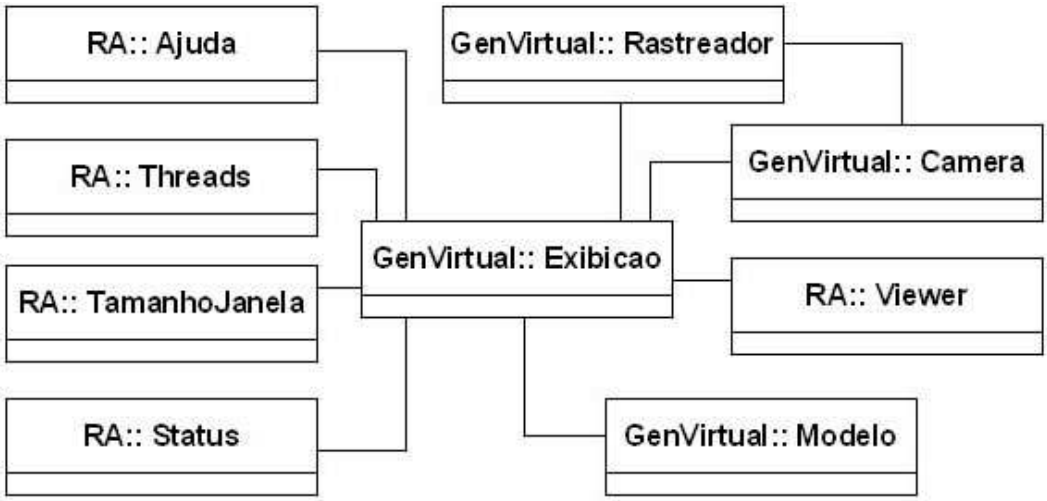


Figura 7 – Diagrama da classe Exibicao

Classe Marcador: os marcadores representam a arte dos objetos virtuais (GenVirtual::Modelo). É através da localização e identificação destes marcadores que o rastreador (GenVirtual::Rastreador) consegue obter a posição e a identidade de cada marcador. Os métodos e atributos da classe Marcador são mostrados na Figura 8.

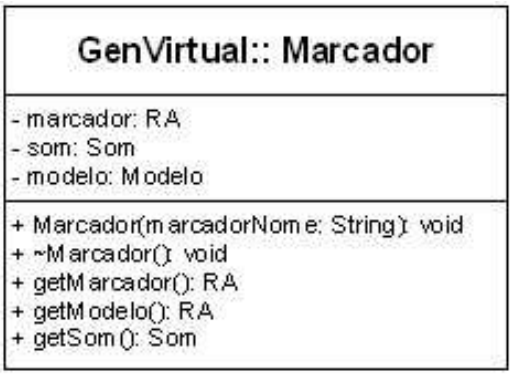


Figura 8 – Métodos e atributos da classe Marcador

Cada marcador possui o nome do arquivo que ele deve abrir. Esses arquivos contêm um mapa de contraste do marcador, para que o rastreador (GenVirtual::Rastreador) possa diferenciar um marcador do outro. Ao abrir com sucesso o arquivo e verificar sua validade a classe registra-o junto ao rastreador (GenVirtual::Rastreador) para que esse

assuma esse marcador (GenVirtual::Marcador) como um marcador válido na aplicação. A Figura 9 mostra a classe Marcador.

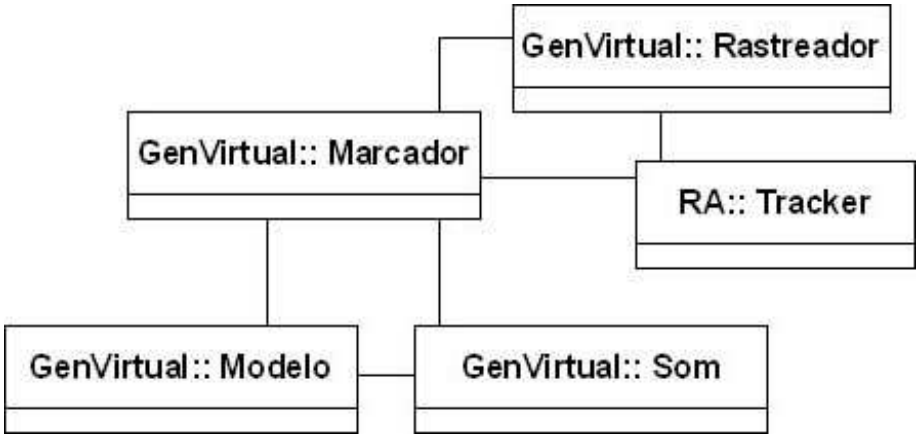


Figura 9 – Diagrama da classe Marcador

Classe Modelo: um modelo tridimensional (GenVirtual::Modelo) é a representação virtual de um instrumento musical ou uma nota musical, que por sua vez tem sua representação física em um marcador (GenVirtual::Marcador). Ao ser construída uma instância de GenVirtual::Modelo há a leitura (std::string) das N partes (std::vector) dos arquivos que formam o modelo. A abertura e leitura do arquivo é realizada pela classe RA::RADB. Após a leitura desse modelo há a atribuição dele à um RA::Node.

A classe GenVirtual::Modelo (Figura 10) encapsula diversas classes, que fazem posicionamento, normalização, escala e rotação das partes do modelo em questão, assim como a associação deste com o seu som.

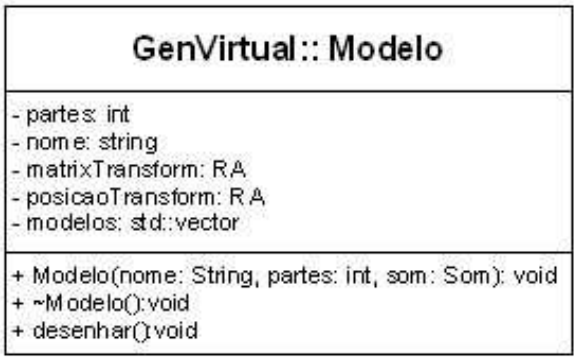


Figura 10 – Métodos e atributos da classe Modelo

O modelo é posicionado e orientado ao ser colocado no grafo de cena como filho de um RA::PosicaoTransform que por sua vez é filho de um RA::MatrixTransform, sendo que essas classes são responsáveis por manipular a escala, posição e orientação do RA::Node que contém o modelo animado com seu respectivo som, como pode ser visto no grafo de cena representado na Figura 11.

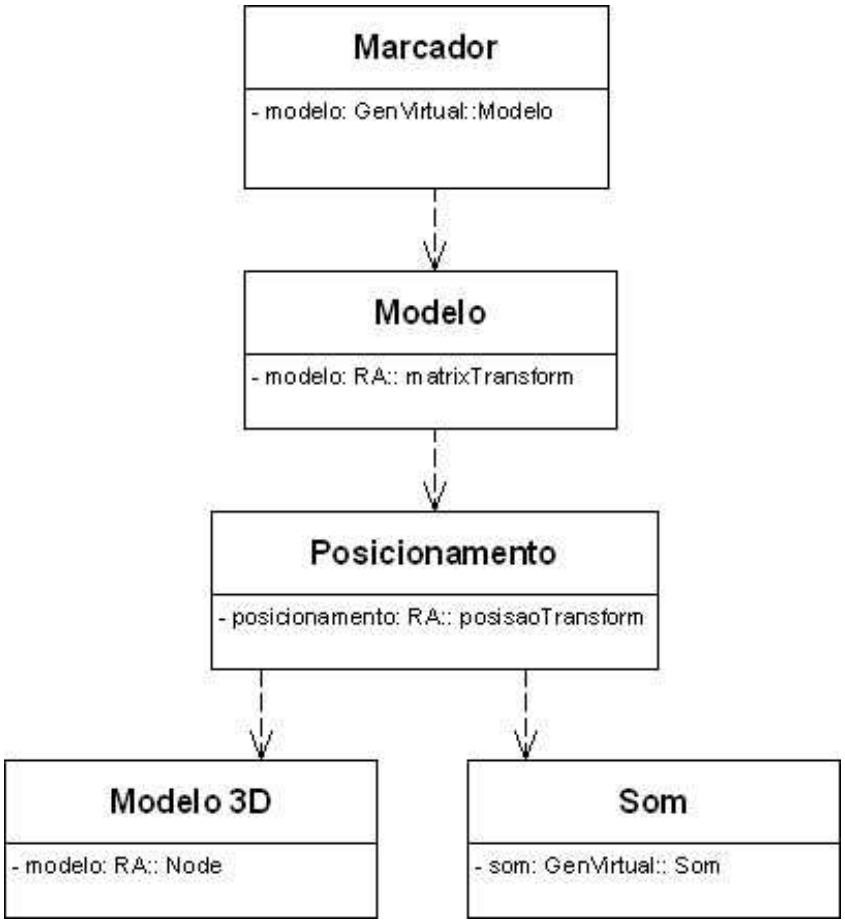


Figura 11 - Representação da hierarquia de nodos para tratamento dos modelos

A Figura 12 mostra a classe Modelo.

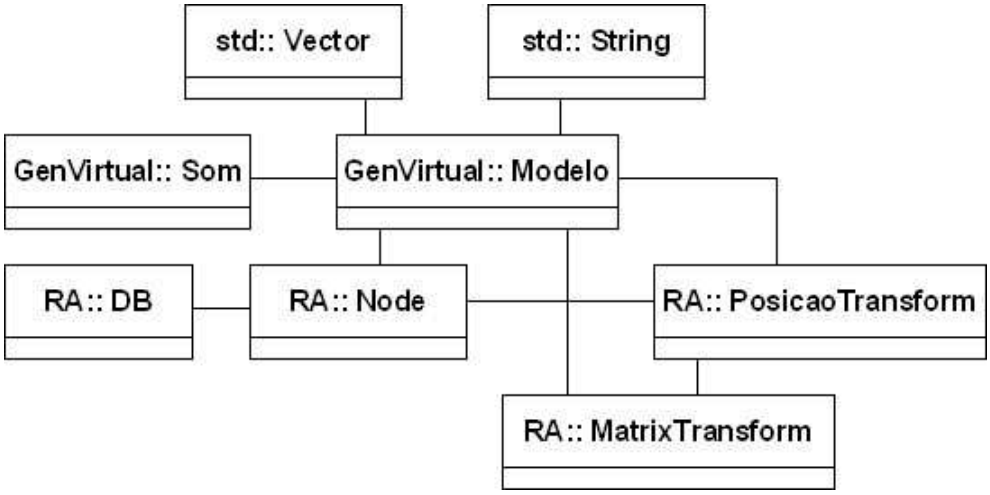


Figura 12 – Diagrama da classe Modelo

Classe Compositor: contém um conjunto de marcadores compostos por notas musicais, instrumentos musicais e outros marcadores auxiliares como cronômetro e gravador (GenVirtual::Marcador). A classe também contem um vetor de status do marcador para verificar se está visível ou não (GenVirtual::Rastreador). Se estiver visível, o modelo virtual (GenVirtual::Modelo) será desenhado na tela através da chamada do método desenhar(). Se o objeto mudar de status e ficar invisível irá produzir um som (GenVirtual::TocarSom) por meio da chamada do método tocarSom(). A Figura 13 mostra os atributos e métodos da classe Compositor.

Figura 13 – Métodos e atributos da classe Compositor

Esta classe possibilita gravar uma música em formato de áudio (GenVirtual::Som) através da chamada do método gravarComposicao(). A classe também possibilita ativar um pentagrama no dispositivo de exibição através do método acionarPentagrama(). O pentagrama é uma figura onde uma melodia é representada na forma de bolinhas coloridas. Cada cor representa uma nota no pentagrama. O cronômetro também pode ser ativado com a chamada do método cronometrar(). A Figura 14 mostra o diagrama da classe Compositor.

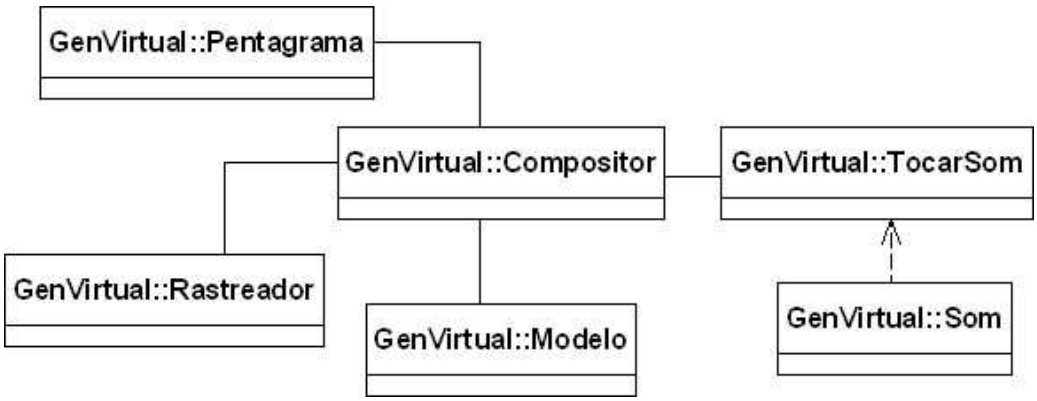


Figura 14 – Diagrama da classe Compositor

Classe Memória: a classe GenVirtual::JogoMemoria possui o conjunto de marcadores do jogo de siga-sons-e-cores GenVirtual::Marcadores. A sequência musical pode ser gerada de acordo com a opção do usuário. Na primeira opção, a sequência musical é gerada aleatoriamente pelo sistema (sequencia-rand:int). Na segunda opção, a sequência musical pode ser gerada a partir de uma arquivo contendo uma partitura musical (sequencia-melo:int). A Figura 15 mostra os atributos e métodos da classe GenVirtual::JogoMemoria.

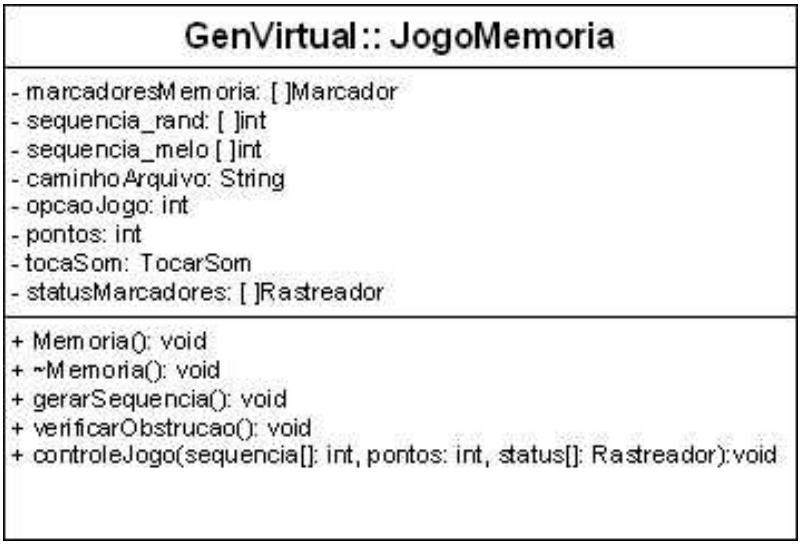


Figura 15 – Métodos e atributos da classe Memoria

A sequência musical é armazenada num vetor contendo a sequência das animações, ou seja, a sequência dos marcadores que sofrerão uma animação e emitirão um determinado som. A cada acerto do usuário, a sequência é incrementada. Caso contrário a jogada se reinicia. A Figura 16 mostra o diagrama da classe GenVirtual::JogoMemoria.

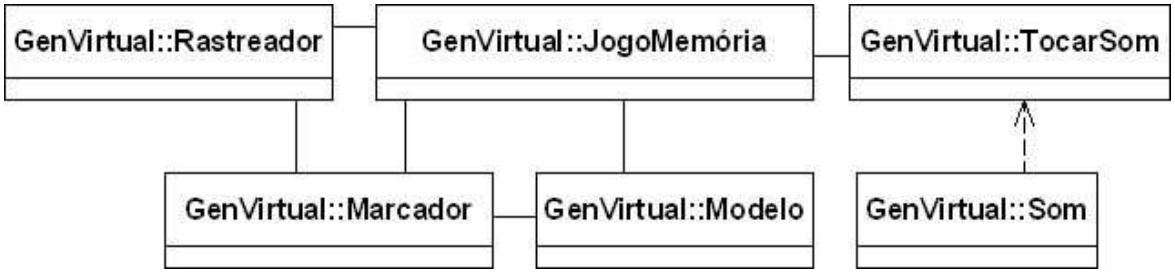


Figura 16 – Diagrama da classe Memória

Classe Tempo Coincidente: contém o conjunto de cartões marcadores do jogo GenVirtual::Marcadores e suas variáveis de controle: tempo-inicial, tempo-execucao, tempo-acao, rodadas e dois vetores para guardar os acertos e erros de cada rodada do jogo. A cada rodada, o marcador é rastreado GenVirtual::Rastreador para verificar o

status do marcador (se ouve toque ou não, ou seja, se foi obstruído ou não (visibilidade). Quando houver o toque no marcador, o sistema calcula o tempo de antecipação, acerto ou atraso do toque. O toque deverá ser efetuado no mesmo instante em que uma determinada animação atingir o alvo (marcador). A Figura 17 mostra os atributos e métodos da classe GenVirtual::TempoCoincidente.

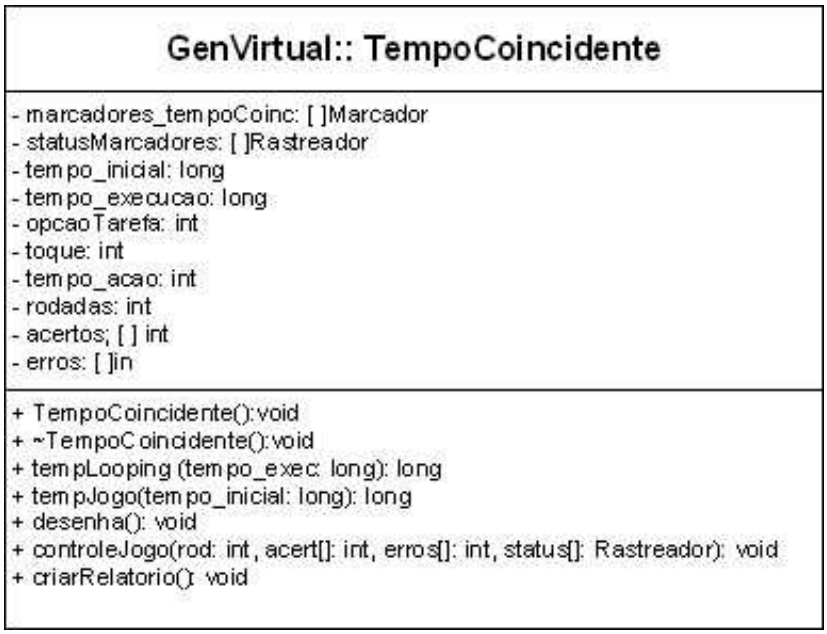


Figura 17 - Métodos e atributos da classe Tempo Coincidente

O jogo poderá ser utilizado de duas formas. A primeira é em atividades simples de tempo coincidente onde haverá apenas um alvo (marcador) a ser atingido por uma animação (objeto virtual). Esta animação terá uma velocidade constante com número de rodadas pré-estabelecida pelo sistema. A segunda forma possibilita atividades complexas de tempo coincidente onde é possível adidionar dois, três ou quatro alvos no jogo simultaneamente. Neste caso, as animações (objetos virtuais) brotam da tela em direção ao seu alvo correspondente. As animações têm sua velocidade estabelecida de acordo com o ritmo de uma melodia pré-estabelecida pelo sistema. A Figura 18 mostra o diagrama da classe GenVirtual::TempoCoincidente.

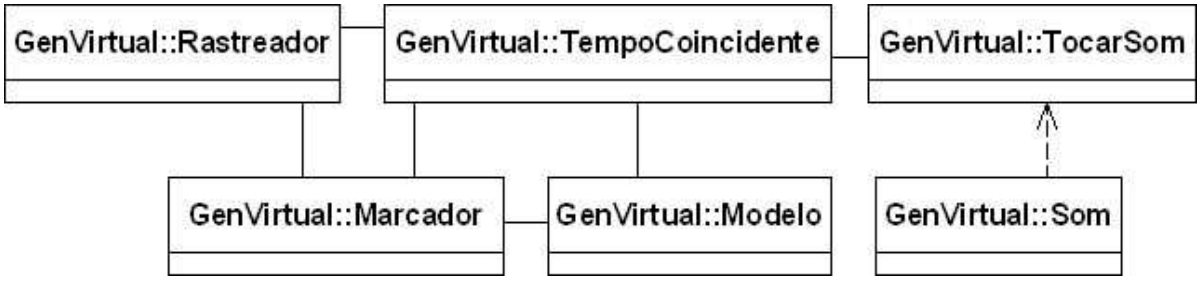


Figura 18 - Diagrama da classe Tempo Coincidente

APÊNDICE B - Bibliotecas para Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Aumentada

ARToolKit Plus: biblioteca livre, desenvolvida na linguagem C, que possibilita desenvolver, de forma rápida, aplicações de Realidade Aumentada (GEIGER et al, 2006). Opera através de técnicas de visão computacional e processamento de imagens. Possibilita rastrear e calcular, rapidamente, a posição real da *webcam* e de seus cartões marcadores de referência, possibilitando que o desenvolvedor acrescente objetos virtuais sobre estes marcadores no mundo real. Os cartões marcadores são formados por molduras quadradas que circundam códigos (desenhos) catalogados no banco de dados da biblioteca. Apesar de fornecer um conjunto de cartões marcadores para desenvolvimento, o usuário pode criar e catalogar seus próprios desenhos e utilizar cartões marcadores personalizados.

ARToolKit Plus: apresenta algumas otimizações em relação ao *ARToolkit*, como por exemplo, possibilidade de utilizar computações de ponto fixo ao invés de ponto flutuante. Esta característica possibilita gerar aplicações eficientes para dispositivos móveis, tais como *Personal Digital Assistants* (PDAs) e *smartphones*. Os cartões marcadores são semelhantes aos do *ARToolKit*. A diferença está no desenho no interior do marcador formado por diversos codificadores possibilitando que o usuário utilize até 512 marcadores diferentes, diminuindo a ocorrência da confusão entre eles (WAGNER, 2010).

ARTag: também apresenta otimizações em relação ao *ARToolkit*, principalmente no processo de detecção de marcadores, tais como o problema do falso positivo (quando o sistema acusa a presença de um marcador, mas ele não existe) e do falso negativo (quando sistema não acusa a presença de um marcador, mas ele existe). Tanto o *ARToolKit* quanto o *ARTag* utilizam padrões para identificação dos marcadores. Porém, o *ARTag* compara códigos digitais compostos de 0 e 1, ao invés de imagens vetoriais como ocorre na biblioteca *ARToolKit*, diminuindo o processamento requerido para sua identificação. Outra característica do *ARTag* é a possibilidade de detectar a presença de oclusão e controle de luz que são pontos falhos do *ARToolKit* (FIALA, 2005).

DART: foi desenvolvido como um conjunto de extensões do ambiente de programação multimídia *Macromedia Director* (atualmente *Adobe Director*). O *Macromedia Director* é uma ferramenta de autoria para construção de conteúdos multimídia. O *DART* é um conjunto de ferramentas que possibilita um desenvolvimento rápido em Realidade Aumentada. O *DART* é composto por extensões do *Adobe Director* escritas na linguagem LINGO e *plugins* escritos na linguagem C++, além de usar como suporte para a captura de vídeo, rastreamento e para o processo de reconhecimento de marcadores a biblioteca *ARToolKit*. Esta ferramenta é voltada para aplicações onde a mídia gerada por computador é diretamente integrada à percepção dos participantes. Apesar de estar disponível para uso livre, esta biblioteca exige o *Adobe Director*, que é um *software* comercial (MACINTYRE et a, 2004).

OSGART: combina as funções de detecção e rastreamento de marcadores do *ARToolKit* com as funções para construção de modelos virtuais da biblioteca *OpenSceneGraph*. A biblioteca *OSGART* apresenta alta qualidade na renderização dos objetos virtuais e permite a importação e exportação de arquivos gerados pelo *software 3D Studio Max* e *Maya*. Dentre as características da biblioteca *OSGART*, destacam-se: facilidade de integração de vídeos, suporte a várias entradas de vídeo, suporte a técnicas de renderização de sombras, suporte a múltiplos marcadores. Foi constituída numa linguagem orientada a objeto. Possui suporte a outras linguagens de programação. Uma das importantes características é a utilização da técnica de limiar adaptativo que permite o ajuste automático do sistema de detecção dos marcadores conforme as alterações sofridas pela luz do ambiente (OSGART, 2010).

FLARToolKit: biblioteca para desenvolvimento de aplicativos de Realidade Aumentada para Web através do *Adobe Flash Player*. Com esta biblioteca é possível criar e utilizar aplicações Web sem a necessidade instalar qualquer programa. Basta que os navegadores sejam compatíveis com os *plugins* fornecidos pela empresa Adobe. É baseada na biblioteca *ARToolKit*, porém possui algumas limitações de desempenho e de funcionalidade, como a falta de suporte a múltiplos cartões. A biblioteca *FLARToolKit* é de uso livre e código aberto (FLARTOOLKIT, 2010).

***FLARManager*:** é uma extensão, constantemente atualizada, da biblioteca *FLARToolKit*. É possível através desta extensão, obter melhores resultados. Além de simplificar algumas das funções do *FLARToolKit*, ela implementa algumas funcionalidades ausentes no mesmo, como o suporte a múltiplos cartões (FLARMANAGER, 2010).

PaperVision3D: biblioteca gráfica pronta para trabalhar com arquivos 3D em formato *Collada*. Através desta biblioteca, é possível carregar diversos objetos 3D usando *Action Script* e renderizá-los seguindo as orientações dos marcadores usando o FLARToolKit ou FLARManager (PAPERVISION3D, 2010).

APÊNDICE C – Feira Muito Especial de Tecnologias Assistivas

A Feira Muito Especial de Tecnologia Assistiva e Inclusão Social de pessoas com deficiência é uma realização do Instituto Muito Especial com o apoio do Ministério da Ciência e Tecnologia. O evento visa reunir e expor invenções e novidades tecnológicas que facilitam a vida das pessoas com deficiência e contribuem para a ampla inclusão social. A primeira Feira ocorreu na cidade do Rio de Janeiro (RJ) nos dias 25 a 27 de Agosto de 2009. A segunda Feira ocorreu na cidade de Olinda (PE) de 27 a 30 de Outubro de 2009. Os visitantes da Feira eram alunos, professores e terapeutas que estudam ou trabalham nas escolas ou em centros de reabilitação.

Os materiais utilizados para exposição do GenVirtual na Feira foram: a terceira versão do GenVirtual (em desenvolvimento), uma TV de 40'' que foi conectada ao *notebook* (Pentium IV Intel de 1.0 GHz e 512mb de memória RAM) onde estava instalado o GenVirtual e uma *webcam* (*Logitech Webcam Pro 9000*).

Os visitantes da Feira, que se interessaram pelo GenVirtual, interagiram com o jogo da memória e também o modo compositor de melodias. O recurso que habilita as partituras do modo compositor ainda não havia sido desenvolvidas e, portanto, foi criado e impressa em papel uma partitura para que os visitantes pudessem ter alguma tarefa ao interagir com o modo compositor de melodias. A partitura oi colada com adesivo na parte superior da TV como mostra a Figura 1.

Figura 1. Partitura musical para reprodução musical com GenVirtual

Os visitantes da Feira eram em sua maioria, professores e terapeutas que estudam ou trabalham nas escolas ou em Centros de Reabilitação. Muitas crianças que acompanhavam os pais quiseram interagir com o GenVirtual. As Figuras 2 e 3 mostram algumas crianças interagindo com o modo compositor de melodias do GenVirtual.

Figura 2. Crianças utilizando o GenVirtual durante a Feira

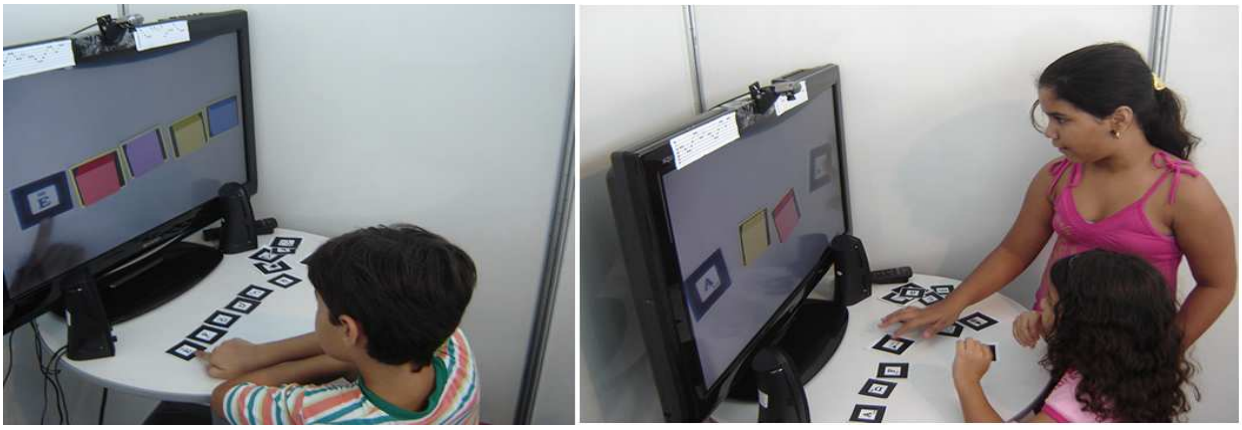


Figura 3. Crianças utilizando o GenVirtual durante a Feira

As Figuras 4 e 5 mostram imagens de usuários com deficiência visual congênita interagindo com o GenVirtual. A criança que aparece nas imagens recebeu orientações da mãe para interagir com os cartões musicais. Foi sugerido pela mãe e por outro usuário cego que os cartões musicais do GenVirtual pudessem ser impressos em alto relevo para auxiliar na sua utilização por usuários com deficiência visual.

Figura 4. Criança com deficiência visual interagindo com o GenVirtual

Figura 5. Usuário com deficiência visual interagindo com o GenVirtual

A mãe de uma criança com PC tentou utilizar o GenVirtual com seu filho. A criança estava em cadeira de rodas e apresentava baixa mobilidade funcional para as atividades-de-vida-diária. Foi necessário ajuda da mãe para que a criança pudesse interagir com o GenVirtual (Figura 6). Foi observado e a criança sorria ao ouvir os sons das notas musicais.

Figura 6. Criança com Paralisia Cerebral interagindo com o GenVirtual

APÊNDICE D – Questionário de Satisfação da Interação do Usuário

Por favor, em cada questão abaixo, assinale com um "X" a alternativa que mais reflete a sua impressão sobre o uso do GenVirtual, indicando o grau de concordância dentro de uma escala de 1 (grau mais baixo) a 5 (grau mais alto) ou N/A (Não se aplica).

PARTE A – FACILIDADE DE USO								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**		**N/A**
Interagir com o GenVirtual	Difícil						Fácil	
	Frustrante						Satisfatório	
	Tedioso						Estimulante	
PARTE B – SATISFAÇÃO								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**		**N/A**
Como você se sentiu em relação à atividade que acabou de realizar/observar?	Insatisfeito						Satisfeito	
	Desmotivado						Motivado	
	Angustiado						Entusiasmado	
	Irritado						Sorridente	
PARTE C - APRENDIZADO								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**		**N/A**
Instruções para aprender a usar o GenVirtual	Difícil						Fácil	
Lembrar como usar o GenVirtual	Difícil						Fácil	
Reproduzir uma melodia com o GenVirtual	Difícil						Fácil	
Conclusão da tarefa	Insatisfeito						Satisfeito	
PARTE C – APLICABILIDADE								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**		**N/A**
Indicado para reabilitação motora	Inadequado						Adequado	
Indicado para reabilitação cognitiva	Inadequado						Adequado	
Uso domiciliar	Inadequado						Adequado	
PARTE D – SUGESTÕES E COMENTÁRIOS								
_____								
_____								
_____								

APÊNDICE E – Questionário de Avaliação dos Requisitos do Fazer Musical - Aplicação para o ambiente de intervenção em Musicoterapia

Musicoterapeuta:_____
Associação afiliada:_____Nº_____
Local de trabalho:_____Data:_____

Responda "Sim ou Não" para as questões abaixo sobre a aplicabilidade do GenVirtual na interação do "fazer musical "

	Sim	Não
Recriação Musical		
O sistema possibilita a reprodução sonora de instrumentos musicais acústicos ou eletrônicos?		
O sistema possibilita a reprodução de uma linha melódica ou parte dela?		
O sistema possibilita transformar uma linha melodia ou parte dela?		
Observações:		
Composição Musical		
O sistema possibilita a composição livre de melodias ou parte de melodias inéditas?		
O sistema possibilita gravar as melodias criadas?		
Observações:		
Improvisação Musical		
O sistema possibilita o usuário improvisar sons de instrumentos variados?		
O sistema possibilita mais de um usuário para interagir de improviso sons de instrumentos variados?		
O sistema possibilita gravação das melodias criadas ou improvisadas ?		
Observações:		
Audição Sonora e Musical		
O sistema possibilita a reprodução do áudio do material sonoro gravado?		
As sonoridades dos instrumentos musicais da ferramenta se aproximam da sonoridade dos instrumentos convencionais?		
Observações:		

Como você utilizaria esta ferramenta em terapia?

_____

_____

Do que mais gostou ? _____
E o que menos gostou?_____

APÊNDICE F – Questionário de Satisfação de Interação do Usuário Aplicado na AACD

Por favor, em cada questão abaixo, indique com um "x" a alternativa que mais define a sua impressão sobre o uso do GenVirtual.

(1) Como você se sentiu em relação às atividades que acabou de realizar:

( ) muito satisfeito
( ) satisfeito
( ) indiferente
( ) frustrado
( ) muito frustrado
( ) não tenho como opinar

(2) Como seu paciente se sentiu em relação às atividades que acabou de realizar:

( ) muito motivado
( ) motivado
( ) indiferente
( ) desmotivado
( ) muito desmotivado
( ) não tenho como opinar

(3) Interagir com o GenVirtual foi:

( ) muito fácil
( ) fácil
( ) indiferente
( ) difícil
( ) muito difícil
( ) não tenho como opinar

(4) Como você considera as possibilidades de uso do GenVirtual para apoiar os métodos e procedimentos musicoterapêuticos:

( ) muito adequado
( ) adequado
( ) indiferente
( ) inadequado
( ) muito inadequado
( ) não tenho como opinar

(5) Você gostaria de continuar utilizando o GenVirtual com este paciente:

( ) sempre
( ) às vezes
( ) indiferente
( ) quase nunca
( ) nunca
( ) não tenho como opinar

(6) Você gostaria de utilizar o GenVirtual para reabilitação de outro(s) paciente(s):

( ) sempre
( ) às vezes
( ) indiferente
( ) quase nunca
( ) nunca
( ) não tenho como opinar

(7) Deixe suas sugestões e comentários a respeito da(s) atividade(s) que acabou de realizar:

_____

_____

_____

_____

(8) Liste os pontos fortes e fracos sobre o uso do GenVirtual:

_____

_____

_____

_____

(9) Você realizou alguma(s) atividade(s) que anteriormente não era(m) possível(s) de ser(em) feita(s) sem uso do computador?

_____

_____

_____

_____

APÊNDICE G – Questionário de Satisfação de Interação do Usuário Aplicado na ABDIM

O questionário elaborado para a coleta de dados dos estudos na ABDIM foi feito com base na escala de Likert. As escalas de Likert requerem que os entrevistados indiquem seu grau de concordância ou discordância com declarações relativas à atitude que está sendo medida. Atribui-se valores numéricos e/ou sinais às respostas para refletir a força e a direção da reação do entrevistado à declaração. As declarações de concordância devem receber valores positivos ou altos enquanto as declarações das quais discordam devem receber valores negativos ou baixos (BAKER, 2005).

Foi utilizada uma escala de 10 pontos para que o entrevistado pudesse expressar sua opinião em relação às perguntas do questionário: 0 a 2 (discordo totalmente), 3 a 4 (discordo), 5 a 6 (indiferente), 7 a 8 (concordo parcialmente), 9 a 10 (concordo totalmente).

A Figura 1 mostra o questionário aplicado no paciente e no terapeuta. Os intervalos percentuais correspondem aos pontos da escala de Likert. Os intervalos são divididos em quatro colunas que correspondem às quatro semanas do mês. Como os pacientes receberam intervenções uma vez por semana durante 5 meses, então a cada quatro semanas de intervenção (1 mês), o entrevistador iniciava um novo questionário.

Nome do paciente: _____ **Idade:**_____
Datas: _____;_____;_____;_____;_____.

Paciente _____	100%	80%	60%	40%	20%	0%	N A
Facilidade de uso durante a terapia							
Obs:							
Efeito do exercício							
Obs:							
Grau de motivação ao realizar o exercício							
Obs:							
Quanto satisfeito ao realizar o exercício							
Obs:							

Do que você mais gostou ou não?

_____

Terapeuta	100%	80%	60%	40%	20%	0%	NA
Praticidade de uso do equipamento(pré-pós)							
Obs:							
Aplicabilidade (instruções) ao paciente							
Obs:							
Grau de motivação do paciente ao realizar o exercício(visão do terapeuta)							
Obs:							

Do que você mais gostou ou não?

_____

_____

APÊNDICE H – Avaliações com os Pacientes da ABDIM

A Tabela 1 mostra os resultados das avaliações com os pacientes.

Tabela 1. Valores médios de 4 respostas da 1a etapa e 4 respostas da 2a etapa das avaliações com paciente na ABDIM

FATORES	1ª etapa		2ª etapa	
	GI RGV	GC MMB	GI MMB	GC RGV
Facilidade de Uso	82%	82%	91%	92%
Efeito do Exercício	80%	79%	86%	81%
Grau de Motivação	88%	74%	78%	88%
Grau de Satisfação	86%	82%	89%	87%

Os gráficos abaixo mostram aos dados dos pacientes coletados na ABDIM. O eixo X corresponde às 16 Intervenções e o eixo Y a média das respostas coletadas. As quatro primeiras avaliações do gráfico representam o Grupo Intervenção (GI) utilizando o GenVirtual e o Grupo Controle (GC) utilizando o material convencional (massa e bastão). As demais quatro avaliações finais do gráfico mostram o GI utilizando o material convencional e o GC utilizando o GenVirtual.

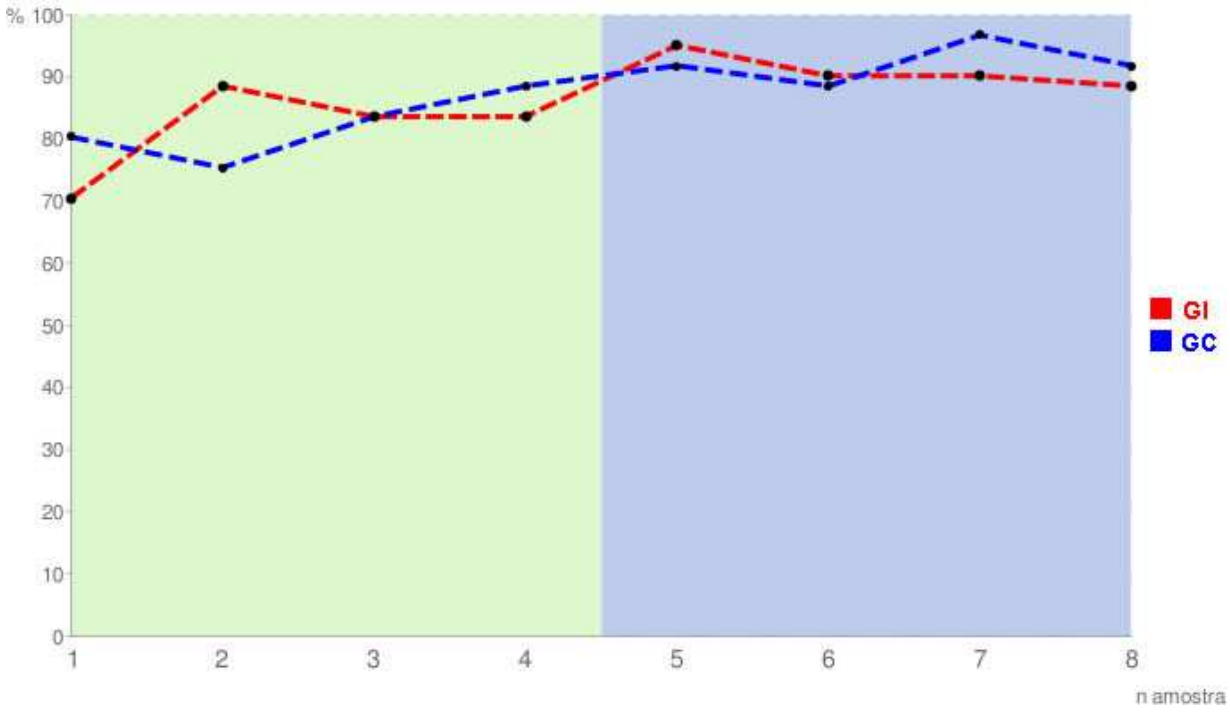


Figura 1. Facilidade de uso durante a terapia

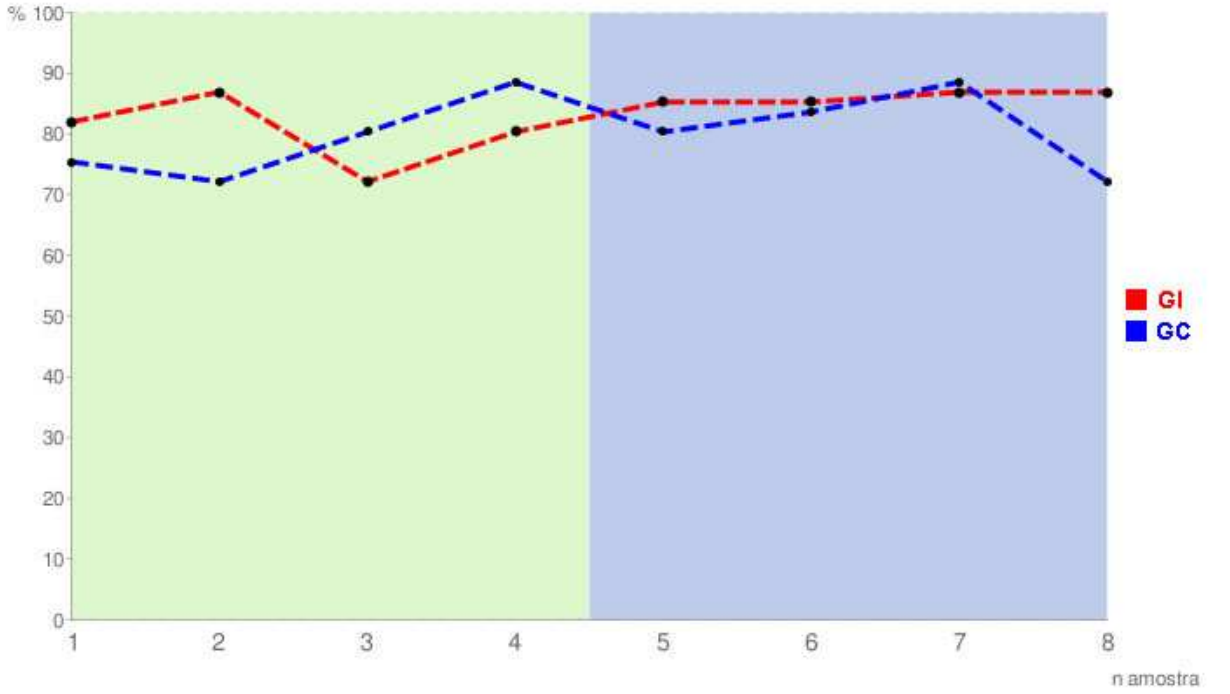


Figura 2. Efeito dos exercícios durante a terapia

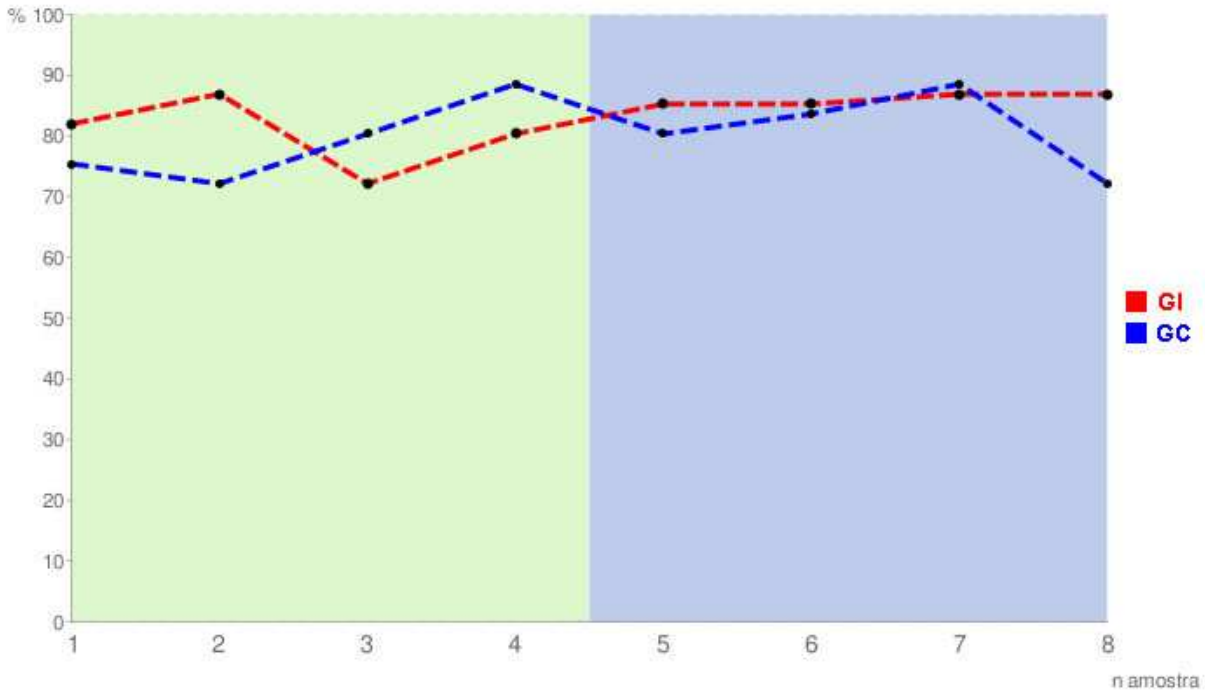


Figura 3. Grau de motivação após a terapia

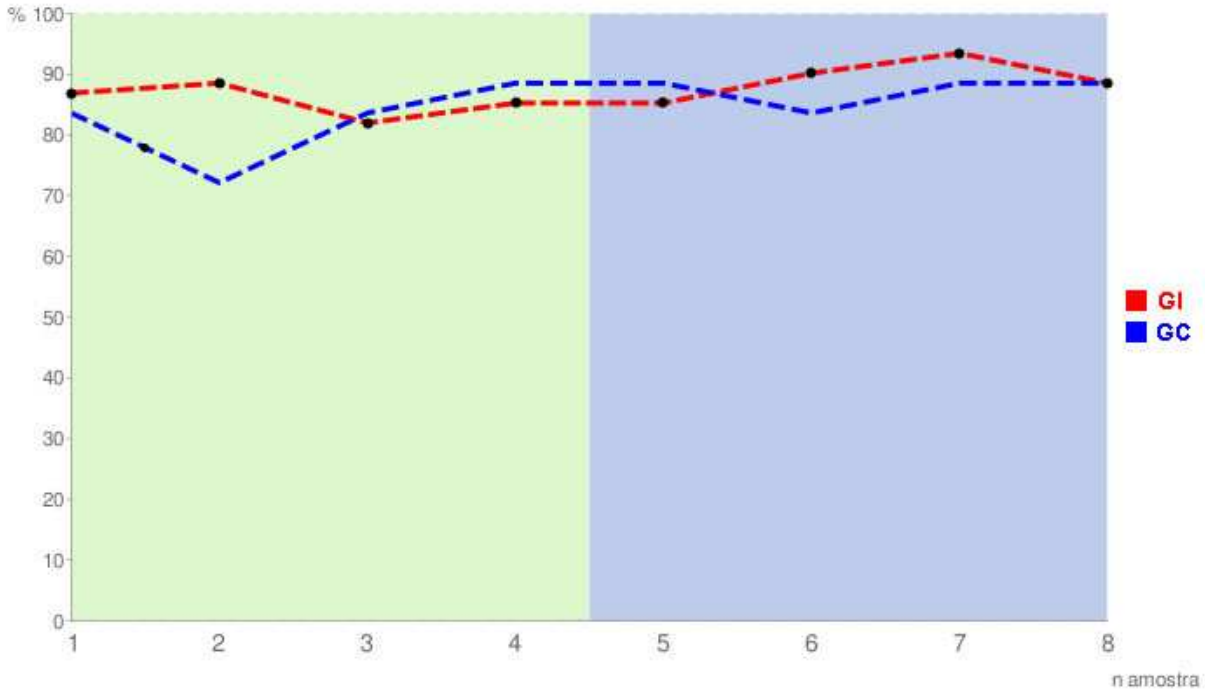


Figura 4. Grau de satisfação ao realizar a terapia

APÊNDICE I – Avaliações com os Terapeutas da ABDIM

A Tabela 1 mostra os resultados das avaliações com os terapeutas.

Tabela 1. Avaliação do terapeuta na ABDIM

FATORES	1ª etapa		2ª etapa	
	GI RGV	GC MMB	GI MMB	GC RGV
Praticidade de Uso	82%	64%	84%	68%
Grau de Motivação do Paciente	86%	86%	74%	100%
Aplicabilidade	96%	100%	92%	87%

Os gráficos abaixo mostram aos dados dos terapeutas coletados na ABDIM.

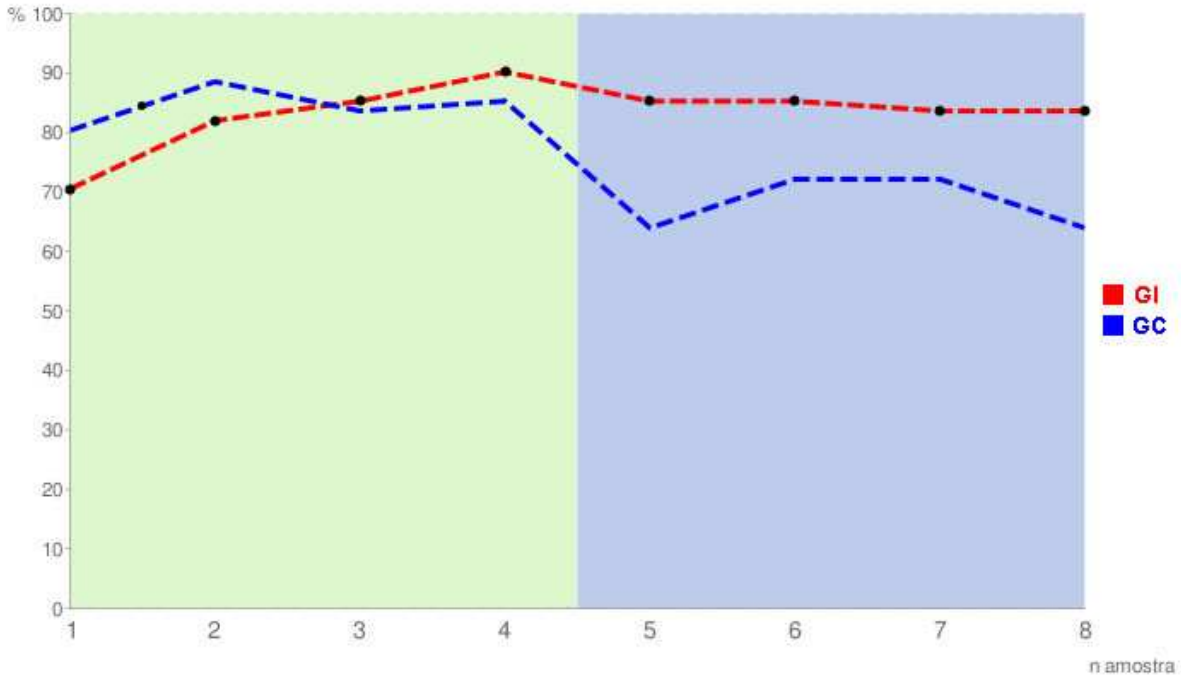


Figura 1. Praticidade de Uso do Equipamento

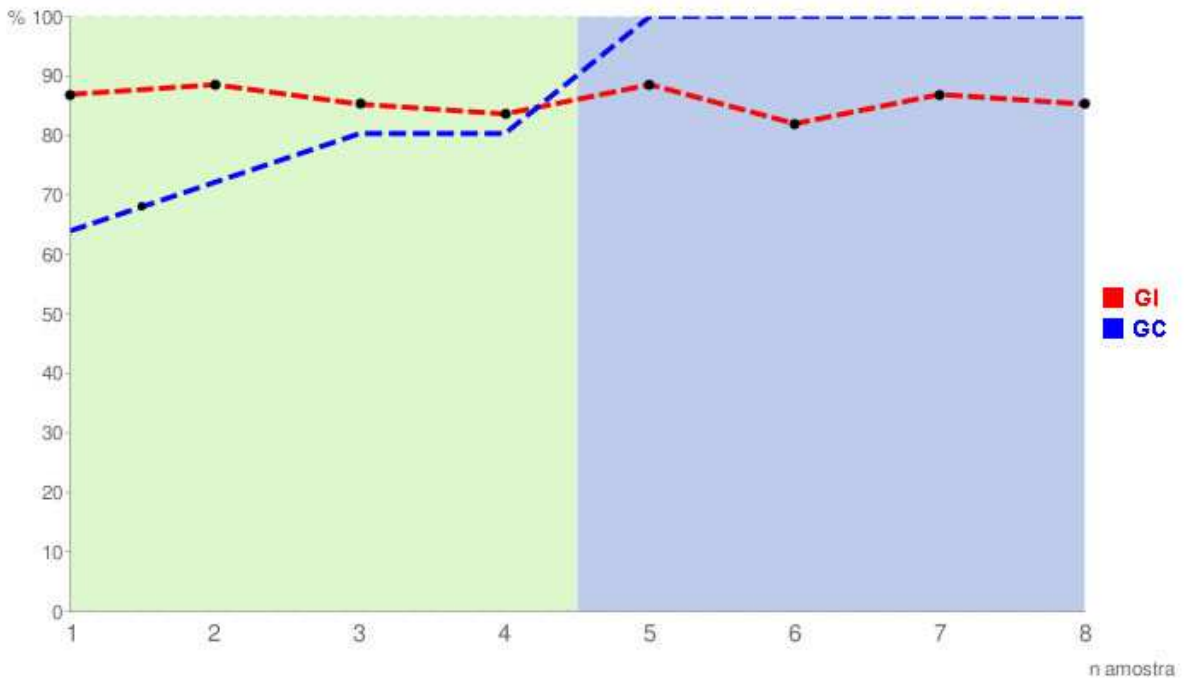


Figura 2. Grau de motivação do paciente (resposta do terapeuta)

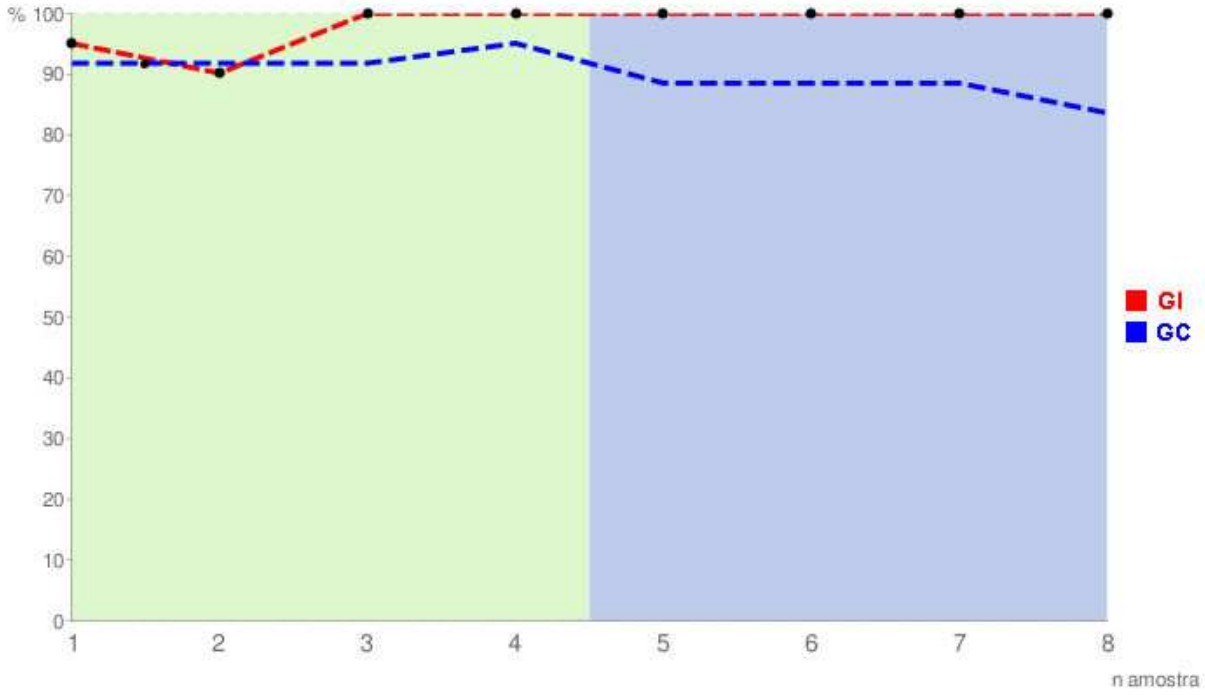


Figura 3. Aplicabilidade do equipamento (resposta do terapeuta)

APÊNDICE J – Sítio Eletrônico do GenVirtual

Com a divulgação do GenVirtual na I e II Feira Muito Especial de Tecnologias Assistivas, muitas pessoas solicitaram uma versão para uso. Para facilitar a distribuição, foi criado um site no Portal do Núcleo de Aprendizagem, Trabalho e Entretenimento (NATE) para divulgação do trabalho e *download* do GenVirtual. O site encontra-se hospedado, desde Novembro de 2009, num servidor Linux/Apache próprio do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) rodando sobre um aplicativo da plataforma Plone que gerencia projetos do próprio NATE. A Figura 1 mostra a página inicial do GenVirtual.

Figura 1 - Site do GenVirtual

O site possui um “Menu de Opções” composto por:

- **Download:** Nesta seção é possível efetuar o *download* da versão 3.0 do GenVirtual. Além do download, foram disponibilizadas instruções para a instalação e uso do sistema. Foi também disponibilizado um link para a leitura da

documentação do projeto (descrição da biblioteca *ARToolkit* integrada às bibliotecas de áudio utilizadas). Ao efetuar o clique de *download*, o usuário ativa o contador de *downloads*. Este contador informa o total de vezes em que foi feito download do GenVirtual.

- **Manual:** Nesta seção foi disponibilizado um manual de instruções para uso do GenVirtual. Este manual apresenta uma descrição passo-a-passo de como utilizar o sistema. Há também arquivos em *Portable Document Format* (PDF) e World (DOC) contendo os cartões marcadores para impressão. Com o arquivo *DOC* o usuário pode aumentar ou diminuir o tamanho dos cartões antes de imprimi-los.
- **Fórum:** Trata-se de uma forma de comunicação com a equipe de desenvolvedores do projeto. Esta ferramenta interativa possibilita responder dúvidas, fornecer sugestões, compartilhar informações e proporcionar discussões com outros usuários. O fórum serve como um canal de suporte, por meio do qual torna-se possível esclarecer dúvidas sobre a instalação, funcionamento e utilização geral e uso em entidades terapêuticas.
- **Sistema de busca interna:** Através da ferramenta de busca, disponibilizada pelo Google, é possível encontrar tópicos de interesse em qualquer uma das páginas através da caixa de busca localizada na página principal do site. Essa ferramenta facilita encontrar os conteúdos que são disponibilizados no site.
- **Ferramenta de acessibilidade:** Essa ferramenta possibilita auxiliar os usuários com deficiência a utilizar o site. Com a ferramenta de acessibilidade é possível aumentar o tamanho das letras dos textos do site auxiliando aqueles que possuem baixa visão.
- **Vídeos:** é possível visualizar os vídeos sobre o GenVirtual que estão disponíveis no site do Youtube[25].

[25] www.youtube.com.br

ANEXO A – PROTOCOLO DE PESQUISA DA AACD

AACD
ASSOCIAÇÃO DE ASSISTÊNCIA À CRIANÇA DEFICIENTE

São Paulo, 28 de Julho de 2010.
CEP - AACD – nº 089/2010 (C/c: Diretoria Clínica)

Marilena do Nascimento, Ana Grasielle Concã
Setor Musicoterapia - AACD/ SP

Prezado Pesquisador:

O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Associação de Assistência à Criança Deficiente, instituído em 28/02/2002, e de acordo com as NORMAS DE PESQUISA EM SAÚDE da Resolução nº 01/88, do Conselho Nacional de Saúde, outorgadas pelo Decreto nº 93.933 de 14 de Janeiro de 1987 e publicadas no periódico Bioética 1995;3:137-154 analisou e **APROVOU** o projeto de pesquisa intitulado: " GENVIRTUAL: AMBIENTE DE REALIDADE VIRTUAL AUMENTADA MUSICAL PARA REABILITAÇÃO MOTORA E COGNITIVA", em reunião ocorrida em 27/07/2010.

De acordo com as resoluções internas do CEP, solicitamos aos pesquisadores que atendam às recomendações abaixo, nas quais ENQUADRE-SE o projeto de pesquisa apresentado:

1. Incluir a citação da instituição **"ASSOCIAÇÃO DE ASSISTÊNCIA À CRIANÇA DEFICIENTE"**, em trabalhos impressos, eletrônicos, apresentações orais, congressos científicos, meios de comunicação em geral, etc., como um dos locais **PRINCIPAIS** onde desenvolveu-se o trabalho;

2. Enviar à Diretoria Clínica, cópia(s) do resultado final do trabalho (publicação em periódicos, capítulos de livros, apresentações em congressos e reuniões científicas, etc.), como forma de monitoramento e retorno ao CEP no que tange aos resultados obtidos, forma de apresentação e cumprimento em relação à recomendação 1;

3. Anexar **"TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO"**, nos prontuários dos pacientes, deixando uma segunda via com os mesmos e uma terceira via em poder do pesquisador. Este aparente excesso de segurança resguarda *"pesquisadores" e "instituição"* de pendências e discussões ético-jurídicas posteriores acerca do trabalho realizado;

4. Nos casos de profissionais da instituição (AACD) matriculados em programas de pós-graduação *"strict sensu"* (níveis Mestrado e Doutorado), *"lato sensu"* (Especialização, Aperfeiçoamento ou Extensão) ou programas de Pós-Doutoramento, **NÃO** será permitido o uso de horário institucional para realização de cursos, cumprimentos de créditos, disciplinas, reuniões e demais atividades ligadas à Pós-Graduação.

5. Mudanças substanciais quanto ao tema ou metodologia empregados deverão ser submetidas novamente à apreciação do CEP.

6. No caso de trabalhos interinstitucionais, enviar à Diretoria Clínica cópia do parecer do CEP da instituição envolvida e, se for o caso, com os modelos locais de "termo de consentimento livre e esclarecido" utilizados.

Atenciosamente e colocando-nos à disposição,

Dr. Luis Garcia Alonso
Médico Geneticista
Presidente do CEP

Dr. Mauro César Morais F°
Diretor Clínico

Estou de acordo com o parecer e as recomendações do CEP – AACD

14 / 10 / 2010

Pesquisador Responsável

1.221.389 atendimentos realizados em 2008, nas 9 unidades: SP (Ibirapuera, Mooca, Osasco e São José do Rio Preto), Pernambuco, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Santa Catarina.

ASSOCIAÇÃO DE ASSISTÊNCIA À CRIANÇA DEFICIENTE
CENTRO DE REABILITAÇÃO DR. RENATO DA COSTA BOMFIM
Consorciada de Utilidade Pública Lei Estadual, 2061 de 27.12.82 - Decreto Federal nº 1.326 de 30.08.62 - Decreto Municipal nº 19.265 de 25.11.63
Rua Borges Lagoa, 1505 - São Paulo - SP - 04038-004 - www.aacd.org.br - PABX: (11) 5576-0777 - Fax: (11) 5576-0871