

ANA GRASIELLE DIONÍSIO CORRÊA

**MusandScene: Sistema Gestual Interativo
de Expressão e Criação Musical**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Elétrica.

São Paulo
2005

ANA GRASIELLE DIONÍSIO CORRÊA

PARA CÓPIAS, CONSULTAR A EDIÇÃO REVISADA :

FD- 3966

Ed. rev.

MusandScene: Sistema Gestual Interativo de Expressão e Criação Musical

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração:
Sistemas Eletrônicos

Orientadora:
Profa. Dra. Roseli de Deus Lopes

São Paulo
2005

Esta dissertação é dedicada a meus pais, David Corrêa e Neide Dionísio Corrêa, pelos esforços que fizeram e pelas dificuldades pelas quais passaram para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Apesar da grande distância e da imensa saudade, vocês sempre estiveram comigo em meus pensamentos. Tudo o que vocês me ensinaram está em minha mente e, sobretudo em meu coração.

Agradecimentos

À Deus, que sempre esteve presente em todos os momentos de minha vida, fornecendo-me idéias que favoreceram a realização deste objetivo.

À minha orientadora Profa. Dra. Roseli de Deus Lopes que apesar de todas as dificuldades que pareciam fortalezas, puderam ser transpostas.

Agradeço também aos meus companheiros dessa jornada, Oswaldo Bassani Neto, Djalma Lúcio, Irene Karaguilla Ficheman e outros, que sempre ouviram pacientemente sobre idéias e sugestões.

À Profa. Dra. Maria das Graças Bruno Marietto pelo incentivo à pesquisa, desde a graduação até o presente momento.

Aos amigos de república, André Luíz Miranda da Rosa, Marcos Antônio Cavalhieri e Patrícia Trautenmuller, que dividiram comigo as angústias motivadas pela distância de casa.

E, finalmente, à CAPES pelo apoio financeiro que permitiu a realização deste trabalho.

Muitos foram os que proporcionaram, direta e indiretamente, o desenvolvimento desta pesquisa. A todos, meus sinceros agradecimentos.

Resumo

Estudos sobre gestos e movimentos corporais têm sido foco de pesquisas cada vez mais freqüentes no desenvolvimento de sistemas computacionais. Isto porque as inovações tecnológicas influenciam na exploração de diferentes recursos eletrônicos e computacionais para criação de interfaces gestuais. Estas inovações, aliadas à evolução da interface homem-computador favorece no desenvolvimento de sistemas de interpretação de imagens e sons, tornando tendência que o usuário interaja com o computador através de gestos ou comando de voz.

Estes fatores aliados aos meios eletrônicos interativos para exploração e criação de interfaces gestuais, propiciam para o surgimento de novas modalidades de ensino-aprendizagem relacionadas às formas de expressão corporal como meio de comunicação. Aos especialistas na área de Tecnologia da Informação cabe o papel de desenvolver sistemas que permitam aplicar as recentes pesquisas pedagógicas e apresentar aplicações educativas e novos sistemas de aprendizagem apoiados por computador.

O presente trabalho relata a concepção do MusandScene, um sistema gestual de criação musical para ser utilizado no apoio e complemento da aprendizagem de música para iniciantes. O sistema faz uso de diferentes dispositivos de captura de movimentos que o aluno poderá utilizar na realização de sua apresentação. Estes dispositivos podem ser sensores ou câmeras que, através de marcadores posicionados pelo corpo do usuário, capturam sua posição (x, y, z).

Neste sistema, a produção musical ocorre por meio da exploração do som e de seus atributos. Os testes realizados com o MusandScene revelam a possibilidade em integrar os gestos, os sons e os movimentos na criação musical, permitindo que qualquer pessoa, sem um conhecimento prévio da linguagem musical, seja capaz de criar música. Estes resultados confirmam a necessidade de diversificar os ambientes interativos de aprendizagem contribuindo para a evolução das pesquisas na área de computação e música.

Abstract

Researches on body motion and movements have become a focus of more and more common researches on computer systems development. Due to the influence of the technological innovations over the exploration on different electronic and computer resources for creation of motion interfaces. These innovations, allied to the evolution on human- computer interface favors the development of image and sound interpretation systems, which creates a trend where users interacts with the computer through motion or voice command.

These factors joined with the interactive-electronic medium applied on exploration and creation of motion interfaces, propitiate the origination of new teaching and learning modalities related to the forms of corporal expression as communication form. So the specialists in the Information Technology field have the role to develop systems that allow application on recent pedagogical research and to present educational applications and new systems of learning supported by computer.

The present work relate to the conception of MusandScene, a motion system applied on musical creation to be used in support and complement musical learning and initiation. The system makes use of different devices to capture movements that the student will be able to use in the creation of a presentation. These devices can be sensors or cameras that, through markers locates the body of the user, captureing its position (x, y, z) .

In this system, the musical production occurs through the exploration of sound and its attributes. Tests carried with the MusandScene disclose the possibility of integrating gestures, sounds and movements in musical creation, allowing any person, without any previous knowledge of the musical language, capable to create music. The results confirm the necessity to diversify interactive environments of learning contributing for the evolution of the research in the computer science and music areas.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Motivação	2
1.3	Relevância do Tema	3
1.4	Método	3
1.5	Estrutura do Trabalho	4
2	Conceitos Musicais	6
2.1	A Evolução Musical	6
2.2	A Natureza Física do Som	7
2.3	Características do Som	8
2.3.1	Altura	8
2.3.2	Intensidade	9
2.3.3	Timbre	10
2.3.4	Duração do Som e os Valores das Notas	11
2.4	Elementos da Execução Musical	12

2.4.1	A Forma Musical	13
2.4.2	O Ritmo e a Expressão Musical	13
2.4.3	O Andamento	14
2.4.4	Produção Musical	15
2.5	Fontes Sonoras	16
2.5.1	Instrumentos Eletrônicos	17
2.6	Conclusões	18
3	Correntes da Educação e suas Dinâmicas Baseadas em Música	19
3.1	Introdução	19
3.2	Émile Jaques-Dalcroze	19
3.3	A Teoria Espiral de Desenvolvimento Musical segundo Swanwick .	23
3.4	Conclusões	24
4	Captura de Movimentos	25
4.1	Introdução	25
4.2	Classificação	25
4.2.1	Sistemas Mecânicos	26
4.2.2	Sistemas Acústicos	27
4.2.3	Sistemas Óticos	28
4.2.4	Sistemas Magnéticos	30
4.3	Aplicações	31
4.4	Conclusões	32
5	Tecnologia e Música	33
5.1	O Computador como Ferramenta de Criação Musical	33

5.2	Sistemas Musicais Interativos	34
5.3	Interfaces	35
5.3.1	Características da Interface	36
5.3.2	A Importância das Interfaces Homem-Computador no Contexto Educativo-Musical	37
5.4	Trabalhos Correlatos	38
5.4.1	Brain Opera	39
5.4.2	DanceSpace	40
5.4.3	Tapete Interativo	41
5.4.4	Editor EduMusical	42
5.4.5	Teclado Virtual	44
5.5	Conclusões	45
6	Sistema MusandScene	46
6.1	Introdução	46
6.2	Características Gerais	47
6.2.1	Educação Musical	47
6.2.2	Musicoterapia - Reabilitação através de terapias musicais	48
6.3	Descrição do MusandScene	49
6.4	Modelagem UML	50
6.4.1	Casos de Uso	51
6.4.2	Descrição dos Cenários	52
6.4.3	Formas de Criação Musical	56
6.5	Diagrama de Atividades	67
6.5.1	Configurar Melodia	67
6.5.2	Configurar Objeto de Controle Musical	68

6.5.3	Configurar Dispositivo de Captura de Movimentos	70
6.5.4	Configurar Personagem	70
6.5.5	Criar Composição	71
6.6	Modelo de Classes	72
6.7	Conclusões	74
7	Implementação	75
7.1	Infraestrutura Disponível	75
7.1.1	Sistemas de Rastreamento Eletromagnético	75
7.2	Interface do MusandScene	77
7.2.1	Melodia	77
7.2.2	Objeto de Controle Musical	78
7.2.3	Dispositivos	80
7.2.4	Executar Apresentação	81
7.3	Ambiente e Linguagem de Desenvolvimento	83
7.3.1	Linguagem Java	83
7.3.2	API do Java Sound	84
7.3.3	Musical Instrument Digital Interface	85
7.4	Conclusões	86
8	Testes e Avaliações dos Resultados	87
8.1	Avaliação de Software por Equipe Multidisciplinar	87
8.2	Método	88
8.3	Testes Funcionais em Diversas Plataformas	89
8.3.1	Resultados dos Teste	90
8.3.2	Configuração Mínima	92

8.4	Sugestões de Avaliações Futuras	92
8.5	Conclusões	93
9	Conclusões e Trabalhos Futuros	95
9.1	Conclusões Gerais	95
9.2	Contribuições	95
9.3	Trabalhos futuros	96
	Referências	98

Lista de Figuras

2.1	Altura das notas musicais em uma clave de sol	9
2.2	Som com três harmônicos, Figueiredo e Mota (2001)	10
2.3	Figuras musicais e suas respectivas pausas	12
4.1	Etapas de um sistema de captura de movimento	26
4.2	Sistema de captura de movimento mecânico, Silva (1998)	26
4.3	Sistema de captura de movimento ótico, Troje (2003)	28
4.4	Sistema magnético de rastreamento, Fastrack (2005)	30
5.1	<i>Gesture Walls</i> , Paradiso (1998)	40
5.2	Sistema <i>DanceSpace</i> , Sparacino, Davenport e Pentland (2000)	41
5.3	Sistema Tapete Interativo, Pivetta (2003)	42
5.4	Sistema Editor Musical, Ficheman, Lopes e Kruger (2002)	43
5.5	Esquema do Teclado Virtual, Pansa, Augusto e Neto (2004)	44
5.6	Sistema Teclado Virtual, Pansa, Augusto e Neto (2004)	44
6.1	Ações envolvidas na execução do MusandScene	50
6.2	Visão de caso de uso do MusandScene	51
6.3	Caso de uso Configurar Melodia	53
6.4	Caso de uso Configurar Objeto de Controle Musical	54
6.5	Caso de uso Configurar Dispositivo	54
6.6	Caso de uso Configurar Personagem	55
6.7	Caso de uso Criar Composição	56

6.8	Objeto x (eixo x, timbre)	57
6.9	Objeto y (eixo y, timbre)	57
6.10	Objeto z (eixo z, timbre)	58
6.11	Objetos de controle musical simples	58
6.12	Objetos de controle musical compostos por dois eixos	59
6.13	Objetos de controle musical compostos por três eixos	60
6.14	Dois objetos de controle musical simples	60
6.15	Dois objetos de controle musical (simples x composto) (composto x composto)	61
6.16	Criação colaborativa com objetos de controle musical simples . . .	62
6.17	Criação colaborativa com objetos de controle musical composto .	63
6.18	Criação colaborativa com objetos de controle musical simples e composto	63
6.19	Criação colaborativa com dois objetos de controle composto . . .	64
6.20	Criação colaborativa com três objetos de controle musical composto	65
6.21	Criação colaborativa com três objetos de controle musical composto	65
6.22	Criação colaborativa com quatro objetos de controle musical com- posto	66
6.23	Criação colaborativa com quatro objetos de controle simples e com- posto	67
6.24	Diagrama de sequência Escolher Melodia	68
6.25	Diagrama de sequência Configurar Objeto de Controle Musical . .	69
6.26	Diagrama de sequência Escolher Dispositivo	70
6.27	Diagrama de sequência Escolher Personagem	71
6.28	Diagrama de sequência Criar Composição	72
6.29	Modelo de classes de som do sistema MusandScene	73

6.30	Modelo de classes do sistema MusandScene	73
7.1	Sistema de rastreamento eletromagnético da Caverna Digital Gomes e Soares (2004)	76
7.2	Tela de entrada do MusandScene	77
7.3	Biblioteca de melodias do MusandScene	78
7.4	Espaço 3D	79
7.5	Objeto de controle musical	79
7.6	Ambiente de configuração do objeto de controle musical	80
7.7	Ambiente de configurações do dispositivo de rastreamento	81
7.8	Ambiente gráfico do MusandScene	82
7.9	Cenário de criação musical do MusandScene	83
7.10	Processo de compilação de um arquivo java	84
8.1	Configurando o MusandScene na Caverna Digital	90
8.2	Testes com dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB na Caverna Digital	91

Lista de Tabelas

6.1	Organização dos casos de uso do sistema MusandScene	52
8.1	Testes em diversas plataformas do MusandScene	89
8.2	Configuração mínima do MusandScene	92
8.3	Escala de severidade de problemas de usabilidade	93

Lista de Abreviaturas

EPUSP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

FOB *Flock of Birds*

FOV Campo de Visão (*Field of Vision*)

FPS Quadros por Segundo (*Frames Per Second*)

J2SDK Ferramenta de Desenvolvimento de Software em Java 2 (*Java 2 Software Development Kit*)

JRE Ambiente de Execução do Java (*Java Runtime Environment*)

JSE Máquina de Som do Java (*Java Sound Engine*)

JVM Máquina Virtual Java (*Java Virtual Machine*)

LIGA Laboratório de Interfaces Gestuais (da Universidade de Campinas)

LSI Laboratório de Sistemas Integráveis (da Escola Politécnica da USP)

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

MIT *Massachusetts Institute of Technology*

NICS Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora (da Universidade de Campinas)

UML Linguagem de Modelamento Unificada (*Unified Modelling Language*)

XML Linguagem de Anotação Extensível (*Extensible Markup Language*)

1 Introdução

As inovações tecnológicas associadas à melhoria de técnicas de produção de sons propiciam o desenvolvimento de ferramentas de composição, análise, síntese e edição de sons cada vez mais poderosas e sofisticadas. Estas ferramentas surgem para apoiar estudantes e profissionais nas mais diversas áreas.

O aprimoramento das interfaces para comunicação de dados e o aumento da capacidade de processamento, abrem novos caminhos para aplicações educativas apoiadas por meios eletrônicos interativos. Segundo (ZUFFO, 2001), a definição de meios eletrônicos interativos é “*o acervo tecnológico orientado ao relacionamento sensitivo (audição, visão e tato) entre o usuário e uma infraestrutura computacional*”.

O computador e seus periféricos evoluíram de tal forma que composições musicais podem ser criadas sem a utilização de um instrumento musical e de um especialista em música. Com estes sistemas, pode-se proporcionar às pessoas formas diferenciadas de criar música através de jogos musicais e brincadeiras rítmicas.

O foco deste trabalho é a pesquisa de sistemas musicais gestuais apoiada por meios eletrônicos interativos por meio da identificação das características e tecnologias necessárias para o suporte adequado aos mesmos. Portanto, a pesquisa envolve estudos nas áreas de Educação Musical, Práticas Pedagógicas de Educadores Musicais de Referência, O Computador como Ferramenta de Criação Musical e Sistemas de Captura de Movimentos.

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é criar e ampliar formas e possibilidades de improvisação musical, utilizando meios eletrônicos interativos. Sua contribuição é a apresentação de um sistema de expressão e criação musical interativo, onde dispositivos eletrônicos são capazes de capturar os movimentos do corpo para geração de efeitos sonoros em tempo real. Este sistema possibilita codificar a dinâmica humana no espaço sob a forma de sinais elétricos através de uma interface projetada para esta finalidade. Espera-se que com este sistema, as possibilidades de movimentos do corpo na criação musical possam proporcionar ao usuário uma educação rítmica e musical, além de equilíbrio, prazer e alegria.

A abordagem proposta é voltada a aplicações educacionais como mais um estímulo ao uso de recursos tecnológicos no apoio ou complemento ao processo de ensino-aprendizagem de música. Acredita-se que a possibilidade de produzir e alterar sons com o movimento do corpo, possa contribuir para despertar o gosto e desejo de se aprofundar no estudo e criação musical. Outra Aplicação que se mostra promissora é em musicoterapia para reabilitação motora.

1.2 Motivação

A disseminação do uso de computadores no processo de ensino-aprendizagem traz imensas possibilidades de exploração da educação apoiada por meios eletrônicos interativos. A partir da década de 90, a possibilidade de desempenho em tempo real adquiriu importância no contexto da música computacional, onde a improvisação com dispositivos eletrônicos assume a posição de modalidade ou processo de composição musical.

Frente ao imenso potencial, ainda quase inexplorado, do uso de meios eletrônicos interativos para Iniciação Musical, em particular, para expressão e composição a partir de gestos, decidiu-se investigar as possibilidades nesta área.

Neste sentido, a motivação deste trabalho é favorecer ao aluno sua integração com computadores no controle de eventos sonoros em tempo real, apresentando uma ferramenta de criação musical que utilize dispositivos eletrônicos capazes de

capturar os movimentos corporais e transformá-los em instrumentos para criação musical.

1.3 Relevância do Tema

A criação musical muitas vezes é aplicada apenas quando o aprendiz já domina a linguagem musical. Muitos educadores trabalham com a idéia de que Educação Musical significa estudar um instrumento para se transformar em um músico especialista. A partir daí tem-se a idéia de que alguns alunos, sem um conhecimento prévio da linguagem musical, são incapazes de compor, resultando muitas vezes, no desinteresse pela música.

Contudo, o que se pretende é que a Educação Musical venha a fortalecer a auto-estima, o desenvolvimento do gosto e do senso musical. Desta forma, é que se consegue ingressar um indivíduo, não só na atividade musical e na forma de expressão, mas também na aprendizagem musical de aquisição de conhecimentos básicos. Em termos específicos é tornar um indivíduo sensível e receptivo ao fenômeno sonoro, promovendo nele, respostas de índole musical, despertando o gosto e o talento pela música.

Neste sentido, pretende-se criar um sistema que faça uso das novas tecnologias oferecidas por meios eletrônicos interativos, a fim de favorecer diferentes possibilidades criativas aos alunos e recursos pedagógicos aos professores.

1.4 Método

Inicialmente, fez-se um estudo dos sistemas existentes, respectivas vantagens, desvantagens e limitações. Em seguida, partiu-se para a concepção do que seria o sistema MusandScene.

Para isto, foi feito um levantamento bibliográfico do estado da arte sobre os temas envolvidos no projeto, como Educação Musical, descrevendo as principais características sonoras e musicais e as fontes sonoras relevantes para esta aplicação. Um estudo sobre dois pedagogos que contribuíram para as bases da Educação Musical moderna, Émile Jaques-Dalcroze e seu método *Eurhythmics* e

Keith Swanwick e sua Teoria Espiral de Desenvolvimento Musical. Também foi feita uma pesquisa sobre os sistemas de captura de movimento, enumerando suas principais vantagens e desvantagens, bem como suas principais aplicações.

Em seguida foi feita a modelagem do sistema utilizando a Linguagem de Anotação Extensível (UML ou *eXtensible Markup Language*) para a elaboração dos casos de uso, descrição dos cenários, diagramas de atividades e diagramas de classes do sistema.

Para testar a abordagem proposta, foi construído um protótipo do sistema capaz de associar movimentos do corpo a um ou mais efeitos sonoros do tipo intensidade, altura ou adição de um novo timbre em uma melodia pré-definida no sistema.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho apresenta a concepção do MusandScene, desde os estudos sobre o Estado da Arte e Tecnologias envolvidas passando pelos requisitos a serem satisfeitos pelo sistema gestual de criação musical, até os resultados da realização dos testes desenvolvidos.

A dissertação está estruturada da seguinte forma:

O Capítulo 2 apresenta os conceitos musicais, desde sua evolução e definição das propriedades do som e dos elementos musicais até a classificação das fontes sonoras que possam ser de valia no desenvolvimento de sistemas musicais interativos.

O Capítulo 3 apresenta dois importantes educadores e suas respectivas dinâmicas baseadas em música, são eles: Émile Jaques Dalcroze, com seu método *Eurythmics*, e Keith Swanwick, com sua Teoria Espiral de Desenvolvimento Musical.

O Capítulo 4 apresenta uma classificação dos sistemas de captura de movimentos, enumerando suas principais vantagens e desvantagens.

O Capítulo 5 aborda conceitos sobre tecnologia e música, relata a importância da interface homem-computador no contexto educativo-musical e também apre-

sentada uma revisão dos principais projetos relevantes para o presente trabalho.

O Capítulo 6 apresenta o sistema proposto, MusandScene, utilizando a UML como suporte de modelagem, ilustrando os casos de uso do sistema, a descrição dos cenários, os diagramas de atividades e os diagramas de classes.

O Capítulo 7 apresenta os principais aspectos envolvidos na implementação do sistema.

O Capítulo 8 apresenta os testes realizados e respectivas avaliações. Apresenta também sugestões de testes e avaliações futuras com especialistas na área.

O Capítulo 9 apresenta as principais conclusões e contribuições e aponta possíveis rumos e extensões do trabalho.

2 Conceitos Musicais

*“A música é um fenômeno
acústico para o prosaico;
um problema de melodia,
harmonia e ritmo para o teórico;
e o desdobrar das asas da alma,
o despertar e a realização de
todos os sonhos e anseios de
quem verdadeiramente a ama.”*

(K. Pahlen)

2.1 A Evolução Musical

Segundo historiadores, o fazer musical, de uma forma ou outra, sempre esteve presente nas sociedades, desde as mais primitivas às atuais. Provas arqueológicas sugerem que o homem primitivo usava ossos, tambores e flautas muito antes da Era Glacial, Russo (1990).

A evolução musical proporcionou ao homem, tornar-se capaz de produzir sons e de os imitar. Desta forma, o homem começa a desenvolver a comunicação verbal. A partir do momento em que o homem passa à associar sua voz ao som dos objetos, desenvolve uma outra forma de comunicação e expressão, ao qual viria se chamar de música após muitos anos. Entretanto a música passou por um longo processo de evolução, o qual está intimamente ligado à evolução do próprio homem. Nesta evolução, destaca-se as seguintes fases, Ellmerich (1977):

- imitação dos sons e sua produção através da voz e dos objetos;
- construção dos primeiros instrumentos musicais semelhantes aos que existem atualmente, como a harpa, a lira, a alaúde e o órgão;
- aparecimento da escrita musical ligada à música religiosa;

- desenvolvimento da música vocal e instrumental;
- criação de outras formas de arte, ligadas à música, como a ópera e o *ballet*;
- construção de peças musicais mais complexas utilizando-se um número maior de instrumentos musicais;
- aparecimento de diversos estilos musicais que vão desde a música clássica até a música tradicional.

A música é uma criação da inteligência humana, contendo dois fatores. O primeiro de ordem artística, pois a música é a arte na manifestação do belo por meio dos sons. O segundo é o científico, pois a produção e a combinação dos sons são regulados por leis físicas, Trein (1986).

Existem inúmeras definições de música, dentre elas cita-se: “*A música é a arte da combinação sonora de caráter abstrato e simbólico, onde os elementos que a compõe são mais ou menos exatos conforme o caso. Um dos mais claros e concretos é a altura dos sons. A intensidade sonora e a duração dos sons já são características menos precisas*”, Trein (1986).

2.2 A Natureza Física do Som

Para se estudar o fenômeno sonoro são necessários três elementos independentes: uma fonte sonora, um meio elástico que propaga um efeito e um aparelho receptor.

Um som é produzido quando se faz um objeto vibrar através de algum processo. Esta fonte sonora libera uma certa quantidade de energia para um meio elástico. Esta energia se propaga neste meio, atingindo um aparelho receptor que pode ser o ouvido humano, Vasconcelos (2002).

Para haver propagação do som, deve-se ter necessariamente um meio elástico. Dentre os inúmeros meios elásticos disponíveis, considera-se o ar como o elemento mais importante quanto aos estudos de sons musicais.

A energia liberada por uma fonte sonora se propaga, até o receptor, através das moléculas de ar que estão em sua vizinhança. Essas moléculas passam a transmitir energia a outras moléculas de sua vizinhança, através dos mesmos

movimentos. Esse processo se transmite no ar, com uma velocidade de aproximadamente 340 metros em cada segundo, Vasconcelos (2002).

Portanto, a maioria dos sons que chegam ao ouvido é transmitida pelo ar, agindo como meio de transmissão. Se a energia emitida pela fonte é grande, isto é, se o som é muito forte, tem-se uma sensação desagradável no ouvido, pois a quantidade de energia transmitida exerce sobre o tímpano uma pressão muito forte. Quanto maior a vibração da fonte, maior a energia sonora, Vasconcelos (2002).

2.3 Características do Som

Um som musical se caracteriza por quatro propriedades essenciais, que são: altura, intensidade timbre e duração. A altura permite classificar os sons em agudos e graves. De acordo com a intensidade sabe-se se um determinado som é forte ou fraco. Pelo timbre, estabelecem-se diferenças entre sons da mesma altura e com a mesma intensidade. Timbre, intensidade e altura podem ser explicados através das grandezas físicas que caracterizam as ondas sonoras.

2.3.1 Altura

A própria experiência diária revela a existência do som mais agudo ou mais grave. A voz humana é um exemplo disto. Na prática, escreve-se música para vozes ou instrumentos. Tanto em um caso, como no outro, há limites de extensão sonora. Há um limite inferior e outro superior. No caso, a parte inferior representa os sons mais agudos enquanto que a parte superior representa os sons mais graves. Para uma representação simbólica desta propriedade sonora, utiliza-se um conjunto de cinco linhas paralelas horizontais denominado pauta ou pentagrama, cuja técnica de leitura ocorre da esquerda para a direita e de cima para baixo, Trein (1986).

As notas fundamentais dó, ré, mi, fá, sol, lá e si podem ser reconhecidas na pauta, se nesta houver uma clave. Esta clave é um sinal colocado no início da pauta e que serve para determinar o nome da nota e sua altura na escala. Por exemplo, a clave de sol é escrita na segunda linha. Então, sempre quando no início da pauta estiver a clave de sol, a nota que vier escrita na segunda linha se

chamará sol. Para conhecer as outras notas, basta seguir a escala ascendente (sol, lá, si, dó, etc) ou descendente (sol, fá, mi, ré, etc). A Figura 2.1 mostra o exemplo de um pentagrama com a clave de sol e as notas fundamentais. Com este ponto definido as demais notas recebem seus nomes correspondentes. Quanto mais alta uma nota no pentagrama, mais grave soa, enquanto que mais baixa, mais aguda soa. O pentagrama pode conter espaços suplementares superiores e inferiores, Trein (1986).



Figura 2.1: Altura das notas musicais em uma clave de sol

Além da clave de sol, existem mais outras duas claves, são elas: claves de fá, escrita na terceira e quarta linhas e a clave de dó, escrita na primeira, segunda, terceira e quarta linhas, Trein (1986).

2.3.2 Intensidade

A intensidade é a energia transportada pela onda sonora que atravessa a unidade de área de uma superfície situada perpendicularmente à direcção de propagação, por unidade de tempo.

A intensidade de um som depende da amplitude da onda, mas é independente da frequência. Assim, podemos ter um som forte, muito intenso, de baixa frequência (grave) ou um som fraco, pouco intenso, de alta frequência (agudo). Depende da energia que é transmitida para a fonte sonora no momento de excitá-la, Vasconcelos (2002).

Para Trein (1986), a este aspecto da música, que estuda a variação da intensidade dos sons, ao longo do tempo, atribui-se o nome de dinâmica, *“portanto a dinâmica musical é uma dosagem conveniente de energia que se deve transferir às diversas fontes sonoras, para que se obtenha a intensidade sonora desejada na*

execução de uma peça musical”.

2.3.3 Timbre

O timbre distingue sons de mesma intensidade e de mesma altura, emitidos por instrumentos diferentes. A mesma altura, ou seja, a mesma nota musical soa diferente se tocado por instrumentos distintos. Para Trein (1986), *“sabe-se que uma nota dó tocada na mesma altura por um violino e por um piano soa com diferente colorido sonoro, pois possui um timbre diferente seja ele acústico ou eletrônico”*.

Para entender este fenômeno é necessário entender como ocorrem os sons harmônicos. Trein (1986) explica que *“a vibração de uma corda sob tensão faz com que existam outros sons além de um som apenas. Isto acontece porque a corda vibra como um todo, como se estivesse dividida ao meio, em três partes, quatro partes, cinco partes e assim por diante, onde estas partes representam ondas atuando simultaneamente sobre uma única corda em vibração”*. A Figura 2.2 mostra um exemplo de som com três harmônicos.

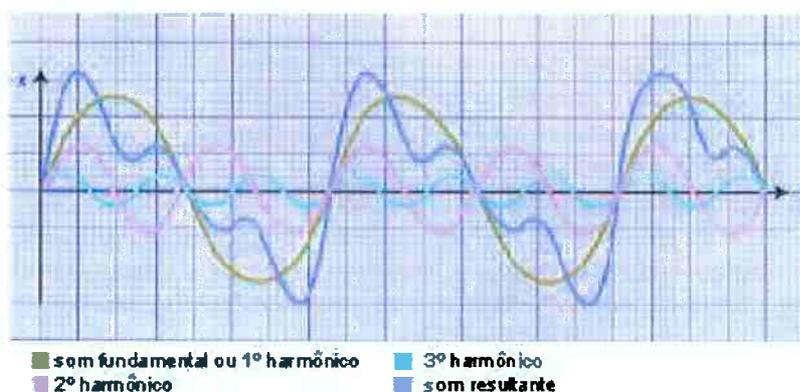


Figura 2.2: Som com três harmônicos, Figueiredo e Mota (2001)

Cada um destes sons parciais é chamado de harmônico. O harmônico de ordem um é o som fundamental, geralmente é o som de intensidade maior que os demais. Desta forma, uma nota musical, produzida por um instrumento, resulta da sobreposição de um som fundamental (o de menor frequência) com sons de frequências múltiplas do som fundamental. O timbre varia com o número, a frequência e a intensidade dos sons que se sobrepõem ao fundamental, Trein

(1986).

Segundo Trein (1986), a série harmônica pode seguir ainda mais para cima, porém vai perdendo forças aos poucos. Os números dos sons harmônicos indicam as relações de frequência, de maneira que o a nota dó número dois tem o dobro de vibrações que a nota dó número um, o número quatro o dobro do número dois e assim por diante. Se tocar outro som, existirá uma série harmônica idêntica, naturalmente em equivalência ao som em questão. Cada instrumento possui um timbre próprio e diferente dos outros, porque alguns sons parciais aparecem em um caso mais fortes e em outros menos ou podem ainda faltar.

A maneira como o som é produzido também tem influência sobre o timbre. A própria sonoridade de um instrumento pode variar em diversas regiões sonoras do mesmo, podendo assim, ser de boa sonoridade em regiões agudas e não tão boa em regiões intermediárias, Trein (1986).

2.3.4 Duração do Som e os Valores das Notas

A notação da altura do som é bastante exata, ou seja, quando se exige uma certa nota, não há dúvida sobre o que se pede. A intensidade já comporta pontos de vista subjetivos, hora mais intenso na sonoridade, hora mais fraco. Contudo, a música se desenvolve no tempo, fazendo com que as notas se movimentem, e em conseqüência, deve-se usar um elemento para medir o tempo em que elas são tocadas, Trein (1986).

As figuras musicais são valores que indicam a duração do som. Pode-se saber, através de uma figura musical, se um determinado som (nota) ou silêncio (pausa) tem uma duração longa ou curta. As figuras musicais também são conhecidas como figuras de valores. Cada figura positiva (de nota) tem uma figura negativa (de pausa) equivalente. O nome e o valor de cada nota é o mesmo da figura de pausa. A diferença entre elas é que, a figura de nota exige uma execução que emita som. Já a figura de pausa, exige um espaço de tempo em silêncio, conforme o valor de duração da figura musical, Trein (1986). A Figura 2.3 mostra as figuras musicais e suas respectivas pausas.

Nenhuma figura tem uma duração pré-determinada, o que existe é uma re-

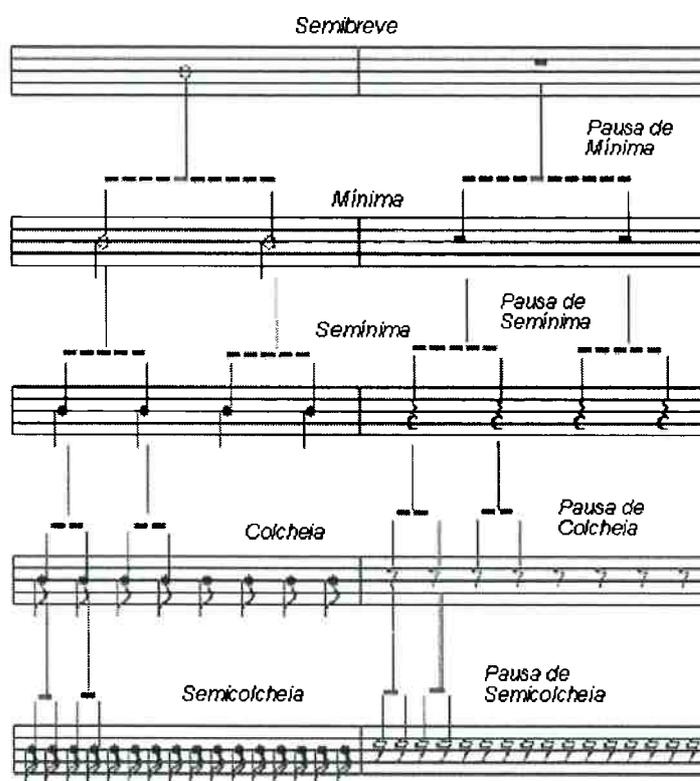


Figura 2.3: Figuras musicais e suas respectivas pausas

lação de metade e dobro entre uma figura musical e outra. Por exemplo, a semibreve é a figura de maior duração, ela equivale a duração de 2 (duas) mínimas. A mínima equivale a duração de 2 (duas) semínimas, a colcheia equivale a duração de 2 (duas) semínimas e a semicolcheia equivale a duração de 2 (duas) colcheias.

2.4 Elementos da Execução Musical

Os principais elementos da música são: melodia, harmonia e ritmo. Segundo Trein (1986):

- a melodia é a organização simples de uma série de sons musicais, é o elemento básico sobre o qual a música é composta.
- a harmonia é a combinação de sons apreciados simultaneamente e, em geral, conhecidos como acordes. Acorde é a junção de três ou mais notas, ou tons,

que soam ao mesmo tempo.

- o ritmo é tudo que diz respeito à duração do som.

As seções subsequentes trazem as relações entre os elementos musicais, apresentando os aspectos fundamentais que caracterizam as composições musicais.

2.4.1 A Forma Musical

Para Vasconcelos (2002), *“a palavra composição já se refere à união de elementos. Uma simples canção é uma organização de sons sucessivos denominada melodia. É uma linha e um desenvolvimento horizontal da música. A melodia não contém sons colocados arbitrariamente uns ao lado dos outros, mas sim, dispostos segundo uma ordem, cujas regras, são examinadas pelo menos em seus princípios”*.

Vasconcelos (2002) afirma que *“o fator importante em uma melodia é o ritmo, que pode determinar inclusive o seu caráter. O desenvolvimento de uma melodia implica já uma configuração formal, ou seja, são as pequenas partes que juntam os elementos de um todo”*.

Se a melodia não existe sozinha, mas possui um acompanhamento a ela subordinado ou outras melodias que a acompanham, entra-se em novos terrenos. A combinação de sons que soam de maneira simultânea nos leva à harmonia. Este é o aspecto vertical da música, Vasconcelos (2002).

A diferença entre melodia e harmonia é que, a melodia define o desenvolvimento horizontal de uma música, isto é, a sucessão de notas umas após as outras, enquanto que a harmonia define o desenvolvimento vertical, ou seja, as notas são tocadas simultaneamente, Vasconcelos (2002).

2.4.2 O Ritmo e a Expressão Musical

A expressão sonora é natural ao ser humano. Os surdo-mudos, por exemplo, não articulam corretamente as palavras, mas emitem sons e por meio deles se comunicam com o auxílio dos gestos. Portanto, pode-se dizer que o ritmo é o aspecto mais natural da música, que chega a partir das próprias pulsações do corpo humano, Brito (2003).

A necessidade de comunicação atribui ao homem capacidades para criar e decifrar novos códigos sonoros universais ou comunitários. Deste modo, o desenvolvimento e aperfeiçoamento do ritmo são muito importantes, pois o homem depende desta capacidade para viver de acordo com cada atividade, como por exemplo, vida diária, vida profissional, vida desportiva e lazer, Brito (2003).

O ritmo tem como função o favorecimento da facilidade da aprendizagem motora, proporcionando também, aspectos como estimulação da atividade do executante, qualidade nos movimentos, permite a vivência total dos movimentos, colabora na dosagem do movimento e seus diferentes níveis de forma, incentiva a economia do trabalho (físico e mental) retardando a fadiga e aumentando o resultado, permite domínio sobre o movimento a ser executado ou em execução, produz prazer ao indivíduo, reforça a memória, facilita a liberdade do movimento, sua expressão, autenticidade e naturalidade, fator de disciplina, hábitos e atitudes, aperfeiçoa a coordenação e apóia a determinação da beleza, Brito (2003).

2.4.3 O Andamento

Quando se ouve um grupo de músicos atuando em conjunto, como no caso de uma orquestra, pode impressionar o fato de que todos tocam ao mesmo tempo sem que um se adiante e outro se atrase. Tocam no tempo justo, ou seja, no andamento justo. O único ponto em que todos precisam estar de acordo, para tocar ao mesmo tempo, é contarem juntos. Entre as funções de um líder de um grupo musical está a de indicar o andamento para a música, ou seja, a rapidez dos tempos, da unidade que se conta, Trein (1986).

Para Trein (1986), *“o andamento é uma questão de compreensão do significado musical, independente de gestos e opiniões pessoais. O andamento está condicionado, entre outros fatores, inclusive à circulação sanguínea. Assim, tem dia em que as pessoas são mais rápidas e outras em que seus reflexos e movimentos são mais lentos. Até pode ocorrer que em um mesmo dia, no decorrer das horas, a sensação motora possa sofrer alterações”*.

Algumas obras, como danças, têm não só o ritmo, como também o andamento característico e dispensam indicações. Durante uma composição pode haver modificações no andamento. Não se refere somente a alterações abruptas,

que só necessitam de uma indicação nova e correspondente ao andamento e ao caráter da nova parte, pois há composição de várias partes: sem que termine toda a composição, a introdução lenta segue uma parte mais rápida, por exemplo, sem que termine a primeira, Trein (1986).

Segundo Trein (1986), J. N. Menzel criou um instrumento para marcar os tempos sem dar chances à modificações involuntárias para os músicos. Trata-se do metrônomo, um aparelho com mecanismos de relógio com uma escala e um pêndulo, que passou a ser usado a partir de 1816. Existem novos desenvolvimentos eletrônicos, mas que não mudam o objetivo que é o de marcar um determinado número de batidas por minuto.

2.4.4 Produção Musical

Para Brito (2003), “*fazer música é o contato entre a realização acústica de um enunciado musical e seu receptor, seja este alguém que cante, componha, dance ou simplesmente ouça*”.

A produção musical ocorre por meio de dois eixos, a criação e a reprodução, que garantem três possibilidades de ação: a interpretação, a improvisação e a composição. A seguir cada uma delas será apresentada, Brito (2003):

- **Interpretação:** É a atividade ligada a imitação e reprodução de uma obra. Mas, interpretar significa ir além da imitação por meio da ação expressiva do intérprete.
- **Improvisação:** Trata-se de criar instantaneamente, orientando-se por alguns critérios. Se para falar de improviso é preciso ter em mente o assunto, o domínio de um vocabulário, ainda que pequeno, assim como algum conhecimento de gramática, algo semelhante ocorre com a música. As idéias musicais vão e vem, transformando-se, recriando-se podendo ser trabalhadas e amadurecidas.
- **Composição:** É a criação musical caracterizada por sua condição de permanência, seja pelo registro na memória, seja pela gravação por meios mecânicos (fita cassete e cd), seja ainda, pela notação, isto é, pela escrita musical.

Interpretar é recriar, recompor, favorecendo o desenvolvimento da criatividade. Espera-se que o intérprete dê um cunho pessoal à peça interpretada de modo que possa estar livre para compor, arranjar e improvisar, Goulart (2003).

Para Goulart (2003), *“a Educação Musical tem sido vista como sinônimo de teoria musical. O domínio da leitura e da escrita musical são pontos importantes para se explorar o universo da música. Porém, é uma pequena parte, que não pode ser confundida com o próprio universo da música. Fazer música é bem mais complexo e gratificante que ser capaz de ler uma partitura, ou de definir conceitos ligados à musicologia. Fazer música é criar com prazer estético. Todas as pessoas são potencialmente capazes de compreender e fazer música, cabe ao educador facilitar o acesso ao mundo sonoro. Contudo, muitas pessoas não sabem que possuem potencialidades para a criação musical. Muitos são bons intérpretes, possuem um vasto repertório, porém não se julgam capazes de inventar música por achar misterioso escolher uma nota musical que combine com uma seqüência harmônica, ou mesmo pelo receio de errar. Contudo, na improvisação, a única consequência do erro é poder tentar novamente”*.

Existe uma clara associação entre a capacidade de improvisação e o enriquecimento da experiência musical. Isto inclui o desenvolvimento da apreciação musical, fazendo com que o ouvinte seja mais exigente e apurado. Isto favorece o fortalecimento da capacidade de interpretar as músicas de seu repertório de uma forma mais intensa, pessoal e verdadeira, já que passa a compreender a música também do ponto de vista do compositor, Goulart (2003).

2.5 Fontes Sonoras

Uma fonte sonora é todo e qualquer dispositivo capaz de produzir ondas sonoras num meio material elástico. Com o avanço da eletrônica em todas as modalidades do conhecimento humano, os instrumentos acabaram se subdividindo em duas categorias: os acústicos e os eletrônicos. De acordo com Menuhim e Davis (1990) os instrumentos acústicos se dividem em:

- Cordas vibrantes: violão, violino, viola, violoncelo, etc.
- Tubos sonoros: órgão, flauta, clarineta, oboé, etc.

- Membranas e placas vibrantes: tambor, címbalos, etc.
- Hastes vibrantes: diapásão, triângulo, etc.

Existem diversas fontes sonoras utilizadas nos diversos instrumentos musicais. Para este projeto será dada ênfase às novas fontes sonoras, aquelas que usam circuitos eletrônicos, cujos componentes são calculados de modo tal a oscilarem com a frequência (altura) desejada. Correntemente, faz-se uso dos computadores como instrumento musical, Oliveira (2004).

2.5.1 Instrumentos Eletrônicos

Os instrumentos eletrônicos produzem sons por meio dos sintetizadores. Para Oliveira (2004), *“o sintetizador é um aparelho capaz de criar uma infinidade de timbres sonoros. Quando o instrumentista aperta uma das teclas do sintetizador, este acaba produzindo eletronicamente a frequência correspondente, junto com um grande número de harmônicos. Em seguida, estes harmônicos são amplificados e ajustados a fim de dar uma maior ou menor intensidade nesta frequência específica. A somatória de todas as frequências de saída denomina-se som sintetizado”*.

Oliveira (2004) afirma que *“o músico faz ajustes nas intensidades das frequências envolvidas, a fim de conseguir um timbre que o satisfaça. Porém, antes de 1985, não era possível conseguir sons contendo timbres naturais, como o violino ou o trompete, devido ao fato destes instrumentos produzirem um número muito grande de harmônicos em seus sons”*.

Com a invenção do amostrador (*sampler*), criou-se o caminho inverso, ou seja, este dispositivo era capaz de captar os sons produzidos por algum instrumento musical e armazená-los em sua memória. Com os conseqüentes avanços no campo da eletrônica, já se produzem cd's totalmente compostos por sons sintetizados, imitando guitarra, flauta, baixo e diversos outros instrumentos, Oliveira (2004).

Acompanhando os avanços dos instrumentos eletrônicos, surgiu uma linguagem e um padrão de transmissão de dados digital especialmente destinada à música, denominada MIDI (Interface Digital para Instrumentos Musicais, ou em inglês *Musical Instrument Digital Interface*), que interliga um instrumento musical a um sintetizador por meio de um cabo conector. Deste modo, caso se registre

no amostrador *sampler* do sintetizador o som de uma tuba, pode-se conectar outro instrumento musical, por exemplo um banjo com interface MIDI, e ao tocá-lo, tem-se o timbre musical da tuba, Oliveira (2004).

A função precípua de um sintetizador é criar sons complexos, pois é capaz de gerar e fazer mistura (*mixing*) de várias formas de ondas elétricas. De acordo com Vasconcelos (2002), “o funcionamento de um sintetizador está baseado no princípio de superposição de ondas. Pode-se somar os efeitos de duas ou mais ondas para obter sua resultante. Na realidade um sintetizador pode ser pensado como um certo tipo de computador analógico”.

Assim, pode-se programar um sintetizador, para que ele produza o som de um instrumento qualquer, ou o som resultante. A modificação de onda sonora, em qualquer estágio, fica à critério do programador, visando o efeito por ele desejado.

2.6 Conclusões

Este Capítulo apresentou alguns conceitos musicais relevantes para a concepção de um sistema interativo de aprendizagem musical. Foram descritas as definições, as características sonoras e os elementos que compõem a música. Uma breve descrição dos modos de produção musical: interpretação, a improvisação e a composição, também foi apresentada. Por fim, apresentou-se algumas fontes sonoras com ênfase às que fazem uso dos computadores como instrumento musical, ou seja, os instrumentos eletrônicos.

3 Correntes da Educação e suas Dinâmicas Baseadas em Música

*“As palavras podem mentir,
os homens fingir,
somente a música é incapaz
de nos enganar.”*

(Confúcio)

3.1 Introdução

Este Capítulo apresenta dois importantes pedagogos que através de práticas pedagógicas contribuíram para as bases da educação musical moderna. O primeiro educador é Émile Jaques Dalcroze e seu método *Eurhythmics* que adota o princípio de que a música e o movimento estão relacionados, ou seja, o movimento da música e do corpo é inseparável. Outro educador relevante é Keith Swanwick e sua Teoria Espiral de Desenvolvimento Musical relatando que o conhecimento se dá por etapas sucessivas e é construído pelo próprio indivíduo.

3.2 Émile Jaques-Dalcroze

Jaques-Dalcroze (1865-1950) foi um importante pedagogo, desenvolveu o sistema que ficou conhecido como Dalcroze *Eurhythmics*, de treinamento musical, que tinha por objetivo criar, através do ritmo, uma corrente de comunicação rápida, regular e constante entre o cérebro e o corpo, transformando o sentido rítmico numa experiência corporal física, Findlay (1999).

O método *Eurhythmics* é um sistema de Educação Musical que utiliza movi-

mentos rítmicos do corpo. De acordo com Findlay (1999), *Eurhythmics* significa “*bom ritmo*”, ou seja, “*eu*” significa bom e “*rhythm*” significa fluxo ou movimento. O método *Eurhythmics* de Jaques-Dalcroze estuda os elementos da música através do movimento, partindo de três pressupostos básicos:

- os elementos da música podem ser vivenciados através do movimento.
- o som musical começa com um movimento, portanto, o corpo que faz os sons é o primeiro instrumento musical a ser treinado.
- há um gesto para cada som, e um som para cada gesto (cada um dos elementos musicais podem ser estudados através do movimento).

O método consiste ainda em três elementos principais: ritmos, improvisação e solfejo. De acordo com Findlay (1999):

- **Ritmo:** desenvolve uma compreensão de elementos musicais tais como: o pulso, tempo, ritmo, duração e estrutura através do movimento. Explora todos os aspectos de relacionamento entre a música e o movimento, assim como aquele entre a criatividade e a técnica.
- **Improvisação:** desenvolve o domínio do assunto de uma variedade de estilos musicais e da habilidade de improvisar no movimento, usando a voz, a percussão e os outros instrumentos.
- **Solfejo:** é arte de cantar os sons em forma de notas musicais, dentro de sua afinação, ou seja, sua altura.

Os objetivos do método desenvolvido por Jaques-Dalcroze são, Findlay (1999):

- educação das capacidades perceptivas e expressivas do ser humano;
- harmonização do indivíduo consigo mesmo e com seus impulsos naturais;
- possibilitar a criação de uma consciência rítmica;
- intensificar a audição e harmonização interiores;

- desenvolver o perfeito equilíbrio entre os centros nervosos e dinamismo corporal;
- o aumento da concentração;
- a prontidão para executar ordens que venham da mente;
- a reação imediata ante um estímulo;
- a dissociação, coordenação e retenção de movimentos;
- o auto conhecimento e domínio das resistências e possibilidades corporais;
- a quantidade de passos na relação espaço x tempo.

Em Mello, Pinto e Duarte (2001), para a elaboração do método, são utilizados alguns exercícios, sendo eles exercícios preliminares e posteriores. A seguir cada um deles é apresentado.

Exercícios preliminares:

- andar com música, procurando reproduzir as frases musicais, seus acentos, seus diminuendos e crescendos, suas variações de dinâmica;
- em um segundo momento, após vivenciar os elementos musicais, o aluno passa a utilizar o espaço, gestos improvisados ou convencionais;
- a prática de marcar o compasso com as mãos, enquanto os pés executam outros movimentos, desenvolvendo a coordenação rítmico-motora;
- a aprendizagem do canto ou o uso da voz como fator de desenvolvimento da atividade respiratória e muscular.

Exercícios posteriores:

- práticas de exercícios que desenvolvam a flexibilidade, a plasticidade, a energia, a leveza, corrigindo possíveis anomalias respiratórias, musculares ou posturais inadequadas;
- exercícios em grupo que possibilitem a capacidade da expressão criadora;

- domínio temporal e espacial do movimento, execução de exercícios no espaço;
- domínio rítmico-musical por meio de práticas que levam ao conhecimento, ainda, o desempenho dos movimentos.

Jaques-Dalcroze desenvolveu este método, adotando o princípio de que a música e o movimento estão relacionados, ou seja, o movimento da música e do corpo é inseparável.

De acordo com Pitts (2003), *Eurhythmics* não é uma espécie de dança. Na verdade, os movimentos usados através do método *Eurhythmics* são improvisados pelo próprio aluno, e não propostos pelo professor. *Eurhythmics* é um meio para se atingir a plena musicalidade. O professor que usa a metodologia de Dalcroze costuma pedir aos alunos que mostrem o que estão ouvindo, ao invés de dizer o que estão ouvindo.

Jaques-Dalcroze afirmava que todo elemento musical poderia ser realizado corporalmente e adotava a seguinte relação entre os gestos e elementos musicais, Findlay (1999):

- altura: posição e direção dos gestos no espaço;
- intensidade: dinâmica muscular;
- timbre: diversidade de formas corporais;
- melodia: sucessão contínua de movimentos isolados;
- acorde: gesto em grupo;
- construção da forma: distribuição dos movimentos no tempo e no espaço.

Para Caldwell (2003), o método *Eurhythmics* considera que a consciência do ritmo é resultado da experiência física e vem do aperfeiçoamento dos movimentos corporais no tempo e no espaço, onde todo músculo pode contribuir para avivar, clarificar, moldar e aperfeiçoar esta consciência, reforçando, junto ao sentimento, que nasce da sensação muscular, as imagens presentes na mente.

Jaques-Dalcroze redimensionou a educação musical de sua época concebendo-a como um treinamento que reintegra corpo e mente, pensamento e comportamento, pensamento e sentimento, consciente e subconsciente, gosto e entendimento.

3.3 A Teoria Espiral de Desenvolvimento Musical segundo Swanwick

Keith Swanwick é um educador musical que se debruçou sobre o tema “desenvolvimento musical do ser-humano”, buscando solucionar questões curriculares nos cursos oficiais de música na Inglaterra. Segundo Leme (2000), *“seu trabalho não é pioneiro, porém vem acrescentar às teorias de desenvolvimento, idéias originais elaboradas a partir de constatações fundamentadas em sua prática docente e em sua pesquisa de campo.”* Para Swanwick (1994), toda sua Teoria Espiral, está baseada nas idéias de Piaget, ou seja, de que o conhecimento se dá por etapas sucessivas e é construído pelo próprio indivíduo.

Tendo como premissa a convicção de que o aprendizado musical, assim como qualquer outro ramo do conhecimento, deve obedecer a etapas sucessivas, consoantes com o nível de amadurecimento psicológico do indivíduo, Swanwick fez um mapeamento do progresso desse conhecimento, estudando um grupo de estudantes na faixa entre os 3 e os 14 anos. Durante quatro anos, Swanwick fez gravações de composições feitas por eles, em um total de 745 composições num universo de 48 estudantes. No decorrer deste estudo, Swanwick observou que o professor deve buscar desenvolver a criatividade e a improvisação, utilizando para isso todo e qualquer material sonoro disponível, Leme (2000).

A partir de seu estudo, Swanwick elaborou sua Teoria Espiral de Desenvolvimento Musical. Para representá-la, elaborou um gráfico em forma de espiral. Através dele, Swanwick mostrou os níveis de desenvolvimento, relacionados com a idade das crianças compositoras estudadas. O primeiro desses territórios, o material, ele dividiu em dois níveis: o sensorial e o manipulativo e diz respeito às crianças de 0 a 4 anos. O segundo desses territórios é o da expressão, que compreende crianças na faixa dos 5 aos 9 anos. O terceiro, o da forma, ele dividiu em:

especulativo e idiomático, e diz respeito às crianças de 10 a 15 anos. O quarto e último desses territórios, o do valor, ele dividiu em: simbólico e sistemático, e diz respeito às crianças de 15 anos ou mais, Leme (2000).

Segundo Swanwick, os professores devem ajudar os alunos a construir seu próprio conhecimento, em três habilidades práticas, consideradas complementares e interdependentes: Execução, Composição e Apreciação. Este é o que ele chamou de Modelo TECLA. Dessa forma, para uma boa Educação Musical o professor deve, no entender de Swanwick, estar atento para não priorizar e nem desprezar qualquer dos elementos apresentados a seguir, resumidos na sigla TECLA, Swanwick (1994):

T - Técnica: manipulação do instrumento, notação simbólica, audição;

E - Execução: tocar, cantar;

C - Composição: criação e improvisação;

L - Literatura: história da música;

A - Apreciação: reconhecimento de estilos, forma, tonalidade, graus.

Leme (2000) afirma que *“apesar de trabalhar em uma linha conhecida como oficinas de música, que prioriza a livre experimentação de materiais sonoros, Swanwick compreende a importância do universo sociocultural e afetivo do educando, deixando claro que a criança deve ser estimulada com músicas que estejam no seu dia-a-dia e dentro dos padrões musicais de sua cultura. Isso não significa dizer que não se deve ampliar esse repertório, mostrando outros universos sonoros.”*

3.4 Conclusões

Este Capítulo apresentou dois importantes educadores que, através de práticas pedagógicas inovadoras, contribuíram para as bases da Educação Musical moderna. O primeiro, Émile Jaques-Dalcroze e seu método *Eurhythmics* que utiliza movimentos rítmicos do corpo. O segundo, Keith Swanwick e sua Teoria Espiral de Desenvolvimento Musical, onde o aluno deve construir seu próprio conhecimento através três habilidades práticas: Execução, Composição e Apreciação.

4 Captura de Movimentos

*Se o som está vinculado
ao movimento do corpo,
então a música se faz
a medida que se dança;
seria impossível dançar
fora do ritmo da música*

4.1 Introdução

Sistemas de captura de movimento (*Motion Capture*) baseiam-se em processos, onde dispositivos externos são utilizados para capturar dados de movimentos de objetos reais. Estes dados são transmitidos ao computador, onde um *software* de simulação indica, em tempo real, os movimentos capturados, por exemplo, através de um ator virtual, Kalawsky (1993).

O processo de captura consiste em vestir um ator com uma roupa especial, onde são posicionados refletores (sistemas óticos), transmissores (sistemas magnéticos), potenciômetros (sistemas mecânicos) ou emissores e receptores (sistemas acústicos). Estes marcadores são posicionados nas principais articulações do ator representando as localizações no corpo que fornecem uma precisão razoável para a representação de um movimento de um objeto real, Silva (1998). Em geral, os sistemas de captura de movimento seguem as etapas da Figura 4.1.

4.2 Classificação

Pode-se dividir os sistemas de captura de movimento em quatro categorias: mecânicos, acústicos, óticos e magnéticos. A seguir cada uma delas é apresentada.

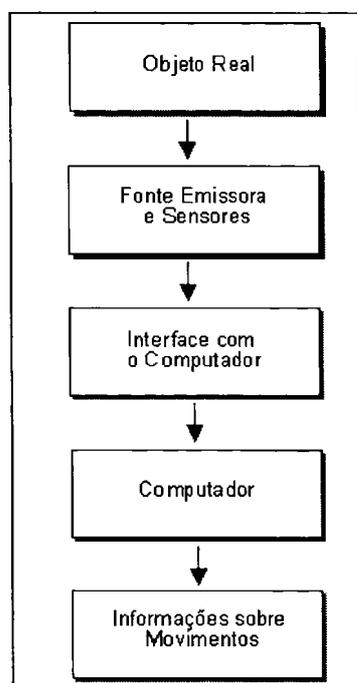


Figura 4.1: Etapas de um sistema de captura de movimento

4.2.1 Sistemas Mecânicos

Sistemas mecânicos são compostos de potenciômetros que, posicionados nas articulações desejadas, fornecem suas posições e orientações em altas taxas de amostragem em tempo real, Silva (1998). A Figura 4.2 mostra um exemplo de sistema mecânico.

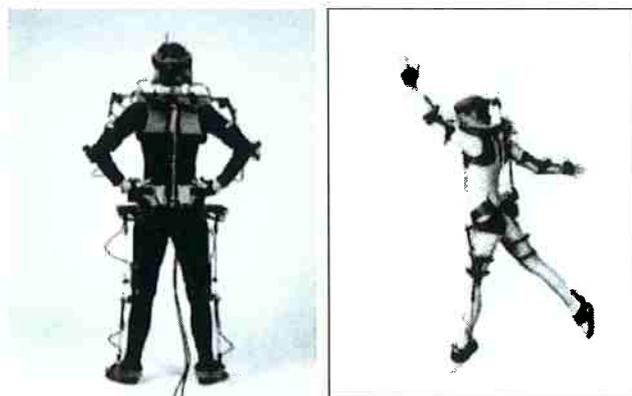


Figura 4.2: Sistema de captura de movimento mecânico, Silva (1998)

Uma das vantagens desse tipo de sistema é que possuem uma interface pare-

cida com as utilizadas em sistemas de *stop-motion*, muito utilizados na produção de filmes.

Os sistemas de captura de movimento mecânicos são equipamentos de medida absoluta, não sendo afetados por campos magnéticos ou reflexões indesejadas, problemas típicos de sistemas magnéticos e óticos. Por isso, não necessitam de um processo longo de calibragem, o que torna a sua utilização mais fácil e produtiva, Silva (1998).

Um desvantagem deste sistema, além de ser obtrusivo, é o realismo, que depende da habilidade do animador em posicionar cada articulação do modelo corretamente, num processo que requer, além de técnica, um pouco de arte. Geralmente esse tipo de sistema é utilizado em conjunto com técnicas de *keyframing* e cinemática.

4.2.2 Sistemas Acústicos

Neste tipo de sistema, um conjunto de emissores sonoros é colocado nas principais articulações do ator, enquanto que três receptores sensíveis são posicionados no local de captura. Os transmissores são então seqüencialmente acionados para produzir um ruído característico, que será captado pelos receptores que farão os cálculos das posições no espaço, Silva (1998).

O cálculo da posição de cada transmissor é feita da seguinte forma: utilizando como dados o tempo decorrido entre a emissão do ruído pelo transmissor e o seu recebimento pelo receptor, e a velocidade do som no ambiente, consegue-se calcular a distância percorrida pelo som, do transmissor até cada um dos receptores. Para calcular a posição 3D de cada transmissor, é feita uma triangulação das distâncias deles em relação aos três receptores, Silva (1998).

Um dos problemas deste método é a dificuldade de obter uma descrição correta dos dados em um instante desejado, devido ao caráter seqüencial do disparo dos transmissores no corpo do ator. Além disso, os sistemas acústicos possuem o mesmo tipo de problema dos sistemas magnéticos, possuem cabos que prejudicam a movimentação do ator, reduzindo assim o escopo de movimentos que podem ser executados. O número de transmissores que podem ser utilizados simultanea-

mente também é limitado, o que pode não fornecer uma descrição suficientemente correta do movimento capturado, Silva (1998).

Segundo Silva (1998), “*sistemas acústicos estão sujeitos a problemas causados pela própria tecnologia, onde reflexões do som emitido pelos transmissores ou ruídos externos podem afetar o processo de captura e destruir os dados obtidos. Em compensação, este tipo de sistema não possui problemas de oclusão, típico de sistemas óticos, e interferência por objetos metálicos, percebido em sistemas magnéticos*”.

4.2.3 Sistemas Óticos

Neste tipo de sistema, o ator veste uma roupa especial coberta com refletores, em geral emissores LED, posicionados nas suas principais articulações. A Figura 4.3 ilustra um exemplo de sistema ótico.



Figura 4.3: Sistema de captura de movimento ótico, Troje (2003)

Câmeras especiais são posicionadas estrategicamente para fazer o rastreamento (*tracking*) desses refletores durante o movimento do ator. Cada câmera gera as coordenadas 2D para cada refletor, obtidas via processo de segmentação. O conjunto dos dados 2D capturados pelas câmeras independentes é então analisado por um *software*, que fornecerá as coordenadas 3D dos refletores.

Uma das vantagens da utilização de sistemas óticos é a alta taxa de amostragem, que permite a captura de movimentos rápidos como os utilizados em artes marciais e esportes olímpicos. A taxa de amostragem depende basicamente da

capacidade de definição das câmeras utilizadas no processo. Taxas de amostragem de até 200 quadros a cada segundo são conseguidas neste processo quando se utilizam câmeras especiais de alta resolução e velocidade, Silva (1998).

Outra vantagem dos sistemas óticos é a liberdade que oferecem ao ator durante a execução do movimento. Ao contrário dos sistemas magnéticos, onde o ator é coberto de transmissores e fios, os refletores não oferecem resistência aos movimentos do ator. Além disso, não existe limite para o número de refletores posicionados no ator, o que permite alcançar um maior nível de detalhe na representação dos movimentos.

O espaço do trabalho (*workspace*) do processo de captura para sistemas óticos é muito superior ao dos sistemas magnéticos e depende basicamente do campo de visão, FOV (do inglês, *Field Of Vision*) das câmeras utilizadas no processo. Um cuidado, porém, deve ser tomado: a iluminação global do ambiente deve ser calibrada de modo a não causar interferências no processo de rastreamento dos refletores, Silva (1998).

A grande desvantagem dos sistemas óticos é a oclusão de um ou mais refletores durante o processo de captura. Este tipo de problema é mais freqüente durante a captura de movimentos de objetos pequenos como por exemplo, os dedos das mãos, ou de vários atores interagindo muito próximos uns dos outros. Neste caso, a recuperação da posição 3D do refletor pode ser impossível, o que compromete todo o processo, Silva (1998).

O problema de oclusão pode ser minimizado com a utilização de um número maior de câmeras e refletores. Porém, existe um compromisso desses fatores: um maior número de câmeras acarreta um maior tempo de processamento, durante o rastreamento dos refletores. Ao se aumentar o número de refletores, surge o problema de confusão de rastreamento, ou seja, a dificuldade de identificar os refletores que estão muito próximos. Este problema é diretamente influenciado pela resolução das câmeras, onde câmeras de maior resolução conseguem identificar melhor refletores próximos Silva (1998).

Existe ainda, a necessidade de um processamento via *software* dos dados obtidos pelas câmeras para a obtenção das informações 3D, o que pode não permitir a interatividade, que é muito importante para a velocidade de produção e redução

de custos operacionais. A utilização de *softwares* para o processamento dos dados obtidos pelas câmeras introduz erros de precisão no processo de obtenção dos dados 3D. Em alguns casos, é necessário um processo de filtragem dos dados finais para a eliminação dos erros de precisão e dos ruídos introduzidos pelo rastreamento das câmeras, Silva (1998).

4.2.4 Sistemas Magnéticos

Os sistemas magnéticos de captura se caracterizam pela velocidade de processamento dos dados capturados em tempo real. Neste tipo de sistema, emprega-se um conjunto de receptores que são posicionados nas articulações do ator. Tais receptores medem a posição 3D e orientação das articulações em relação a uma antena transmissora, que emite um sinal de pulso. Cada receptor necessita de um cabo para se conectar à antena Silva (1998). A Figura 4.4 ilustra exemplos de aplicações voltadas à Realidade Virtual e à Biomecânica do sistema *Fastrack*.



Figura 4.4: Sistema magnético de rastreamento, Fastrack (2005)

Algumas vantagens dos sistemas magnéticos são o baixo custo computacional para o processamento dos dados, maior precisão dos dados (não existem problemas de oclusão) e o baixo custo do equipamento. Com uma taxa de amostragem que gira em torno de 100 quadros por segundo (FPS ou *Frames Per Second*), os sistemas magnéticos são ideais para a captura de movimentos mais simples, Silva (1998).

A maior desvantagem deste tipo de sistema é a presença dos diversos cabos que conectam os receptores à antena. Tais cabos restringem o movimento do ator, não permitindo deste modo que movimentos complexos e rápidos possam ser representados com naturalidade, Silva (1998).

Uma outra desvantagem do processo magnético é a interferência causada por

objetos de metal próximos ao local de captura. Campos magnéticos são extremamente sensíveis a objetos metálicos. Até mesmo a estrutura do prédio pode causar alguma interferência, Silva (1998).

4.3 Aplicações

O uso de captura de movimento facilita o trabalho de animadores, que estão gradualmente migrando do tradicional *keyframing* para esta nova tecnologia. A rapidez de produção e o realismo da animação gerada, tornam este tipo de processo extremamente interessante para as produtoras de efeitos especiais e de televisão.

A captura de movimento provocou uma revolução na indústria dos jogos de computador. Movimentos que antes eram complicados de serem reproduzidos agora são fáceis de serem aplicados aos personagens dos jogos, criando uma nova dimensão de realismo. Em jogos de luta, a qualidade dos movimentos é visivelmente melhor naqueles que utilizam a técnica de captura de movimento.

A captura de movimento ainda possui muitas limitações e abre espaço para diversas frentes de pesquisa. Segundo Silva (1998), os principais caminhos de pesquisa na área refere-se a:

Melhoramento de Técnicas de Rastreamento: como já foi apresentado, o problema de oclusão dos marcadores nos sistemas óticos é crítico. Técnicas de rastreamento mais sofisticadas e apropriadas para captura de movimento podem ser desenvolvidas.

Combinação de captura de movimento com outras Técnicas de Animação: sistemas de animação podem combinar as vantagens de captura de movimento com técnicas como *keyframing*, animação procedural e simulação numérica, proporcionando assim um maior poder de criação de animações realistas.

Técnicas de Mapeamento de Dados Capturados: nem sempre se deseja animar seres humanos. No filme *Jurassic Park*, por exemplo, o movimento de um elefante foi capturado para dar vida aos dinossauros virtuais no computador.

Técnicas para mapear movimentos de seres reais em objetos ou seres que não existem são um interessante campo de pesquisa.

Análise e Modificação de Movimentos Capturados: cada arquivo de dados capturados define um conjunto limitado e específico de ações. Além disso, as informações que estão no arquivo definem um roteiro de movimento do personagem na cena, inviabilizando portanto um controle interno destes dados. Uma linha de pesquisa interessante seria analisar certos tipos de movimentos capturados para então criar novos tipos de movimentos, a partir deles.

4.4 Conclusões

Este Capítulo apresentou a classificação dos sistemas de captura de movimentos: mecânicos, óticos, magnéticos e acústicos, enumerando suas principais vantagens e desvantagens, bem como suas principais aplicações.

5 Tecnologia e Música

*“A música é a manifestação
mais convincente do que
toda sabedoria e filosofia.”*

(L. V. Beethoven)

5.1 O Computador como Ferramenta de Criação Musical

O presente trabalho mostra o computador como ferramenta em ambientes de aprendizagem aliando a linguagem musical aos meios eletrônicos interativos. Estas novas ferramentas não são substitutas e sim auxiliares dos educadores e são desenvolvidas a partir das experiências pedagógicas acumuladas por estes profissionais.

Com o aparecimento dos sintetizadores e dos computadores, toda uma nova extensão sonora passa a ser explorada pela criação musical possibilitando experimentos com timbres, andamento, audição imediata de criações. Esses recursos já eram ansiados por muitos compositores que não encontravam mais nos recursos oferecidos pela tecnologia de seu tempo as ferramentas necessárias para sua expressão, Cunha e Martins (1998).

Esta criação musical, aliada à tecnologia, propicia a utilização de novos instrumentos e novas formas de geração e produção de sons. Na atividade composicional, o computador se apresenta como uma ferramenta que apóia o compositor na viabilização e explicitação de suas idéias. Através dos aplicativos computacionais o compositor tem acesso a sistemas de representação diversificados, que podem fornecer realimentações sonoras e gráficas, como partituras, desenhos e diagramas. O uso do computador na atividade musical apresenta possibilidades de

criações, capturas e transformações de eventos sonoros, Cunha e Martins (1998).

5.2 Sistemas Musicais Interativos

A idéia de interação musical ganha corpo na medida em que sistemas capazes de controlar e gerar informações musicais, em tempo real, vão se tornando mais acessíveis, em termos de custo e flexibilidade de uso. Dois eventos foram decisivos nesse processo: o estabelecimento do protocolo MIDI e a difusão dos computadores pessoais.

O rápido crescimento na capacidade de processamento de máquinas digitais tornou possível não apenas o processamento de símbolos musicais (como por exemplo, notas, acordes, esquemas rítmicos), mas também a geração, controle e processamento de sinais de áudio em tempo real.

Além das abstrações previstas pelo protocolo MIDI, tornou-se possível trabalhar sons de maneira concreta durante a apresentação. Além disso, MIDI e outros protocolos de transmissão de dados permitiram a integração e controle de diversos tipos de equipamentos, como consoles de luz, projetores de vídeo e etc, a partir de um mesmo ambiente computacional, Rowe (1993).

Isto alimentou a possibilidade de desenvolvimento de um grande número de projetos de apresentação multimídia em que elementos como música, luz e imagem ocorrem de modo integrado por meio da correlação da informação de mídias variadas. Assim, tornou-se possível utilizar informação sonora para controlar a projeção de seqüências pré-gravadas de imagens, bem como a utilização de sinais captados por sensores diversos pôde ser usada para o controle de dispositivos de produção sonora (módulos sintetizadores, amostradores, etc) ou de iluminação cenotécnica.

Sistemas musicais interativos são aqueles cujo comportamento muda em resposta ao recebimento de informações musicais. Uma definição tão abrangente permite considerar muitos sistemas musicais como interativos, devido ao nível de interação proporcionado por cada sistema, Rowe (1993).

Em relação ao modo de funcionamento, Rowe (1993) definiu três dimensões

para classificar os diversos sistemas interativos existentes, sendo eles: recepção da informação musical, reação à entrada e funcionalidade. O objetivo era permitir o estudo e a discussão desses sistemas. Em relação à recepção da informação musical, um sistema pode:

- usar partituras armazenadas em memória e compará-las com a entrada para decidir suas ações;
- usar outros métodos para analisar a entrada.

Quanto à maneira de reagir à entrada, o sistema pode:

- utilizar a informação musical de entrada para gerar a saída;
- utilizar apenas algoritmos e material musical elementar como escalas ou tabelas de durações;
- reproduzir trechos de músicas armazenados em memória.

E finalmente, de acordo com a funcionalidade, o sistema pode:

- servir como um instrumento tocado pelo usuário;
- servir como um instrumentista que acompanha o usuário.

5.3 Interfaces

“A interface é a parte do software de um sistema interativo responsável por traduzir ações do usuário em ativações das funcionalidades do sistema, permitir que os resultados possam ser observados e coordenar esta interação” Ascencio (1999). As interfaces são utilizadas como forma de registrar e transmitir informação e surgiram através do desenvolvimento da escrita, da invenção da imprensa, telégrafo, telefone, cinema, televisão e das redes de computadores, Teodoro (2001).

Os avanços da Ciência e da Tecnologia tornaram estes produtos cada vez mais complexos e capazes de proporcionar soluções a uma ampla variedade de

problemas, melhorando a qualidade de vida dos seres humanos. Tais máquinas passaram a ter um papel importante no mundo moderno, pois várias áreas do conhecimento vieram a se preocupar com a inserção destas máquinas na vida do homem e com a forma com que ele se relaciona e pode tirar o melhor proveito delas, Teodoro (2001).

A quantidade de usuários leigos de conhecimentos em informática é grande, pois as dificuldades na interação com as máquinas apresentam-se evidentes. Estas dificuldades são geralmente provenientes da falta de experiência, das diferenças individuais e das funções cognitivas exigidas na tarefa de interação, forçando assim, o desenvolvimento de interfaces cada vez mais amigáveis, Shneiderman (2004).

5.3.1 Características da Interface

As características da interface configuram atributos que evidenciam um conjunto de meios e recursos que facilitam a interação do usuário com o *software*. Inclui as subcaracterísticas, Cantarelli (2004):

- **Condução:** avalia os meios disponíveis para aconselhar, informar e conduzir o usuário na interação com o computador. Inclui atributos como localização, *feedback* imediato e legibilidade.
- **Afetividade:** avalia se o *software* proporciona uma relação agradável com o aluno ao longo do processo de aprendizado.
- **Consistência:** avalia se a concepção da interface é conservada igual em contextos idênticos e se ela se altera em contextos diferentes.
- **Significado de códigos e denominações:** avalia a adequação entre objeto ou informação apresentado ou pedido e sua referência.
- **Gestão de erros:** avalia os mecanismos que permitem evitar ou reduzir a ocorrência de erros, e que favoreçam a correção quando eles ocorrem. Inclui os atributos: proteção contra erros, qualidade das mensagens de erro e correção dos erros e reversão fácil das ações.

- **Adaptabilidade:** é um conjunto de atributos que evidenciam a capacidade do *software* de se adaptar às necessidades e preferências do usuário e ao ambiente educacional selecionado. Inclui atributos como:
 - customização: avalia a facilidade da adaptação da interface para o uso de diferentes usuários;
 - adequação ao ambiente: avalia a facilidade de adequação do *software* ao modelo e aos objetivos educacionais adotados.

- **Documentação:** é o conjunto de atributos que evidenciam que a documentação para instalação e uso do *software* deve ser completa, consistente, legível e organizada. Inclui atributos como:
 - *help online*: avalia a existência de auxílio *on-line*;
 - documentação do usuário: avalia se a documentação sobre o uso do sistema e sua instalação é de fácil compreensão.

A utilização do computador como ferramenta de trabalho, meio de comunicação, entretenimento e educação, entre outros, vem exigindo dos desenvolvedores desses produtos e sistemas informatizados uma preocupação com a qualidade da interface, Shneiderman (2004).

Por ser um objeto complexo e havendo necessidade de se reduzir esta complexidade a uma definição de conceitos mais precisos para a especificação e avaliação de interfaces, Shneiderman (2004) sugere alguns princípios a serem observados no processo de concepção de interfaces. Dentre estes princípios destacam-se: as características dos usuários e a tarefa de interação. Para o desenvolvimento dessas etapas, é necessário a aplicação de um método para a concepção e avaliação de interfaces.

5.3.2 A Importância das Interfaces Homem-Computador no Contexto Educativo-Musical

A criação de ambientes computacionais de aprendizagem devem possuir uma sustentação pedagógica para que tais ambientes não percam em termos de interação.

Sem tal sustentação estes ambientes podem ser reduzidos em seus propósitos e meios, ocasionando interações e solicitações deficitárias, por não respeitar a complexidade cognitiva dos indivíduos.

Para Cunha e Martins (1998), *“o uso do computador no processo de ensino-aprendizagem pode favorecer a viabilização e explicitação de idéias, possibilitando assim em criações mais potentes e diversificadas. Desta forma, o usuário é capaz de implementar idéias, utilizando um sistema dotado deste tipo de suporte e que facilite o processamento das mesmas”*.

Estes avanços tecnológicos devem estar disponíveis também na educação musical como um todo, e não apenas em seus níveis mais avançados como o da composição. Um ambiente educativo-musical deve ser voltado a experimentações musicais em um cenário rico em possibilidades de concretização de idéias e sempre aberto a novas incursões e caminhos.

5.4 Trabalhos Correlatos

Vários Centros e Institutos de Pesquisas desenvolvem projetos relacionados à integração multimídia entre usuários e máquinas no contexto da execução instrumental, dentre eles destacam-se:

- MEDIA LAB: *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*: o *Media Lab* é um Instituto de Pesquisa que prioriza o estudo, invenção e criação de novas tecnologias apoiadas pelo uso dos computadores e dispositivos eletrônicos no processo de criação sonora.
- NICS: Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora - Universidade de Campinas (Unicamp): o NICS é um Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora da Unicamp que vem atuando no desenvolvimento de projetos interdisciplinares que visam o estabelecimento de relações entre a criação musical e a descoberta de novos modelos de produção, controle e análise sonora. O Laboratório de Interfaces Gestuais (LIGA) do NICS estuda o desenvolvimento de instrumentos musicais eletrônicos e a criação de novas interfaces para vincular o som ao movimento e à dança. O resultado da pesquisa leva

ao desenvolvimento de novas interfaces que utilizam a dinâmica do corpo no espaço para produzir eventos acústicos e visuais.

- LSI: Laboratório de Sistemas Integráveis - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP): o Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) vem estudando e desenvolvendo, entre outros, projetos ligados à área de trabalhos colaborativos e à área de educação apoiada por computador. A seguir são apresentados dois sistemas desenvolvidos pelo grupo de professores, estudantes e pesquisadores do LSI.

Apresentam-se nas seções seguintes alguns dos principais trabalhos desenvolvidos no mundo que trouxeram importantes subsídios para este trabalho.

5.4.1 **Brain Opera**

O compositor Tod Machover, do Midia Lab do MIT, criou um sistema que sintetiza bem esta linha de pesquisa, trata-se do *Brain Opera*, resultado da pesquisa de artistas, cientistas, estudantes e músicos na construção de um ambiente complexo, interligado imagens e sons em rede.

Brain Opera Paradiso (1998), é uma obra em contínua expansão. Parte dela se concentra na realização de apresentações e instalações que usam os movimentos do corpo dos participantes para a geração sonora. Essas instalações compreendem espaços como as *Gesture Walls*, ilustrada na Figura 5.1. As *Gesture Walls* são paredes que transformam os gestos em sons e imagens através da captura de sinais elétricos disparados pela ação do corpo do indivíduo. Seu funcionamento ocorre através de uma placa montada no assoalho, onde o usuário ao pisar nela, envia um sinal elétrico a um jogo de quatro sensores situados em torno de uma tela de projeção. Estes sensores medem o movimento do corpo com bastante exatidão, a ponto de detectar movimentos bruscos tornando o som mais forte ou movimentos fracos tornando o som mais suave.

Outra instalação presente no *Brain Opera* é a *Rhythm Tree*, uma escultura com 300 (*pads*) que funcionam como tambores capazes de detectar diferenças sutis de toque e que estão conectados em rede como se fossem os galhos de uma árvore ou as sinapses do cérebro. Paralelamente, existe uma interação via Internet, uma



Figura 5.1: *Gesture Walls*, Paradise (1998)

vez que qualquer pessoa pode enviar para o projeto, arquivos contendo áudio, imagens ou textos. Esses arquivos são utilizados em futuras apresentações da ópera ou nas instalações.

A principal motivação para a realização deste sistema, segundo Paradise (1998), reside no fato de que qualquer pessoa que queira expressar suas idéias, experiências, sentimentos e emoções através da música, pode ser capaz de utilizar o *Brain Opera* para realização de sua apresentação.

5.4.2 DanceSpace

Técnicos do “*Museum of the Future - Media in Performance*” do MIT desenvolveram um sistema denominado *DanceSpace* Sparacino, Davenport e Pentland (2000). Trata-se de um espaço interativo onde artistas possam gerar sons e gráficos através de seus movimentos corporais. O dançarino se incorpora no espaço utilizando objetos que representam instrumentos musicais acoplados virtualmente a seu corpo. Os objetos são associados a cores e sons diferentes. Desta forma, os movimentos executados pelo dançarino são capturados e convertidos em rabiscos coloridos e sonoros. As formas geradas pelos movimentos podem ser observadas em uma tela de projeção situada à frente do dançarino, como ilustrado na Figura 5.2, e seus respectivos sons podem ser apreciados simultaneamente através de caixas acústicas que compõem o sistema.

No *DanceSpace* o artista não precisa utilizar nenhuma roupa especial. Seus movimentos são baseados em processamento de imagens através de uma câmera



Figura 5.2: Sistema *DanceSpace*, Sparacino, Davenport e Pentland (2000)

direcionada em um espaço delimitado pelo sistema. Para Sparacino, Davenport e Pentland (2000), a principal motivação é a utilização de uma técnica não invasiva de captura de movimentos corporais que privilegia artistas com formas criativas de expressão corporal no processo de criação musical.

5.4.3 Tapete Interativo

O tapete interativo, desenvolvido pelo Laboratório de Interfaces Gestuais (LIGA) da UNICAMP é um projeto que propõe a criação de uma interface gestual, a fim de promover a interação com a música. A Figura 5.3 mostra uma bailarina dançando de traje escuro, iluminada por um *spot* de luz e envolvida por grafismos vermelhos que parecem sair de seu corpo, num belo efeito visual criado à partir de um conjunto de luzes preso à roupa da artista. Há ainda, ao fundo um teclado, que a bailarina pode tocar por meio de seus movimentos, com cada trajetória descrita por sua coreografia.

Trata-se de um tapete que possui a propriedade de localizar um ou mais corpos que estejam sobre sua superfície. O tapete é dotado de 12 sensores piezo-elétricos, que quando pressionado pelos deslocamentos do usuário registram pequenas variações de potencial elétrico. Com o auxílio de um conversor analógico-digital, essas alternâncias elétricas, medidas em microvolts, são transformadas em eventos do protocolo MIDI, uma espécie de linguagem musical que se utiliza de uma tabela de números para representar as alturas das notas musicais e suas intensidades Pivetta (2003). Esses números podem acionar qualquer instrumento eletrônico compatível com o protocolo MIDI, como um teclado, onde ao tocar a superfície do

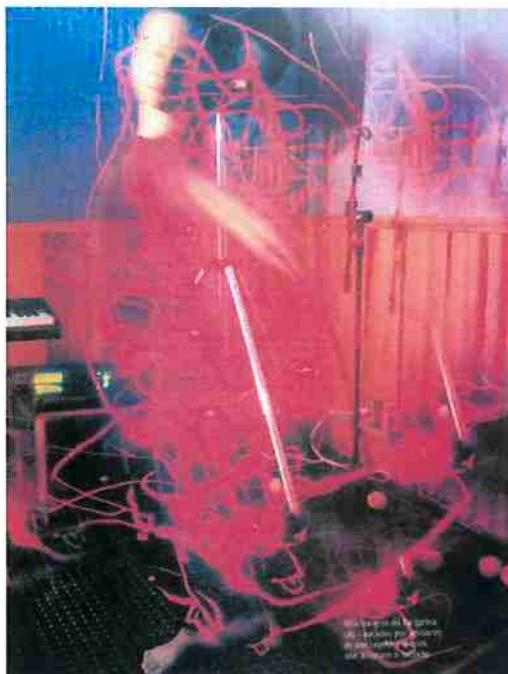


Figura 5.3: Sistema Tapete Interativo, Pivetta (2003)

tapete repetidamente com os pés, a pessoa gera uma seqüência sonora. A grande motivação para a implementação desse sistema, segundo Manzoli, coordenador do LIGA, é unir recursos de última geração com a expressão humana na produção musical, Mialichi e Manzoli (2002).

5.4.4 Editor EduMusical

O Editor Musical Ficheman, Lopes e Kruger (2002), desenvolvido no LSI-EPUSP, é um ambiente de aprendizagem para atividades de composição individual e colaborativa. O Editor Musical permite a interação de usuários individuais com a aplicação em um ambiente livre denominado “*Composição Individual*” e em ambientes semi-dirigidos denominados “*Desafio Individual*”.

Na *Composição Individual*, um usuário é convidado a experimentar a composição. O aluno pode compor individualmente com até três instrumentos musicais diferentes, em todos os ambientes como ilustra a Figura 5.4. O Editor Musical permite salvar a composição no computador e abrir uma composição salva anteriormente para continuar o trabalho. A grade do Editor Musical cor-

responde às pautas, sendo que o sentido horizontal representa a linha do tempo e o sentido vertical as alturas das notas em uma escala cromática. No Editor Musical o espaço de composição é o plano e a execução ocorre da esquerda para a direita.



Figura 5.4: Sistema Editor Musical, Ficheman, Lopes e Kruger (2002)

O Desafio Individual é um ambiente semi-dirigido onde o usuário começa a trabalhar abrindo um desafio previamente preparado por um professor. Um Desafio é uma sugestão composicional que pode ou não ter uma melodia original preparada pelo professor, pode ter uma sugestão na forma de um texto ou de parte de uma composição deixada pelo professor.

O ambiente de aprendizagem colaborativa apoiada por computador (CSCL, *Computer Supported Collaborative Learning*) do Editor Musical é a Composição Colaborativa em que em salas virtuais professor, mediador, aluno e observadores interagem para compor juntos uma melodia.

Através do Editor Musical, pode-se criar andamentos ou ritmos a serem utilizados nas apresentações do MusandScene, pois o Editor exporta arquivos no formato MIDI e o MusandScene importa arquivos do mesmo formato. Desta forma, o aluno poderá criar sons musicais através de movimentos corporais, se expressando e improvisando sobre uma melodia que ele próprio criou utilizando o Editor Musical.

5.4.5 Teclado Virtual

O Teclado Virtual, também desenvolvido no LSI-EPUSP Pansa, Augusto e Neto (2004), é um sistema de rastreamento de movimentos manuais que possibilita criação musical através de um teclado musical virtual. Esse rastreamento é feito através do processamento de imagens capturadas por uma *webcam*, onde a posição das teclas é dada por uma folha de papel sulfite com o desenho impresso. A Figura 5.5 ilustra o esquema do Teclado Virtual.

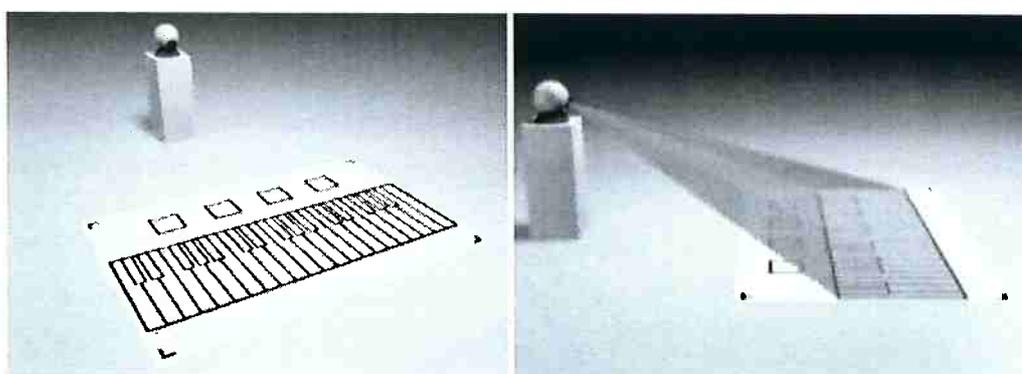


Figura 5.5: Esquema do Teclado Virtual, Pansa, Augusto e Neto (2004)

O sistema possui dois requisitos básicos, são eles: a determinação do *layout*, ou seja, posição das teclas e a determinação do pressionamento de uma determinada tecla. Além disso, o sistema funciona em tempo real, mantendo suas funcionalidades perante diferentes níveis de iluminação e diferentes cores de pele. A Figura 5.6 ilustra o sistema Teclado Virtual.

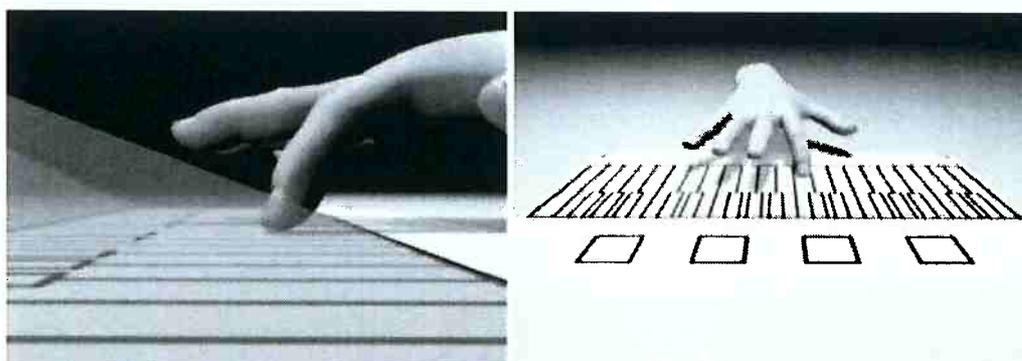


Figura 5.6: Sistema Teclado Virtual, Pansa, Augusto e Neto (2004)

O sistema executa a nota correspondente à tecla pressionada através das

caixas de som do computador. Para tocar essas notas, usa-se uma placa de som capaz de sintetizar sons MIDI permitindo o uso de um grande número de instrumentos musicais.

5.5 Conclusões

Este Capítulo apresentou o computador como ferramenta de ensino-aprendizagem aliando a linguagem musical aos meios eletrônicos interativos. Foi apresentada uma discussão de como os computadores passaram a ter um papel importante no mundo moderno, atraindo várias áreas do conhecimento, além de como se preocupar com a inserção destes computadores na vida do homem e com a forma com que ele se relaciona e pode tirar o melhor proveito deles. Também foram apresentados alguns trabalhos correlatos que fazem uso das novas tecnologias apoiadas pelo uso dos computadores e dispositivos eletrônicos no processo de criação sonora.

6 Sistema MusandScene

*“A música é uma linguagem,
do inatingível,
uma espécie de
linguagem da alma.”*

(E. Macdowell)

6.1 Introdução

Este Capítulo apresenta a concepção do Sistema MusandScene de criação musical apoiada por meios eletrônicos interativos.

Objetiva-se com este sistema, disponibilizar diferentes instrumentos de aprendizagem à alunos e recursos pedagógicos aos professores.

O sistema foi projetado para que o aluno desenvolva as seguintes capacidades:

- Ouvir, perceber e discriminar efeitos sonoros diversos;
- Brincar com a música, imitar, inventar e reproduzir criações musicais;
- Identificar e explorar os diversos sons, através da inserção de diferentes timbres em uma melodia, manipular sua intensidade e altura com o intuito de se expressar, interagir com os outros e ampliar seu conhecimento musical;
- Explorar os recursos tecnológicos de incentivo à criatividade no processo de Educação Musical, e desta forma contribuir para o avanço dos meios eletrônicos interativos no apoio às modalidades de ensino-aprendizagem.

Para que o sistema MusandScene pudesse permitir reais possibilidades de uso, tanto em aulas de música para iniciantes, quanto em reabilitação de pessoas portadoras de necessidades especiais, buscaram-se informações nessas áreas, no intuito

de obter quais atividades e recursos deveriam ser contemplados. A seguir são apresentadas algumas características e requisitos que deverão ser atendidos pelo MusandScene.

6.2 Características Gerais

Pretende-se que o MusandScene seja uma aplicação voltada às práticas pedagógicas de iniciação musical. Espera-se também que possa ser utilizado por terapeutas em práticas musicoterápicas.

6.2.1 Educação Musical

O MusandScene é um sistema para ser utilizado no desenvolvimento musical de crianças e adolescentes em atividades de criação musical. O sistema proporciona a alunos e professores formas diferenciadoras de exploração da música a fim de ampliar seu conhecimento musical. Este sistema de aprendizagem musical não pretende substituir o professor, e sim disponibilizar ferramentas de apoio e complemento ao trabalho pedagógico dos professores. Fica a critério do educador decidir as formas mais adequadas de utilização de ferramentas computacionais para enriquecer o ambiente de aprendizagem.

O MusandScene oferece a possibilidade de se trabalhar com atividades estipuladas pelas seguintes categorias: interpretação e comunicação, criação e experimentação, percepção sonora e musical, e como acompanhamento.

Interpretação e comunicação: o aluno desenvolve a musicalidade e o controle técnico-artístico através do estudo e da apresentação individual e em grupo de diferentes interpretações. No MusandScene o aluno poderá trabalhar individual e coletivamente, manipulando objetos de controle musical, com propriedades diferentes diversificando os efeitos musicais utilizando técnicas e práticas musicais apropriadas e contextualizadas.

Criação e experimentação: o aluno explora, cria, improvisa e vivencia materiais sonoros e musicais com estilos, formas e tecnologias diferenciadas. Utiliza a audição, imaginação, conceitos e recursos diversificados para desenvolver o

pensamento musical e a prática artística, aumentando progressivamente o nível de complexidade e de sofisticação. Apropria diferentes técnicas de produção e de captação sonora. Faz gravações áudio do trabalho criativo realizado.

Percepção sonora e musical: o aluno escuta, analisa, descreve, compreende e avalia, as diferentes formas de improvisação musical concebidas pelo MusandScene. Desenvolve a discriminação e sensibilidade auditiva. Investiga e utiliza fontes sonoras para compreender, apropriar os conceitos e estruturas que enformam e organizam as apresentações musicais. Transcreve a complexidade de diferentes melodias, ritmos e harmonias. Avalia e compara diversas apresentações musicais de estilos diferentes. Seleciona melodias com determinadas características para eventos específicos e através delas, desenvolver exercícios de composição e harmonia através dos movimentos do corpo. Ensaia, apresenta e dirige apresentações musicais com princípios estéticos e comunicacionais diversificados. Explora como diferentes técnicas e tecnologias podem contribuir para a interpretação e a comunicação artístico-musical. Reflete e avalia as interpretações realizadas.

Acompanhamento: esta categoria pode ser utilizada em aulas de técnicas interpretativas e harmonia em que o estudante de música elabora um acompanhamento para executar exercícios de improvisação e arranjo musical.

6.2.2 **Musicoterapia - Reabilitação através de terapias musicais**

A musicoterapia, segundo a Comissão de Prática Clínica da Federação Mundial de Musicoterapia Brucia (2000), é a Ciência que estuda o som e suas características, o ritmo e o movimento no desenvolvimento e tratamento de pessoas portadoras de necessidades especiais. A musicoterapia é utilizada em sessões terapêuticas que utiliza a música em um processo destinado a facilitar e promover comunicação, relacionamento, aprendizado, mobilização, expressão, organização e outros objetivos terapêuticos relevantes, a fim de atender às necessidades físicas, mentais, sociais e cognitivas do ser-humano, Gerard (1987).

O objetivo da musicoterapia é animar um crescimento emocional, afetivo relacional e social da pessoa através da utilização de sons, movimentos e expressão corporal como meio de comunicação através de canais motores ou expressivos. A

seguir são apresentadas as características do sistema sob os dois aspectos educativo e terapêutico, Brucia (2000).

O sistema MusandScene pode ser utilizado em reabilitação de pessoas portadoras de necessidades especiais, através de exercícios propostos pelo sistema que visam desenvolver a coordenação sensório-motora do ser-humano diante de um estímulo musical.

A aplicação da musicoterapia tem ocorrido principalmente em entidades que trabalham com crianças portadoras de deficiência mental. Utiliza-se recursos de musicoterapia para trabalhar os processos de linguagem. A percepção corporal através do ritmo também faz parte do processo terapêutico. Desta forma, a criança passa a ter contato consigo mesma e com os outros, é uma forma de integrá-la ao meio, Gerard (1987).

A utilização do MusandScene se propõe a provocar tensão, relaxamento, alegria por ser composta de vibrações e atuar diretamente nos sentidos humanos através dos movimentos e da audição produzindo efeitos diferentes nas pessoas. Desta forma, o sistema pode ajudar no equilíbrio e na saúde física, mental e emocional do ser-humano favorecendo aos profissionais da área de saúde mais uma ferramenta complementar de trabalho.

6.3 Descrição do MusandScene

Com o intuito de tornar o aprendizado musical mais interessante, o MusandScene se propõe a ser um sistema desenvolvido sob o paradigma da orientação a objetos, através da Linguagem de Modelamento Unificada (UML), que irá possibilitar aos alunos brincarem com as propriedades do som. A Figura 6.1 apresenta as ações envolvidas na execução do MusandScene.

Primeiramente, o professor deverá configurar o sistema, isto implica em percorrer alguns passos. A melodia deverá ser escolhida pelo professor, esta melodia determina o estilo musical com que se deseja trabalhar. Existe a possibilidade de alterar o andamento desta melodia, tornando-a mais lenta ou mais rápida, de acordo com cada apresentação.

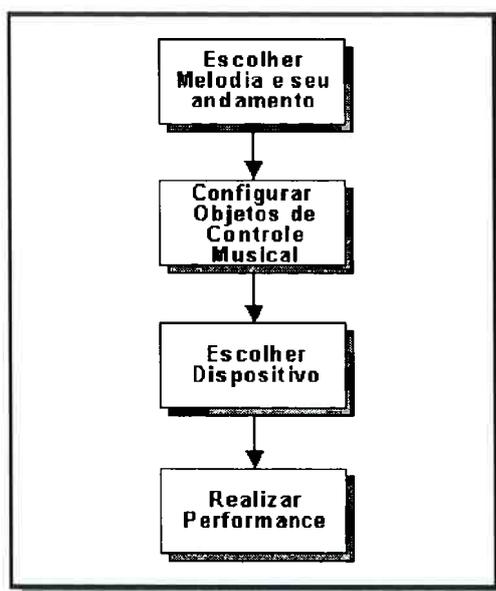


Figura 6.1: Ações envolvidas na execução do MusandScene

O próximo passo, é efetuar a configuração dos objetos de controle musical que o aluno controlará no momento da apresentação. Estes objetos são capazes de controlar a intensidade e/ou a altura de uma melodia, além de adicionar novos timbres à mesma.

Em seguida deverá ser definido o(s) dispositivo(s) de captura de movimentos que o aluno utilizará na realização de sua apresentação. Estes dispositivos podem ser sensores ou câmeras que, através de marcadores posicionados pelo corpo do usuário, capturam sua posição (x, y, z). Um objeto de controle musical é associado ao dispositivo de captura de movimentos.

Finalmente, após todas estas configurações do sistema, o aluno poderá se posicionar no cenário, ou seja, em um espaço 3D, e manipular o objeto de controle musical, gerando efeitos sonoros em tempo real, ou seja, realizar sua apresentação.

6.4 Modelagem UML

As seções subsequentes apresentam a modelagem do sistema MusandScene de acordo com a UML.

6.4.1 Casos de Uso

Neste nível estão especificados os requisitos do MusandScene detalhando o que o sistema deve atender não se preocupando com aspectos físicos.

6.4.1.1 Definição dos Atores

A utilização do MusandScene envolve a interação de diferentes atores com o mesmo, sendo estes: Alunos e Professores. Um aluno, ou paciente, é um usuário que interage com o sistema para experimentar uma criação musical. O aluno deverá manipular os objetos de controle de musical produzindo efeitos sonoros em tempo real. Um professor, ou musicoterapeuta, é um usuário com maiores privilégios, que interage com o sistema para orientar o aluno tanto na interação com o computador quanto no seu aprendizado musical. A Figura 6.2 mostra os diagramas de casos de uso do sistema MusandScene.

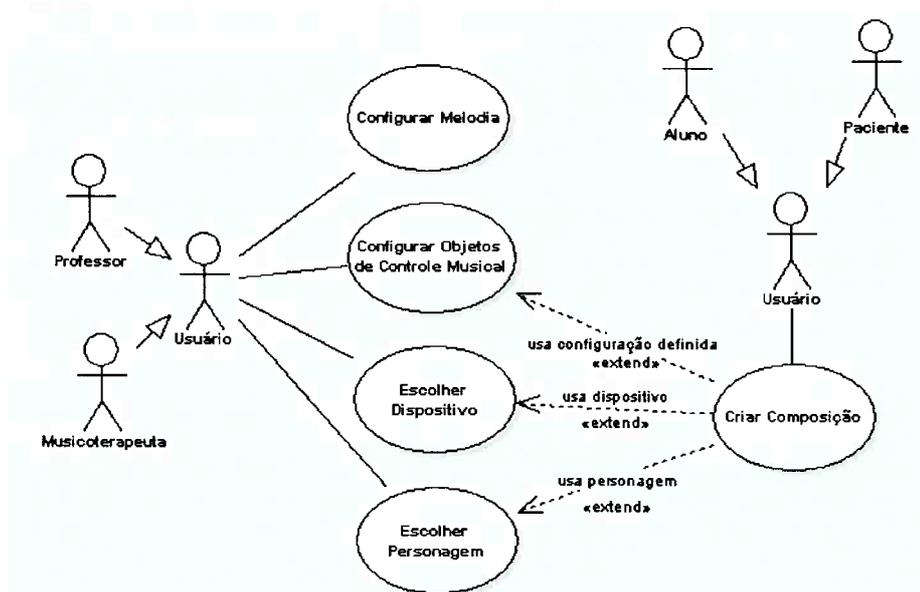


Figura 6.2: Visão de caso de uso do MusandScene

A Tabela 6.1 mostra a interação do usuário com o sistema.

A seguir são apresentadas as mensagens emitidas pelo sistema em consequência de cada interação do usuário com o mesmo.

Tabela 6.1: Organização dos casos de uso do sistema MusandScene

	Descrição	Entrada	Caso de uso	Resposta
1	Professor escolhe melodia de acompanhamento	dados da melodia	Configurar Melodia	Msg02
2	Professor configura objeto de controle musical	dados do objeto	Configurar Objeto de Controle Musical	Msg03
3	Professor escolhe dispositivo de captura de movimentos	dados do dispositivo	Escolher Dispositivo	Msg01
4	Professor escolhe personagem	dados do personagem	Escolher Personagem	Msg04
5	Aluno cria composição	dados da composição	Criar Composição	Msg05

- Msg01: melodia alterada, melodia escolhida;
- Msg02: o objeto de controle musical está configurado para ser executado apenas em um dos eixos eixo x, y ou z, o objeto de controle musical está configurado para ser executado sob dois eixos xy, xz ou yz ou o objeto de controle musical está configurado para ser executado sob os três eixos xyz;
- Msg03: dispositivo ótico escolhido, dispositivo magnético escolhido, *mouse* escolhido, teclado escolhido, *joystick* escolhido;
- Msg04: personagem escolhido;
- Msg05: capturando movimentos, composição criada.

6.4.2 Descrição dos Cenários

A seguir são apresentados os relacionamentos dos atores com o sistema e uma descrição de seus comportamentos.

Caso de Uso 1

Roteiro: Configurar Melodia

Descrição: Este caso de uso trata da escolha de uma melodia, onde seu andamento poderá ser configurado de forma a tornar a execução de uma música mais

lenta ou mais rápida para execução de uma determinada apresentação.

Atores envolvidos: professor

A Figura 6.3 mostra este exemplo do caso de uso Configurar Melodia Melodia.

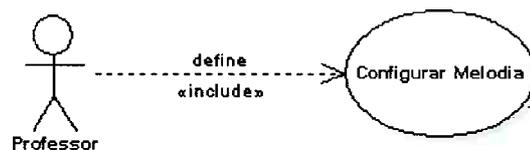


Figura 6.3: Caso de uso Configurar Melodia

Curso Normal:

1. Professor acessa tela de melodias
1. Professor verifica melodias disponíveis no sistema
2. Sistema exhibe uma lista com diversas melodias
3. Professor escolhe uma melodia
4. Professor ajusta as configurações da melodia
5. Sistema emite Msg02 informando que a melodia foi escolhida

Caso de Uso 2

Roteiro: Configurar Objeto de Controle Musical

Descrição: Este caso de uso trata da configuração dos objetos de controle musical do MusandScene. Constituem estes objetos de controle musical, os eixos cartesianos que devem receber informações de quais efeitos sonoros estarão associados a estes. Um objeto de controle musical pode possuir de um à três eixos habilitados para execução de uma apresentação. Cada eixo possuirá uma função de alterar a melodia de acordo com o efeito sonoro associado a ele.

Atores envolvidos: professor

A Figura 6.4 mostra este exemplo do caso de uso Configurar Objeto de Controle Musical.

Curso Normal:

1. Professor acessa a tela de configurações dos objetos de controle musical
2. Professor acessa um objeto de controle musical no sistema
3. Sistema exibe a janela de configuração do objeto de controle musical escolhido
4. Professor configura um ou mais eixos do objeto de controle musical atribuindo a eles fatores pertinentes a apresentação desejada como a intensidade, altura ou novo timbre
5. Professor finaliza operação
6. Sistema emite Msg03 de objeto configurado

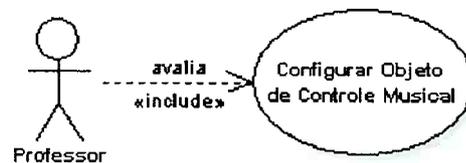


Figura 6.4: Caso de uso Configurar Objeto de Controle Musical

Caso de Uso 3

Roteiro: Configurar Dispositivo

Descrição: Este caso de uso trata da escolha por um dispositivo de captura de movimentos ao qual se deseja trabalhar na execução da apresentação.

Atores envolvidos: professor

A Figura 6.5 mostra este exemplo do caso de uso Configurar Dispositivo.

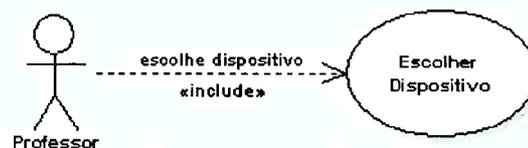


Figura 6.5: Caso de uso Configurar Dispositivo

Curso Normal:

1. Professor acessa a tela de dispositivos
2. Professor verifica dispositivos de captura
3. Sistema exibe uma lista com possíveis dispositivos de captura
4. Professor escolhe um tipo de dispositivo de captura
5. Professor configura o dispositivo escolhido
6. Sistema emite Msg01 informando que o dispositivo está pronto

Caso de Uso 4**Roteiro:** Configurar Personagem

Descrição: Este caso de uso representa a escolha de um personagem representado por uma figura em formato gif, onde segue os movimentos que o aluno produz na tela do computador.

Atores envolvidos: professor

A Figura 6.6 mostra este exemplo de caso de uso Configurar Personagem.

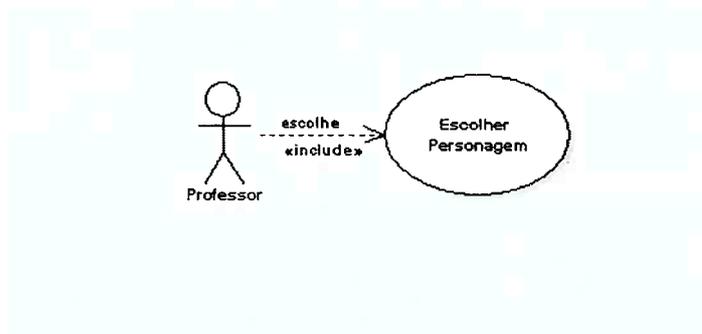


Figura 6.6: Caso de uso Configurar Personagem

Curso Normal:

1. Professor acessa a tela dos personagens
2. Professor escolhe um personagem
3. Sistema emite msg05 informando que o personagem foi escolhido
4. Sistema exibe personagem escolhido na tela da execução

Caso de Uso 5

Roteiro: Criar Composição

Descrição: Este caso de uso representa a criação da apresentação do aluno com o sistema devidamente configurado.

Atores envolvidos: professor e aluno

A Figura 6.7 mostra este exemplo do caso de uso Criar Composição.



Figura 6.7: Caso de uso Criar Composição

Curso Normal:

1. Professor autoriza o aluno
2. Aluno se posiciona no cenário
3. Professor verifica se o cenário está pronto
5. Professor acessa a tela de execução do sistema
6. Professor autoriza início da apresentação
7. Sistema emite Msg04 informando que a apresentação está ocorrendo
8. Aluno finaliza apresentação
9. Professor pára o sistema
10. Sistema emite Msg04 informando a finalização da apresentação

6.4.3 Formas de Criação Musical

O aluno pode criar sua apresentação individualmente ou pode dividir o cenário com mais alunos. A seguir serão exemplificadas algumas destas situações.

Situação 1: Criação Individual

Objeto simples - eixo x

O professor configura um objeto de controle musical associando o eixo X a um novo timbre. A Figura 6.8 mostra o exemplo de um aluno manipulando um objeto de controle musical sob o eixo x, onde movimentos na direção horizontal (direita ou esquerda) executam uma determinada nota musical de acordo com o instrumento escolhido.



Figura 6.8: Objeto x (eixo x, timbre)

Situação 2: Criação Individual

Objeto simples - eixo y

O professor configura um objeto de controle musical associando o eixo a um novo timbre. A Figura 6.9 mostra o exemplo de um aluno manipulando o objeto de controle musical sob o eixo y, onde movimentos na direção vertical (para cima ou para baixo) executam uma determinada nota musical de acordo com o instrumento escolhido.



Figura 6.9: Objeto y (eixo y, timbre)

Situação 3: Criação Individual

Objeto simples - eixo z

O professor configura um objeto de controle musical associando o eixo z a um novo timbre. A Figura 6.10 mostra o exemplo de um aluno manipulando o objeto de controle musical sob o eixo z, onde movimentos nesta direção (para frente ou para trás) executam uma determinada nota musical de acordo com o timbre escolhido.

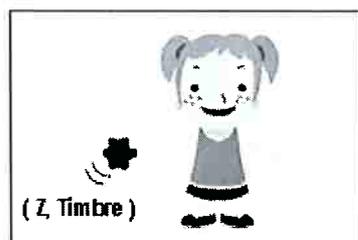


Figura 6.10: Objeto z (eixo z, timbre)

Situação 4: Criação Individual

Objeto de controle musical simples - eixos diferentes e mesmo atributo sonoro

A Figuras 6.11 mostra o exemplo de objeto de controle musical simples.

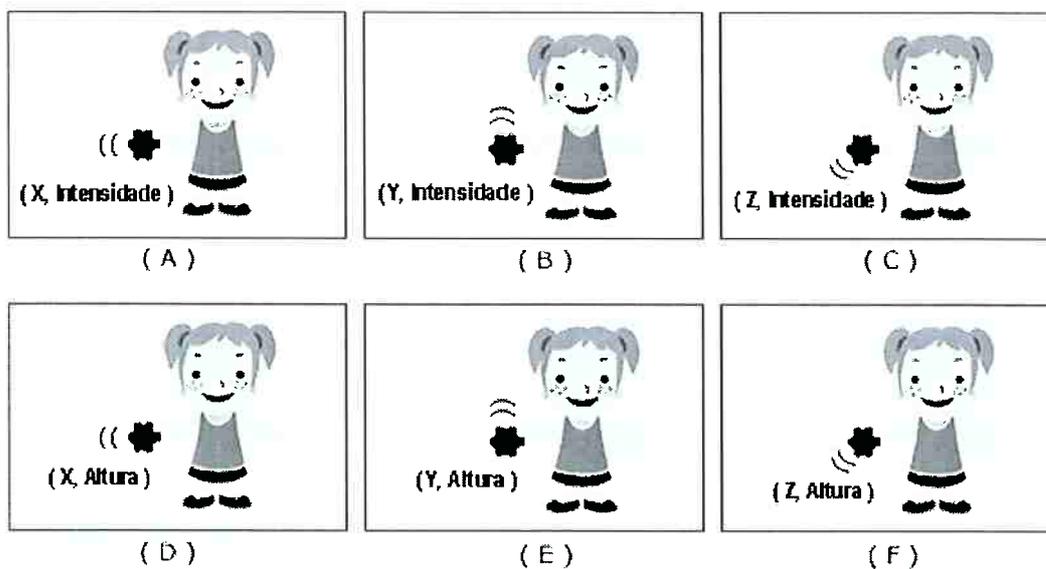


Figura 6.11: Objetos de controle musical simples

Os objetos de controle musical estão utilizando os eixos x, y e z para alterar a intensidade de uma melodia. Movimentos do aluno na direção horizontal farão

com que esta melodia se torne mais intensa a medida em que o braço da aluna se afasta do ponto de origem em relação ao eixo x. O mesmo acontece para os outros exemplos, no caso (B), a intensidade está relacionada ao eixo y (movimentos na direção vertical) e no caso (C) ao eixo Z (movimentos para frente e para trás).

O mesmo ocorre com os exemplos (D), (E) e (F), porém, nestes casos, utiliza-se os eixos cartesianos do espaço 3D para afetar a altura de uma melodia. No caso (D), a altura corresponde aos movimentos sob o eixo x, no exemplo (E) ao eixo y e no exemplo (F) ao eixo z.

Situação 5: Criação Individual

Objeto de controle musical composto - dois eixos

Os objetos de controle musical composto possuem mais de um eixo associado a ele. O exemplo da Figura 6.12 mostra exemplos de objetos de controle musical composto.

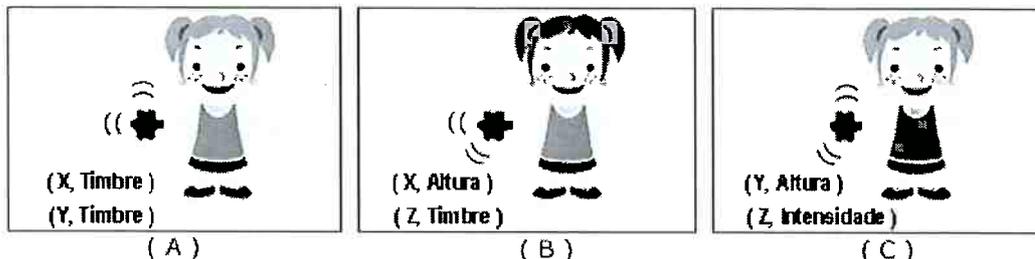


Figura 6.12: Objetos de controle musical compostos por dois eixos

No exemplo (A), os eixos x e y possuem o mesmo efeito sonoro associado a eles, neste caso, um som gerado por um novo timbre. No exemplo (B), um objeto de controle musical está associado a dois efeitos sonoros diferentes, onde movimentos na direção horizontal afetarão a altura da melodia tornando a apresentação mais grave ou mais aguda, enquanto que o movimento no eixo z executa um timbre. O exemplo (C) também mostra um objeto de controle musical composto associado a dois atributos sonoros diferentes, neste caso trata-se da altura e da intensidade, onde movimento na direção vertical tornará a melodia mais grave ou mais aguda e movimentos sob o eixo z afetarão a intensidade da melodia, tornando-a mais intensa.

Situação 6: Criação Individual

Objeto de controle musical composto - três eixos

Neste caso, um mesmo objeto de controle musical possui seus três eixos associados aos efeitos sonoros. O objeto de controle musical pode possuir três efeitos sonoros iguais, como ilustrado na Figura 6.13 (A), ou pode possuir dois efeitos sonoros iguais ilustrado no exemplo (B) ou ainda possuir efeitos sonoros diferentes como mostra o exemplo (C).

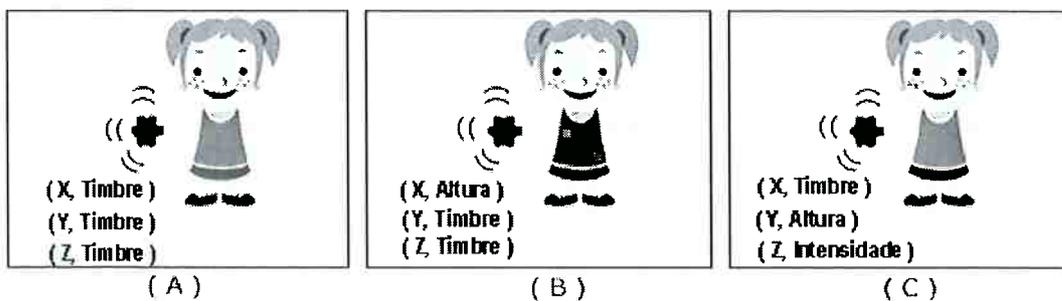


Figura 6.13: Objetos de controle musical compostos por três eixos

Situação 7: Criação Individual

Objeto de controle musical simples

A Figura 6.14 mostra exemplos de dois objetos de controle musical simples.

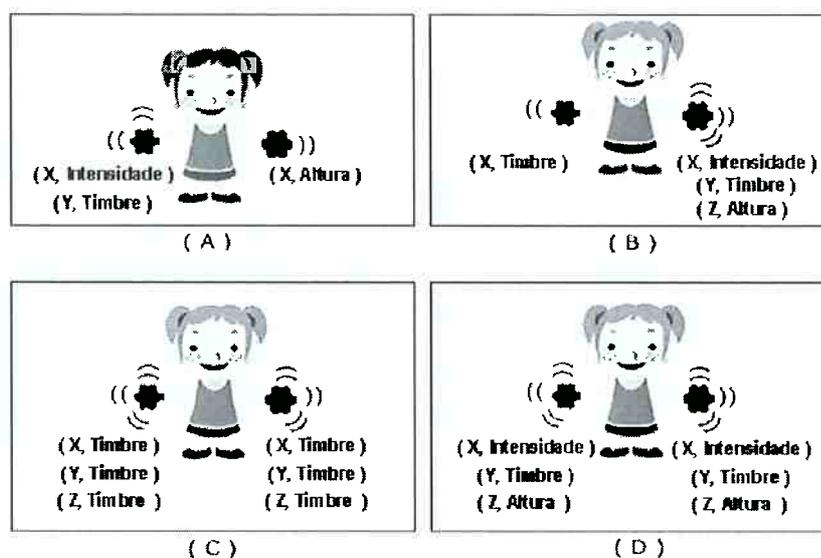


Figura 6.14: Dois objetos de controle musical simples

Estes objetos são manipulados simultaneamente. No exemplo (A), os objetos de controle musical possuem o mesmo eixo e o mesmo efeito sonoro. No exemplo (B), os objetos de controle musical possuem o mesmo eixo e efeitos sonoros diferentes. No exemplo (C), os objetos de controle musical possuem eixos diferentes e efeitos sonoros iguais. No exemplo (D), os objetos de controle musical possuem eixos diferentes e efeitos sonoros diferentes. Como observado, existem várias possibilidades de configurações dos objetos de controle musical para realizar a apresentação.

Situação 8: Criação Individual

Dois Objetos de controle musical (simples x composto) (composto x composto)

A Figura 6.15 mostra exemplos de manipulação de objetos de controle musical simples com objetos de controle musical compostos (A) e (B). O exemplo (C) mostra a manipulação de dois objetos de controle musical compostos, sendo que ambos possuem o mesmo efeito sonoro associado a todos os seus eixos. Já o exemplo (D), ao contrário, mostra um exemplo de dois objetos de controle musical composto com eixos e efeitos diferentes.

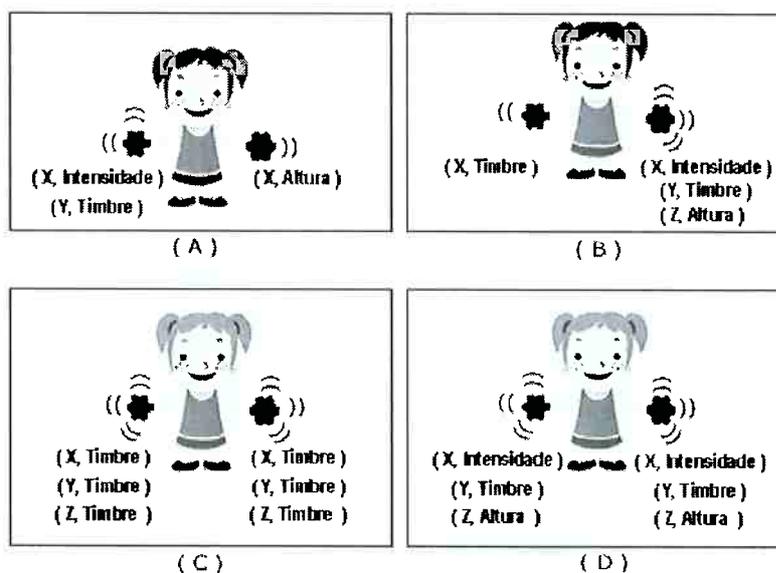


Figura 6.15: Dois objetos de controle musical (simples x composto) (composto x composto)

A seguir serão apresentadas algumas situações de criações colaborativas.

Situação 1: Criação Colaborativa

Dois objetos de controle musical simples

A Figura 6.16 mostra exemplos de manipulação de objetos de controle musical simples no modo colaborativo. Cada aluno manipula um objeto de controle musical com uma das mãos. O exemplo (A) mostra a manipulação de dois objetos de controle musical simples, sendo que ambos possuem o mesmo efeito sonoro associado ao mesmo eixo. No exemplo (B), observa-se que ambos os objetos de controle musical possuem o mesmo eixo, porém, com efeitos sonoros diferentes associados a eles. O exemplo (C), ao contrário, mostra a manipulação de dois objetos de controle musical simples com eixos diferentes e efeitos sonoros iguais. E o exemplo (D) mostra a manipulação de dois objetos de controle musical simples com eixos e efeitos diferentes.

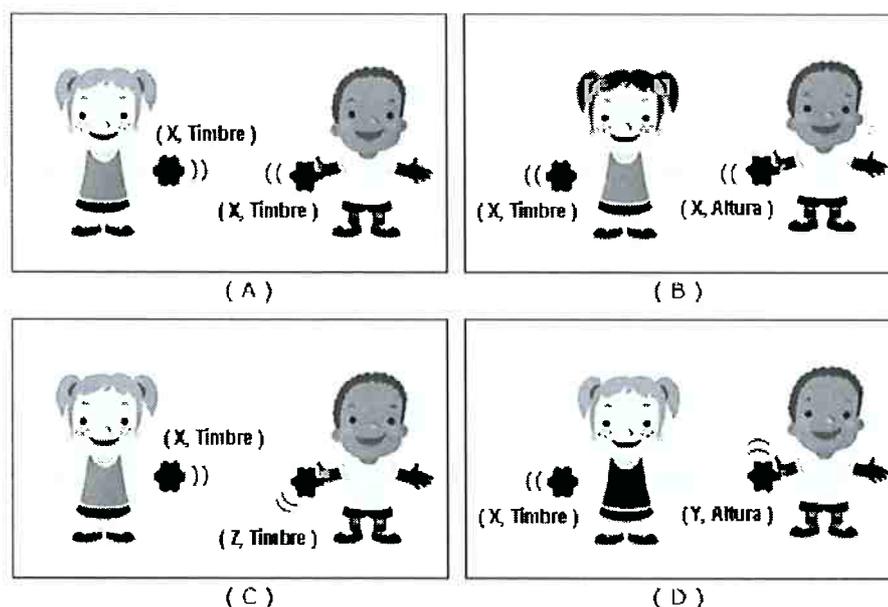


Figura 6.16: Criação colaborativa com objetos de controle musical simples

Situação 2: Criação Colaborativa

Dois objetos de controle musical compostos

Existem diversas maneiras de configurar os objetos de controle musical compostos. A Figura 6.17 exemplifica algumas destas possíveis configurações. No

exemplo (A), O efeito sonoro timbre está associado a todos os eixos dos objetos de controle musical composto, a aluna segura um objeto de controle musical composto por dois eixos x e y, e o aluno manipula um objeto de controle musical composto pelos três eixos x, y e z. Já o exemplo (B), ilustra a manipulação de dois objetos de controle musical compostos por eixos e efeitos sonoros diferentes para ambos os alunos.

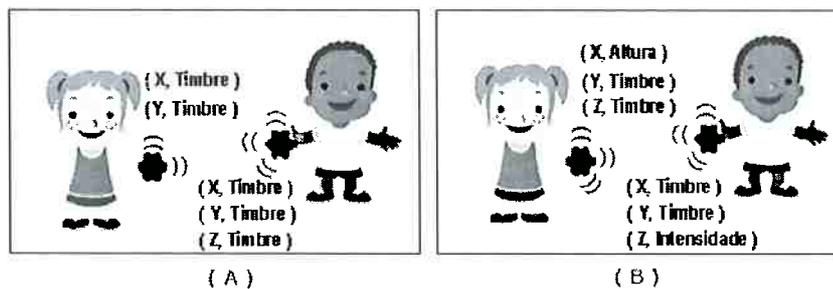


Figura 6.17: Criação colaborativa com objetos de controle musical composto

Situação 3: Criação Colaborativa

Dois objetos de controle musical simples e composto

A Figura 6.18 mostra exemplos da manipulação de um objeto de controle musical simples e outro composto simultaneamente. O exemplo (A), mostra o mesmo efeito sonoro associado aos eixos do objeto de controle musical 1, já o exemplo (B), mostra um exemplo de objetos de controle musical com eixos e efeitos sonoros diferentes.

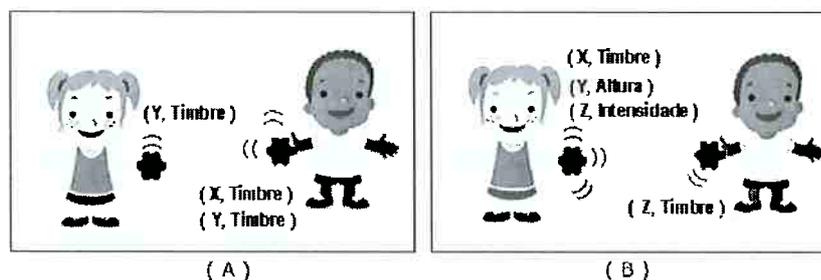


Figura 6.18: Criação colaborativa com objetos de controle musical simples e composto

Situação 4: Criação Colaborativa

Três objetos de controle musical simples

O exemplo da Figura 6.19 mostra a manipulação de três objetos de controle musical simples simultaneamente.

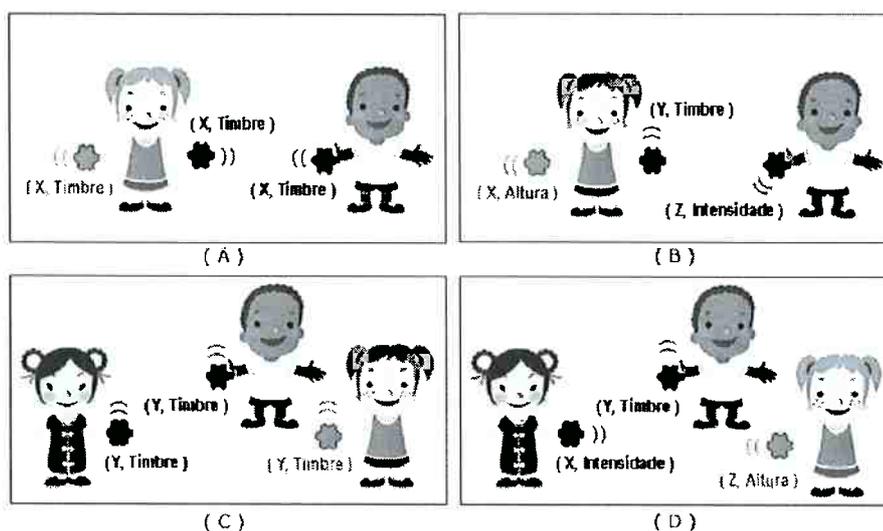


Figura 6.19: Criação colaborativa com dois objetos de controle composto

Cada aluno pode manipular até dois objetos de controle musical, um para cada uma de suas mãos, ou ainda inserir mais um aluno na apresentação, desta forma, cada usuário fica responsável pela manipulação de um objeto de controle. No exemplo (A), os três objetos de controle musical possuem eixos e efeitos sonoros iguais. A aluna manipula dois objetos de controle musical ao mesmo tempo enquanto o aluno manipula o outro objeto de controle musical. No exemplo (B), a mesma situação se repete, a diferença é que os eixos e efeitos sonoros são diferentes para cada um dos objetos de controle musical. No exemplo (C), cada usuário manipula um objeto de controle musical, ambos com mesmo eixo e mesmo efeito sonoro. Já no exemplo (D), os eixos e efeitos sonoros são diferentes para cada aluno.

Situação 5: Criação Colaborativa

Três objetos de controle compostos

O exemplo da Figura 6.20 mostra a manipulação de três objetos de controle musical composto simultaneamente.

No exemplo (A), a aluna manipula dois objetos de controle musical, ambos configurados para executar o efeito timbre em todos os eixos dos dois objetos de

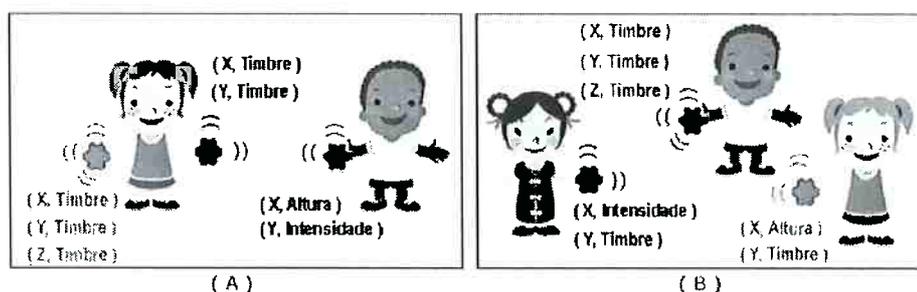


Figura 6.20: Criação colaborativa com três objetos de controle musical composto

controle musical, já o exemplo (B) cada usuário manipula um objeto de controle musical composto, ambos com eixos e efeitos sonoros diferentes.

Situação 6: Criação Colaborativa

Três objetos de controle musical simples e composto

O exemplo da Figura 6.21 mostra a manipulação de três objetos de controle musical simples e composto em uma mesma apresentação. No exemplo (A), a aluna manipula dois objetos de controle musical, um simples e outro composto ambos configurados para executar o efeito timbre, já o exemplo (B) cada aluno manipula um objeto de controle musical.

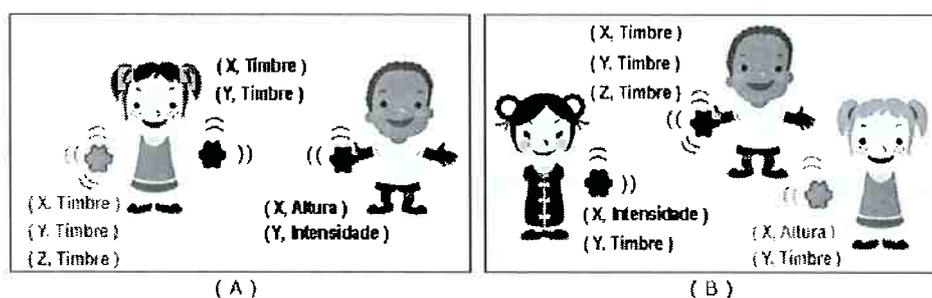


Figura 6.21: Criação colaborativa com três objetos de controle musical composto

Situação 7: Criação Colaborativa

Quatro objetos de controle musical simples

O exemplo da Figura 6.22 mostra a manipulação de quatro objetos de controle musical simples. Neste caso pode haver a interação de até quatro alunos simultaneamente em uma mesma apresentação. O exemplo (A) mostra dois alunos

manipulando, cada um, dois objetos de controle musical simples. No exemplo (B), observa-se a manipulação dos quatro objetos de controle musical por três alunos diferentes, ou seja um deles manipula dois objetos de controle musical simultaneamente. O exemplo (C), mostra quatro objetos de controle musical sendo manipulados por quatro alunos diferentes, um para cada objeto de controle musical.

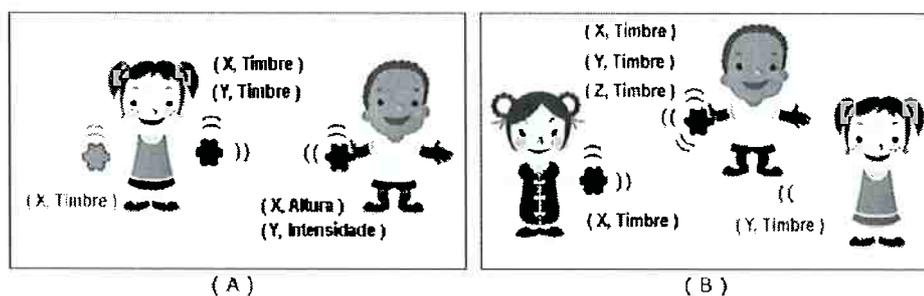


Figura 6.22: Criação colaborativa com quatro objetos de controle musical composto

Situação 8: Criação Colaborativa

Quatro objetos de controle musical simples e composto

O exemplo da Figura 6.23 mostra a manipulação de quatro objetos de controle musical simples e composto simultaneamente.

O exemplo (A), mostra dois alunos manipulando dois objetos de controle musical cada um, ambos com um objeto de controle musical simples e outro composto. O exemplo (B), mostra três alunos manipulando os objetos de controle musical, enquanto a menina manipula um objeto de controle musical simples, os dois meninos manipulam os outros objetos de controle musical composto. Já o exemplo (C), mostra quatro alunos diferentes manipulando, cada um, objetos de controle musical composto.

Foram apresentadas algumas situações para criar composições, e ainda existem diversas formas de exemplificar estas situações. Estas combinações entre objetos e suas configurações devem ficar a critério do professor.

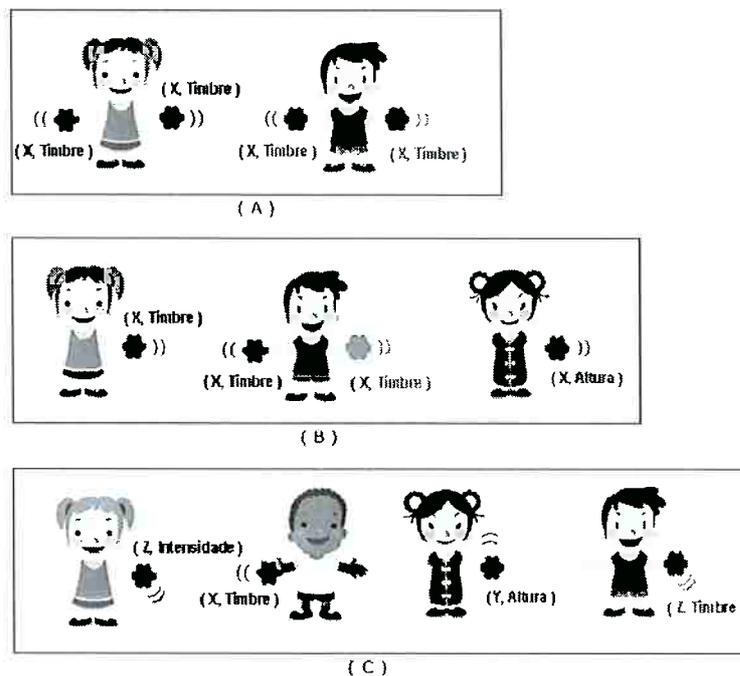


Figura 6.23: Criação colaborativa com quatro objetos de controle simples e composto

6.5 Diagrama de Atividades

Os diagramas de atividades descrevem os aspectos dinâmicos do MusandScene, mostrando o fluxo de controle de uma atividade para outra, envolvendo a modelagem das etapas sequenciais de um processo computacional.

6.5.1 Configurar Melodia

A melodia é a base de uma apresentação criada no MusandScene. A partir da definição de uma melodia, pode-se fazer uso dos objetos de controle musical para compor sob esta alterando sua altura, intensidade e/ou adicionando novos timbres nesta melodia, criando desta forma, uma nova melodia que pode ser salva no sistema.

A Figura 6.24 mostra o diagrama de atividades Configurar Melodia. Primeiramente o professor deverá acessar a tela de configurações da melodia. Existem várias melodias com características diferentes, onde o professor deverá escolher apenas uma para servir de base para composição. O professor pode alterar a

velocidade desta melodia, tornando-a mais lenta ou mais rápida de acordo com a apresentação desejada. Caso não tenha a necessidade de alterar seu andamento, o professor pode finalizar esta atividade, deixando especificado a melodia escolhida.

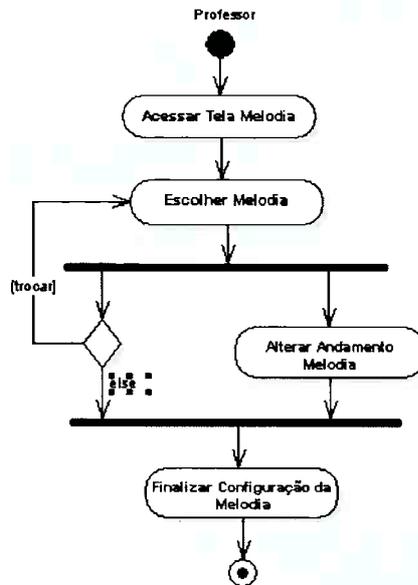


Figura 6.24: Diagrama de sequência Escolher Melodia

6.5.2 Configurar Objeto de Controle Musical

Os objetos de controle musical são responsáveis por afetar a melodia de acordo com os efeitos sonoros associados a seus respectivos eixos cartesianos, se inseridos em um espaço 3D.

A Figura 6.25 mostra o diagrama de atividades Configurar Objeto de Controle Musical. Primeiramente o professor deverá acessar a tela de configurações dos objetos de controle musical e em seguida configurar seus eixos cartesianos. Cada objeto possui um eixo x, um eixo y e um eixo z. Cada um destes eixos pode receber como parâmetro um efeito sonoro do tipo intensidade, altura ou melodia. O professor deve escolher qual destes efeitos sonoros gostaria de estar utilizando para recriar uma melodia anteriormente definida.

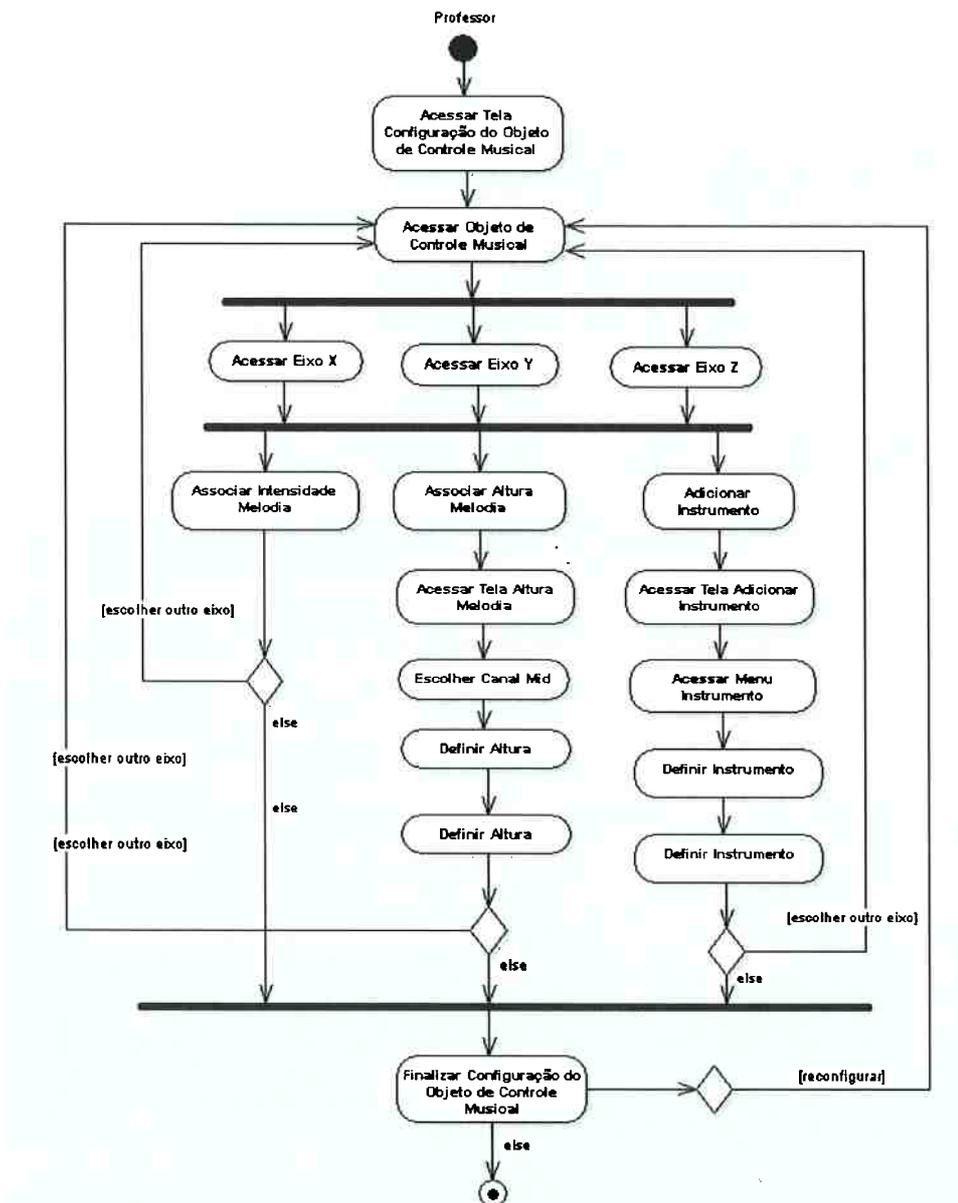


Figura 6.25: Diagrama de sequência Configurar Objeto de Controle Musical

6.5.3 Configurar Dispositivo de Captura de Movimentos

Os dispositivos de captura de movimentos são responsáveis por capturar os movimentos de uma determinada parte do corpo do usuário em um espaço 3D. Os movimentos deste usuário são capturados e enviados aos objetos de controle musical que interpretam os comandos e os transformam em efeitos sonoros de acordo com as configurações de seus eixos.

A Figura 6.26 mostra o diagrama de atividades Configurar Dispositivo. Primeiramente o professor deverá acessar a tela de dispositivos e optar por um dispositivo de captura. Se o dispositivo requer alguma configuração, o professor deve configurá-lo de acordo com suas necessidades. Após estas configurações o dispositivo estará pronto para ser utilizado.

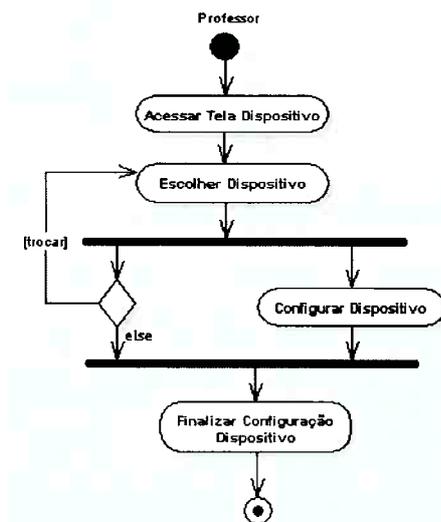


Figura 6.26: Diagrama de sequência Escolher Dispositivo

6.5.4 Configurar Personagem

O MusandScene possui alguns personagens animados para divertir o usuário ao visualizar sua apresentação. Os personagens podem mover os braços de acordo com os movimentos executados sobre os eixos.

A Figura 6.27 mostra o diagrama de atividades Configurar Personagem. Primeiramente o professor deverá acessar a tela de configurações do personagem e

optar por um personagem. Automaticamente este personagem aparecerá centralizado na tela de execução do sistema. Ao iniciar a apresentação, o aluno poderá ver a animação deste personagem, movendo seus braços sob os eixos cartesianos.

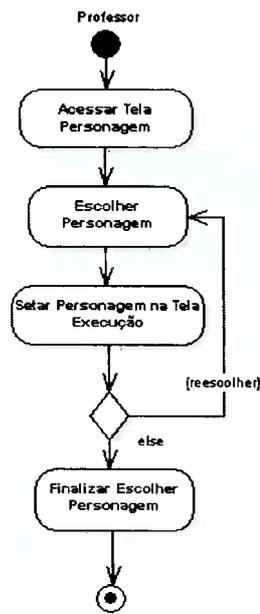


Figura 6.27: Diagrama de sequência Escolher Personagem

6.5.5 Criar Composição

Após todas as configurações exigidas pelo sistema, o aluno poderá criar sua apresentação.

A Figura 6.28 mostra o diagrama de atividades Criar Composição. Primeiramente o aluno deverá se posicionar em um espaço 3D delimitado pelo sistema. O professor deve determinar qual a parte do corpo o usuário estará manipulando durante a apresentação. Em seguida, o professor acessa a tela de execução do MusandScene e autoriza o início da apresentação. Neste momento a melodia começa a ser reproduzida. O dispositivo de captura de movimentos definido pelo professor captura estes movimentos e envia ao sistema que responde reproduzindo os efeitos sonoros atribuído aos eixos cartesianos em tempo real.

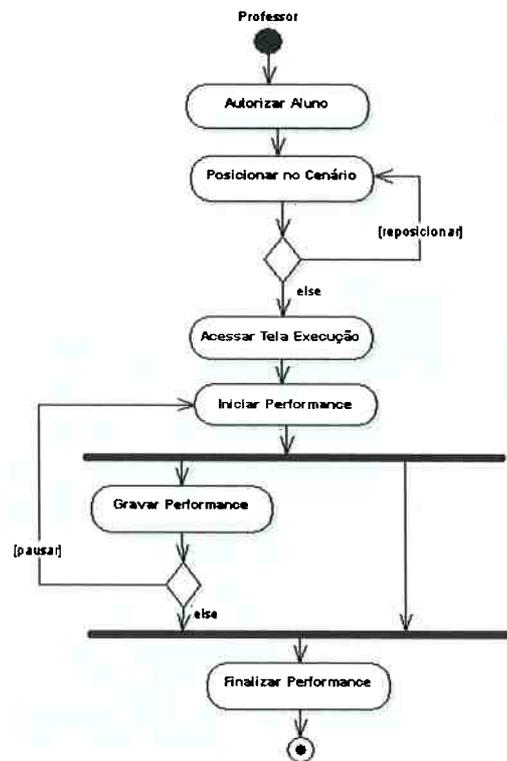


Figura 6.28: Diagrama de sequência Criar Composição

6.6 Modelo de Classes

O modelo de classes da Figura 6.29 representa a visão lógica do MusandScene. Sua especificação mostra os tipos relacionados com as regras do sistema. A classe *Aplicativo* é encarregada de cuidar da interface com o usuário (GUI ou *Graphic User Interface*), nela se encontram os atributos e métodos que implementam a interface de configurações da melodia, dos objetos de controle musicais, dos dispositivos e da interface de execução do sistema.

A classe *ObjetoControleMusical* possui três atuadores que correspondem aos eixos (x,y,z). Cada atuador musical possui alguns fatores que influenciam em uma melodia, são eles: intensidade, altura e inserir novo timbre.

A classe *Dispositivo* é responsável por manipular as operações referentes ao dispositivo de captura. Estes dispositivos dependem dos objetos de controle musical e possuem métodos que capturam a posição do usuário e setam a posição no sistema. Os dispositivos podem ser de rastreamento eletromagnético, câmeras,

joystick, mouse ou teclado.

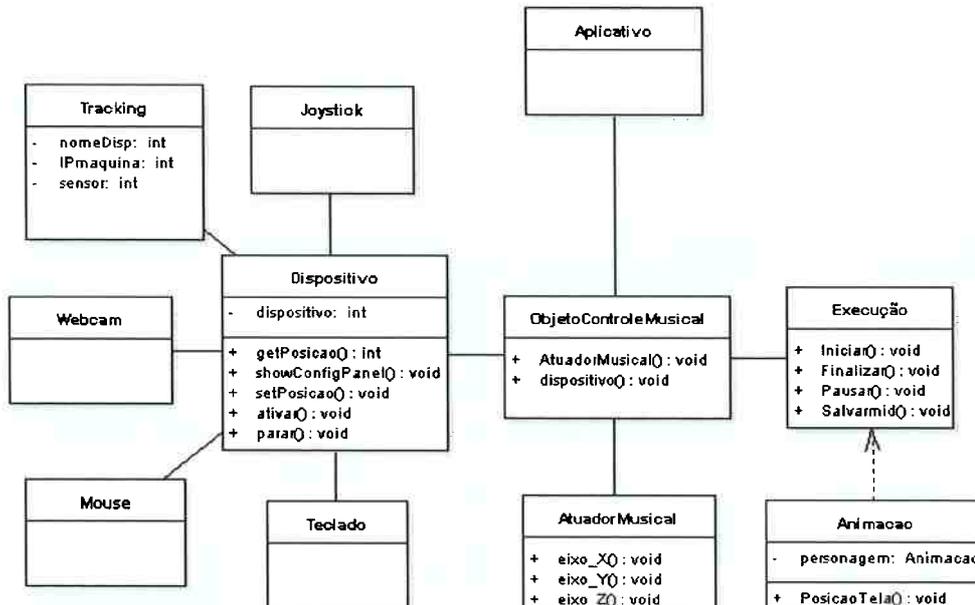


Figura 6.29: Modelo de classes de som do sistema MusandScene

A Figura 6.30 mostra a parte de controle de som do MusandScene. A classe *Melodia* contém as propriedades da melodia, ou seja, os canais que a compõe. Uma melodia é composta por vários canais. Um canal MIDI é composto por um conjunto de notas e um instrumento. As propriedades de um canal MIDI estão melhor descritas no Capítulo 7.

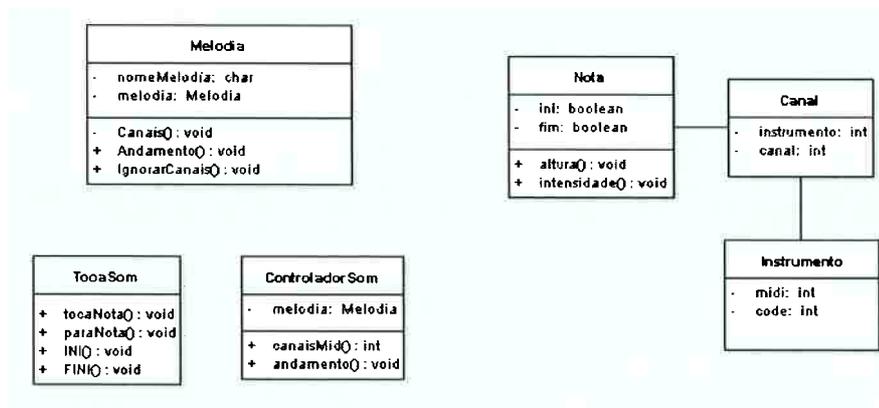


Figura 6.30: Modelo de classes do sistema MusandScene

6.7 Conclusões

Este Capítulo apresentou o desenvolvimento do sistema MusandScene sob o paradigma da orientação a objetos, através da Linguagem de Modelamento Unificada (UML). Nesta modelagem encontram-se os casos de uso do sistema, a descrição dos cenários, os diagramas de atividades e os diagramas de classes do sistema.

7 Implementação

O sistema MusandScene foi implementado utilizando a linguagem Java com o pacote Java Sound para reprodução de áudio. O sistema é capaz de capturar a dinâmica do corpo, interpretá-los e transformá-los em arquivos de áudio, além de salvar e reproduzir sons com o API do Java Sound. Este capítulo descreve os detalhes da implementação do MusandScene.

7.1 Infraestrutura Disponível

7.1.1 Sistemas de Rastreamento Eletromagnético

O Grupo de Realidade Virtual do LSI vem desenvolvendo sistemas para interação e rastreamento da cabeça permitindo ao usuário melhorar ou substituir seus sentidos, de acordo com seus movimentos. Para esta interação, o usuário utiliza um Ambiente de Visualização Imersivo, no caso Caverna Digital, Soares et al. (2001), que conta com um sistema de projeção cúbica de cinco telas. Os rastreadores mais utilizados para esse fim são os eletromagnéticos, os quais devem ser calibrados para que suas medidas sejam confiáveis. Nesse tipo de rastreamento, um emissor produz campos eletromagnéticos bem definidos e sensores são capazes de determinar a sua posição e orientação relativa ao emissor a partir do campo medido localmente, Gomes e Soares (2004).

Um rastreador eletromagnético tipo “*Flock of Birds*” (FOB) é capaz de informar não apenas a posição de seus sensores, mas também a sua orientação. Pode-se afirmar que este dispositivo possui seis graus de liberdade (6D): três de posição (x,y,z) e três de orientação (azimute, elevação, rolagem). Três sensores estão ligados ao FOB, sendo um deles um mouse, com três botões. Normalmente,

um dos sensores simples fica próximo aos olhos, para rastreá-los e permitir a correta geração das imagens, enquanto que o mouse, também chamado de varinha (*wand*), fica responsável pela interação com o mundo virtual, Gomes e Soares (2004). A Figura 7.1 mostra a utilização do FOB na Caverna Digital.

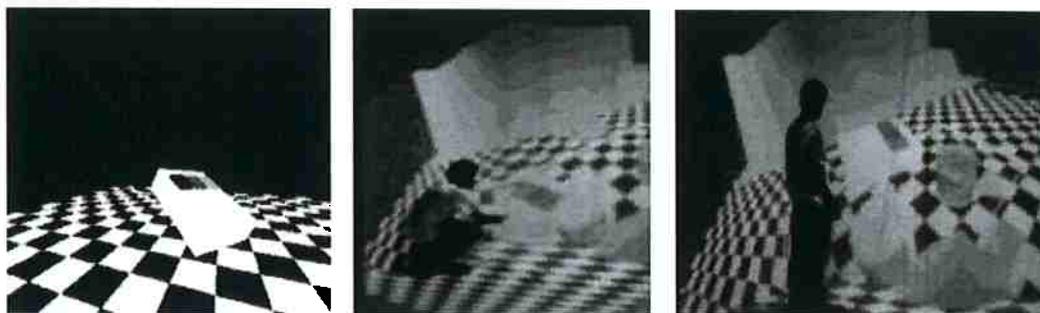


Figura 7.1: Sistema de rastreamento eletromagnético da Caverna Digital
Gomes e Soares (2004)

Um aplicativo de gerenciamento centralizado, denominado Sirius Soares et al. (2002), controla todos os aspectos do funcionamento da Caverna, incluindo o rastreamento. A integração do Sirius com o FOB, para que houvesse a calibração do rastreador, se deu através da criação de uma biblioteca denominada *libfob*. Esta biblioteca foi criada a partir de outras já existentes, com novas funcionalidades sendo adicionadas, como o suporte aos botões do mouse 6D, inexistente em implementações anteriores, Gomes e Soares (2004).

Segundo Gomes e Soares (2004), “A técnica de calibração permite uma interpolação contínua em todo o espaço rastreado. As funções de correção dos dados foram implementadas como um módulo da biblioteca criada, de maneira a permitir que futuramente novos algoritmos de calibração possam ser adicionados, ou removidos”.

Para o controle direto do rastreador, um programa daemon foi criado, e a integração com o Sirius foi feita de modo a manter o controle do sistema centralizado neste aplicativo. Assim, todos os comandos de rastreamento devem ser enviados ao Sirius, que repassará o comando ao daemon se necessário. Já os dados posicionais são enviados diretamente do daemon para o aplicativo sendo executado na Caverna, para evitar tráfego desnecessário na rede. Todas as mensagens trocadas, desde os comandos até os dados posicionais, são representadas em XML (do inglês *eXtensible Markup Language*), que é um protocolo simples e

eficiente, o que permite que qualquer tipo de plataforma e computador seja capaz de interpretá-lo, Gomes e Soares (2004).

7.2 Interface do MusandScene

A Figura 7.2 mostra a tela de entrada do MusandScene.

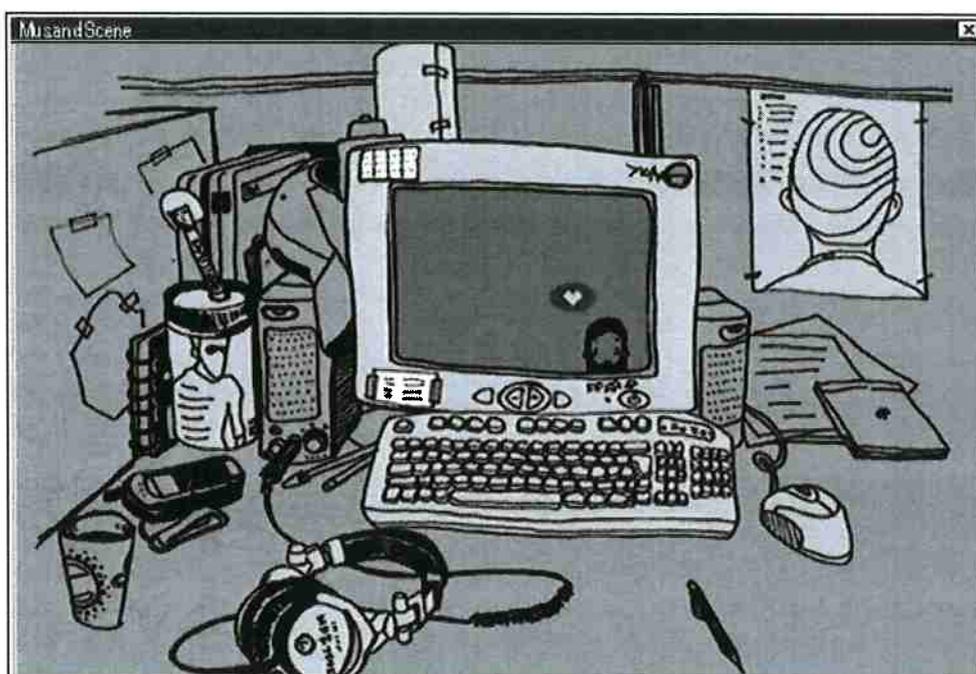


Figura 7.2: Tela de entrada do MusandScene

7.2.1 Melodia

A interface principal do MusandScene, ilustrada na Figura 7.3, representa o ambiente de melodias que serve de base para a execução da apresentação. Este ambiente possui uma “Biblioteca de Melodias”, contendo diversas melodias com estilos musicais diversificados. O professor deve optar por uma melodia, clicando com o mouse em uma das melodias desta biblioteca. O professor pode apreciar a melodia, clicando no botão *Play*, caso o andamento desta melodia não esteja de acordo com o desejado pelo professor, pode-se ajustar esta melodia tornando a execução da apresentação mais lenta ou mais rápida, de acordo o desejado.

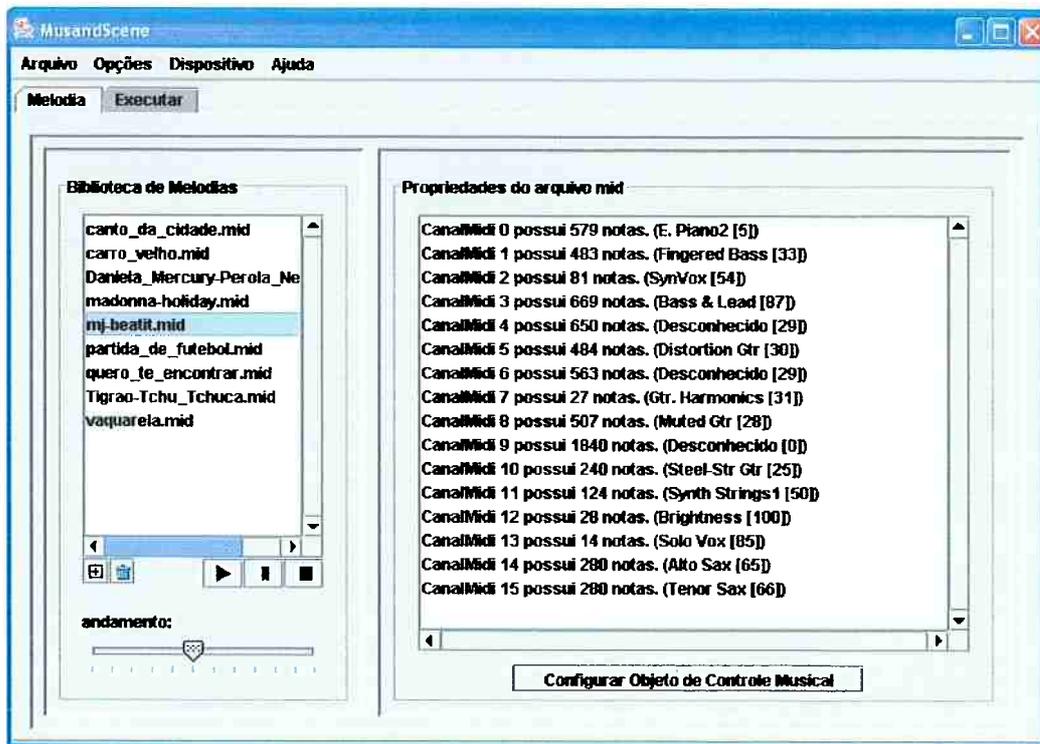


Figura 7.3: Biblioteca de melodias do MusandScene

Um melodia é um arquivo de áudio do tipo MIDI composto por vários canais (Seção 1.2.2). Cada MIDI pode possuir até dezesseis (16) canais. Cada canal MIDI possui um conjunto de notas e um instrumento. Portanto um MIDI pode possuir um conjunto de canais com notas e instrumentos diferentes. A Figura 7.3 mostra os canais do arquivo “mj-beatit.mid” selecionado na “Biblioteca de Melodias”. Nota-se que o CanalMIDI1 deste arquivo possui 483 notas tocadas pelo instrumento “*Fingered Bass*”. o número 33 representa o código deste som no pacote Java Sound, onde variam em até 127 tipos de sons.

7.2.2 Objeto de Controle Musical

Objeto de controle musical é um ponto de referência em um espaço 3D. A Figura 7.4 (A) ilustra um espaço 3D cuja origem é o vértice $v=(0,0,0)$.

Para cada eixo (x, y, z) do objeto de controle musical, pode-se associar um dos efeitos sonoros: intensidade, altura ou novo timbre. Desta forma, ao mover o objeto de controle musical sob um determinado eixo ele estará se afastando do seu

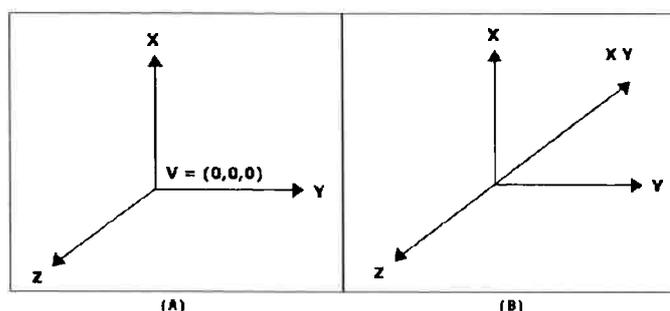


Figura 7.4: Espaço 3D

ponto de origem em relação a este eixo executando o efeito sonoro referente a ele. Caso o movimento executado seja uma resultante entre dois eixos, como ilustrado no exemplo (B), então ocorrerá a execução dos efeitos sonoros associados aos dois eixos desta resultante. A estrutura de um objeto de controle musical pode ser observado na Figura 7.5.

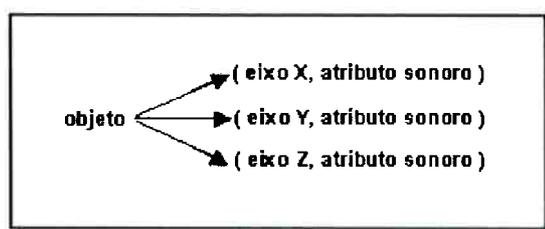


Figura 7.5: Objeto de controle musical

O professor determina a quantidade de eixos que um objeto de controle musical deve possuir, desta forma estes objetos se diferenciam entre si por apresentarem características simples ou compostas. Objetos de controle musical simples significam que possuem apenas um efeito sonoro em algum eixo configurado para isto, enquanto que os objetos de controle musical composto possuem pelo menos dois efeitos sonoros, um para cada eixo.

A Figura 7.6 mostra a janela de configurações dos objetos de controle musical que possuem, em sua interface, três eixos cartesianos e estes recebem como parâmetro apenas um dos efeitos sonoros. O professor determina qual(is) eixo(s) deseja trabalhar com o aluno, atribuindo a este(s) um efeito sonoro.

Deve-se explicitar em qual canal MIDI, da melodia anteriormente escolhida, a intensidade ou altura deverão atuar. No caso de adicionar um novo timbre,

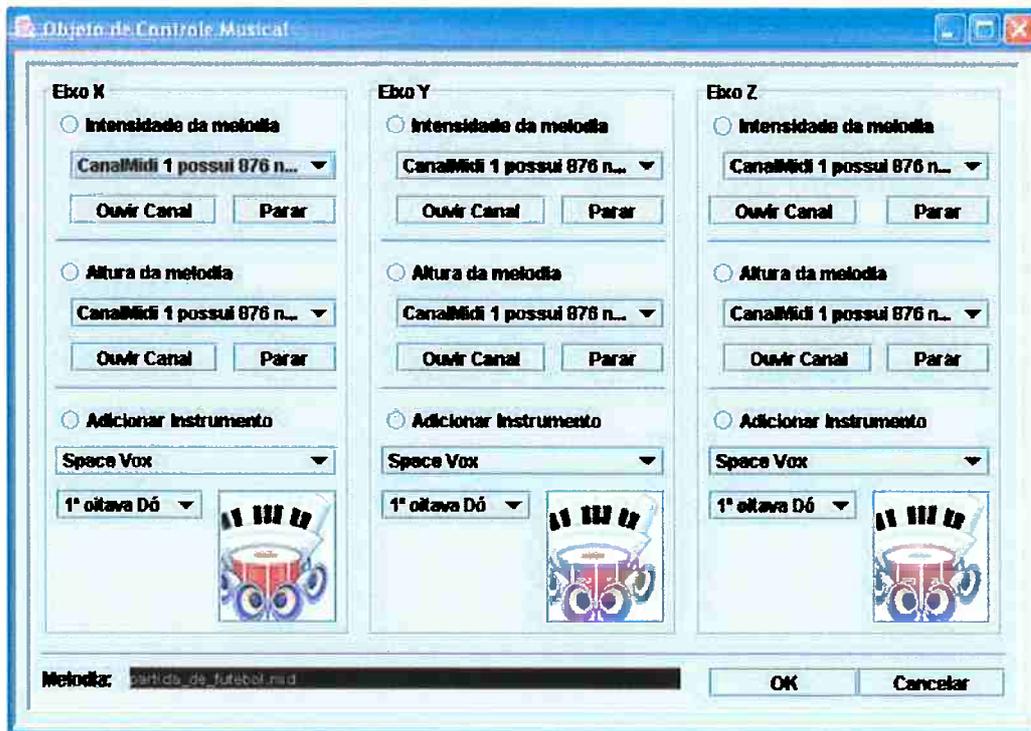


Figura 7.6: Ambiente de configuração do objeto de controle musical

deve-se escolher o instrumento e a nota em que deverá ser tocada.

7.2.3 Dispositivos

Os dispositivos de captura de movimento utilizados no MusandScene são os dispositivos óticos ou de rastreamento eletromagnético. O dispositivo ótico constitui em um processo de amostragem, onde a posição e a orientação de marcadores posicionados no corpo do usuário são captadas por uma câmera de vídeo e enviadas a um computador para análise e parametrização. Posteriormente são interpretadas e inseridas em um sistema de criação musical. O dispositivo de rastreamento eletromagnético são caracterizados por sensores de rastreamento de posição que realizam o mapeamento dos movimentos em uma posição 3D (x, y, z) no espaço.

A Figura 7.7 ilustra as configurações de um dos dispositivos de captura de movimento. A escolha por este dispositivo se deve ao fato de já existirem sistemas relacionados à captura de movimentos desenvolvidos pela equipe do LSI. Foi utilizado parte da implementação de tais sistemas para viabilizar a concepção do

MusandScene. Dentre eles, o dispositivo “*Flock of Birds*” (FOB) apresentado no Capítulo 4. Este dispositivo é capaz de informar a orientação de um objeto de controle musical em uma posição 3D no espaço.

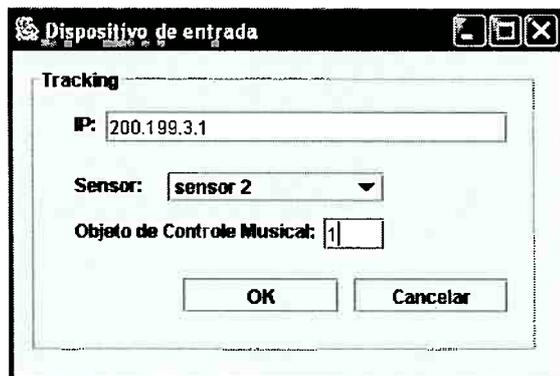


Figura 7.7: Ambiente de configurações do dispositivo de rastreamento

7.2.4 Executar Apresentação

Foi implementado um ambiente gráfico para visualização dos movimentos do objeto de controle musical no espaço 3D. Trata-se de uma esfera desenhada em uma tela plana, para simular os movimentos em torno dos três eixos de um espaço 3D, desta forma, pode-se observar a esfera percorrendo os eixos x e y, transcorrendo nas direções horizontais e verticais respectivamente. Caso exista o eixo z, a esfera tende a diminuir ou aumentar de tamanho, simulando movimentos para frente ou para trás.

Pretende-se estender o projeto para que o sistema possa simular os movimentos do aluno em um ator virtual. Desta forma, o aluno poderá visualizar sua apresentação acompanhado por um personagem tridimensional que possivelmente estará situado em uma tela de projeção à sua frente. Enquanto esta concepção não se viabiliza, neste trabalho de mestrado foi construído um ambiente com alguns personagens em 2D. Estes personagens são figuras, em formato gif, que compõe o corpo do boneco. Ao mover a esfera no plano, pode-se observar que os braços e as pernas do personagem se movem. Estes movimentos correspondem a posição da esfera no plano, caso esta posição seja positiva, o braço ou a perna se desloca para cima, e no caso da esfera estar em uma posição negativa, o braço ou a perna se desloca para baixo.

A Figura 7.8 mostra o ambiente gráfico da guia “Executar”, nele o professor poderá gravar a apresentação do aluno em arquivo MIDI. Assim, os alunos podem compartilhar suas criações musicais com outros alunos e especialistas em música do mundo inteiro. Os arquivos MIDI permitem aos usuários trabalhar com arquivos grandes de música digitalizada, que não exigem muita memória.

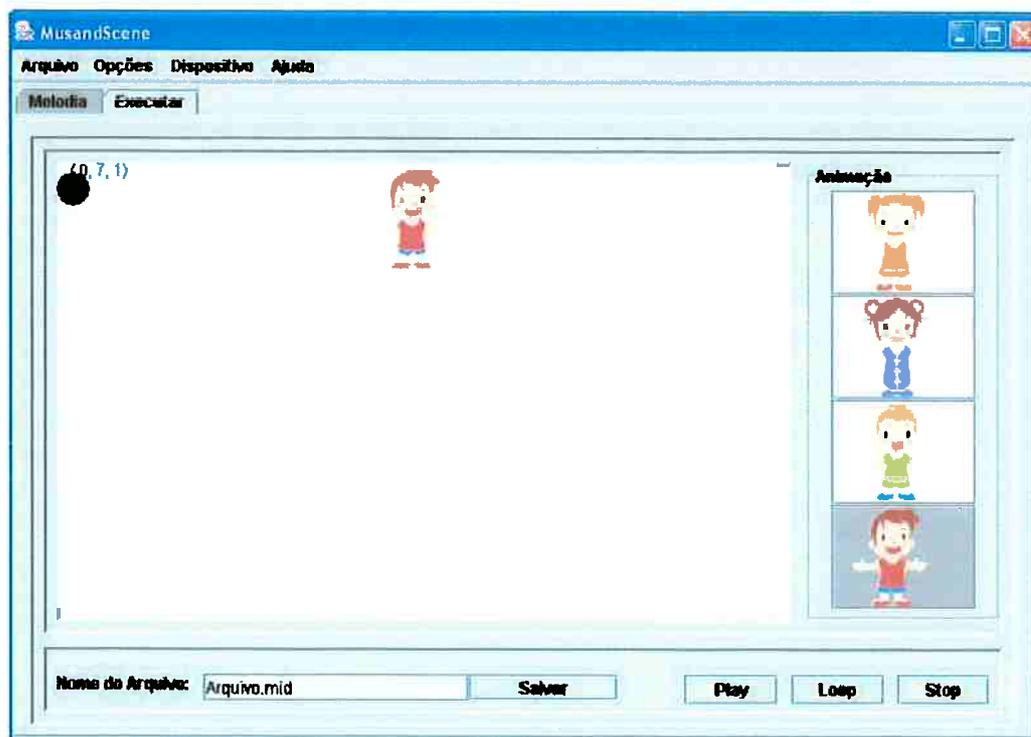


Figura 7.8: Ambiente gráfico do MusandScene

Após feitas todas as configurações dos passos anteriores, o aluno se posicionará na origem de um espaço 3D delimitado pelo sistema, onde através da manipulação dos objetos de controle musical executará sua apresentação.

Os objetos de controle musical poderão ser manipulados através de dispositivos de captura de movimentos como os dispositivos de rastreamento eletromagnético ou dispositivo ótico. Neste caso os objetos de controle musical representarão marcadores pelo corpo do usuário. A Figura 7.9 mostra o cenário do MusandScene.

Neste momento, o professor deverá orientar o aluno tanto na utilização dos dispositivos para manipulação dos objetos de controle musical, quanto nas formas

e possibilidades de se criar uma música através dos movimentos corporais.

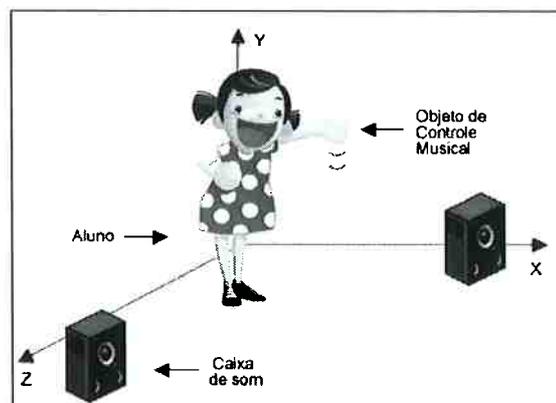


Figura 7.9: Cenário de criação musical do MusandScene

7.3 Ambiente e Linguagem de Desenvolvimento

7.3.1 Linguagem Java

Java é uma linguagem de programação orientada a objetos desenvolvida pela Sun Microsystems. A linguagem Java foi projetada para ser pequena, simples e portátil a todas as plataformas e sistemas operacionais. Esta portabilidade é obtida pelo fato da linguagem ser interpretada, ou seja, o compilador gera um código independente de máquina chamado *byte-code*. No momento da execução este *byte-code* é interpretado por uma Máquina Virtual instalado na máquina. Para portar Java para uma arquitetura específica, basta instalar a Máquina Virtual do Java (*Java Virtual Machine* ou *JVM*).

JVM é um mecanismo que permite executar código em Java em qualquer plataforma e pode ser entendida como uma máquina imaginária implementada via *software* ou *hardware* que executa instruções vindas de *byte-code*.

Byte-code é uma espécie de codificação que traduz tudo o que foi escrito no programa para um formato que a JVM entenda e seja capaz de executar. Assim, um programa em Java no Sistema Operacional Linux, será capaz de rodar no Sistema Operacional Windows ou em qualquer outro sistema operacional que tenha JVM. Isso ocorre porque não existe *byte-code* diferentes, isto é, os *byte-code* dos programas em Java compilados no Sistema Operacional Windows são

constituídos da mesma forma que *byte-code* gerados se a compilação fosse feita em um Sistema Operacional Mac OS, por exemplo. De certo que, podem haver algumas diferenças, que dependem da implementação da JVM e do compilador, Deitel e Deitel (2003).

Quando um código em Java é compilado, um arquivo com a extensão `.class` é gerado. Esse tipo de arquivo é o *byte-code*. Por exemplo, se um programa `Exemplo.java` for compilado, um arquivo chamado `exemplo.class` deverá ser executado. A Figura 7.10 ilustra esse processo.

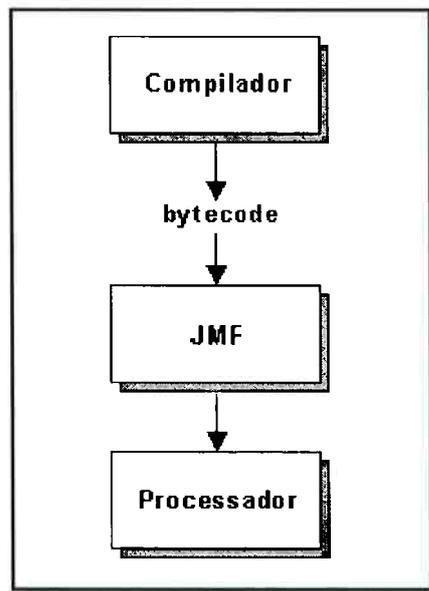


Figura 7.10: Processo de compilação de um arquivo java

7.3.2 API do Java Sound

A API Java Sound é uma maneira de incorporar mídia de áudio em aplicativos para reproduzir sons em resposta às interações do usuário.

A API Java Sound vem junto com o “*Java 2 Software Development Kit ou J2SDK*”. A API consiste em quatro pacotes, Deitel e Deitel (2003):

- `javax.sound.midi;`
- `javax.sound.midi.spi;`

- `javax.sound.sampled`;
- `javax.sound.sampled.spi`.

Os pacotes `javax.sound.midi` e `javax.sound.sampled` fornecem classes e interfaces para acessar, manipular e reproduzir MIDI.

A API Java Sound fornece acesso à “*Java Sound Engine*” (JSE), que cria áudio digitalizado e captura mídia a partir dos dispositivos de som. O Java Sound exige uma placa de som para reproduzir áudio. As placas de som equipam computadores para que eles possam tocar sons e músicas e são capazes de reproduzir arquivos MIDI. A maioria dos computadores atuais já vem com um processador de som embutido *on-board*. Um programa que usa Java Sound irá disparar uma exceção se ele acessar recursos de áudio do sistema em um computador que não tem uma placa de som, Deitel e Deitel (2003).

7.3.3 Musical Instrument Digital Interface

A *Musical Instrument Digital Interface* (MIDI) é o formato-padrão para a música eletrônica. Pode-se criar música MIDI através de um instrumento digital, como um teclado eletrônico, ou através de *software*. A interface MIDI permite criar música digital sintetizada que reproduz a verdadeira música, fornecendo aos músicos compartilharem suas criações musicais, Deitel e Deitel (2003).

Como ocorre com outros tipos de áudio, os dados MIDI têm um formato bem definido, onde os reprodutores de MIDI podem interpretar, reproduzir e usar para criar novos dados MIDI.

Os pacotes para MIDI de Java Sound permitem acessar dados MIDI. A interpretação de dados MIDI varia entre os sintetizadores, de modo que um arquivo pode soar bem diferente quando reproduzido em sintetizadores diferentes daquele no qual foram criados. Os sintetizadores suportam tipos e números de sons instrumentais que variam e quantidades diferentes de sons simultâneos. Usualmente, os sintetizadores baseados em *hardware* são capazes de produzir música sintetizada de qualidade mais alta do que os sintetizadores baseados em *software*, Deitel e Deitel (2003).

Existem vários sistemas que usam MIDI para reprodução de música, pois ele permite que os desenvolvedores divirtam os usuários com arquivos grandes de música digitalizada, que não exigem muita memória. Em comparação, arquivos de amostra de áudio podem se tornar bastante grandes. O pacote `javax.sound.midi` permite manipular, reproduzir e sintetizar MIDI. O Java Sound suporta arquivos MIDI com extensões `.mid` e `.rmf` (*Rich Music Format* ou RMF), Deitel e Deitel (2003).

7.4 Conclusões

Foram apresentados neste Capítulo os detalhes da concepção do MusandScene, ilustrando as interfaces que compõe o sistema. O MusandScene foi implementado em Java por seu uma linguagem orientada a objetos e possuir portatibilidade. Foi utilizado o pacote para MIDI de Java Sound.

8 Testes e Avaliações dos Resultados

Neste Capítulo são apresentados os testes do sistema MusandScene, baseados nas teorias educativo-musicais e tecnologias de meios eletrônicos interativos investigadas. Apresenta-se também uma avaliação dos resultados coletados.

Futuramente, pretende-se avaliar o sistema com estudantes iniciantes na aprendizagem musical. O objetivo é integrar os aspectos técnicos com especialistas nas áreas do processo do sistema, os quais irão identificar e definir as necessidades fundamentais do usuário, garantindo assim uma maior eficiência na avaliação, e dessa forma agregar valores ao sistema.

Esta futura avaliação, também terá o intuito de verificar se o sistema poderá servir como recurso auxiliar ao estudo de música, composição e desenvolvimento de técnica musical. Pretende-se observar alguns aspectos computacionais que necessitarão ser reformulados, embora sua concepção pedagógico-musical tenha sido implementada a contento.

Espera-se prover resultados importantes para a continuação do trabalho do LSI neste sistema e em outros projetos, fazendo com que os dados aqui apresentados sirvam como uma fonte de estudo para professores de música e programadores.

8.1 Avaliação de Software por Equipe Multidisciplinar

Vários autores comentam a dificuldade de se desenvolver sistemas com usabilidade quando a participação de especialistas do domínio de conhecimento tratado no sistema é necessária. Desenvolver projetos com uma equipe multidisciplinar é uma

tarefa complexa, tanto pela dificuldade do trabalho cooperativo e de coordenação dos participantes, como por problemas de comunicação entre membros da equipe devido à diferença de domínios de conhecimento de cada um (LEWIS; RIEMAN, 2002).

O experimento com o MusandScene faz parte de uma investigação conduzida por (WINCKLER; NEMETZ; LIMA, 1998), com a intenção de verificar se os consultores do domínio de conhecimento específico da aplicação, no caso a música, poderiam aumentar a quantidade e melhorar a qualidade através de suas sugestões ao projeto. Também busca-se verificar se existem problemas de usabilidade identificados por esses consultores, não especialistas em interfaces, e que relação tais problemas podem possuir com os problemas detectados pelos especialistas em interfaces utilizando o mesmo método.

8.2 Método

O protótipo utilizado nesse experimento foi a primeira versão do MusandScene. Esse protótipo foi desenvolvido em Java, para execução em multiplataformas. Para tanto, fez-se uso de diferentes dispositivos de captura de movimentos em diversos computadores com configurações diferentes.

O MusandScene foi testado em diversas plataformas Windows e Linux, utilizando dispositivos de captura de movimentos diferentes: um rastreador eletromagnético tipo "*Flock of Birds*" (FOB) disponível na Caverna Digital, *mouse* e teclado.

Na Caverna Digital, foram feitos testes em 1 (um) computador utilizando o dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB, além de testes com *mouse* e teclado. Outros testes foram realizados com mais 9 (nove) computadores, com plataformas diferentes, disponíveis no LSI, porém com os dispositivos *mouse* e teclado, visto que o dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB encontra-se na Caverna Digital.

O objetivo é determinar a viabilidade da proposta em diferentes computadores e com diferentes dispositivos de captura de movimentos, além de obter a configuração mínima necessária para a utilização da aplicação.

8.3 Testes Funcionais em Diversas Plataformas

Os testes foram conduzidos em um total de 10 (dez) computadores com plataformas diferentes, das quais as 6 (seis) mais representativas são apresentadas na Tabela 8.1, onde se detalha a configuração dos computadores e a viabilidade da utilização da aplicação nos mesmos.

Tabela 8.1: Testes em diversas plataformas do MusandScene

Plataforma	Dispositivo	Viabilidade de utilização do MusandScene
K6II, 196 MBytes RAM, Windows 98,	<i>Mouse</i> e Teclado	Desempenho ruim, a interação torna-se muito lenta não sendo possível interagir com o sistema. Qualidade do som ruim.
Pentium II, 166 MHz, 260 MBytes RAM, Windows 2000,	<i>Mouse</i> e Teclado	Desempenho ruim, a interação torna-se muito lenta não sendo possível interagir com o sistema. Qualidade do som ruim.
Pentium IV, 1.60 GHz, 320 MBytes RAM, Windows XP, placa de som <i>on-board</i>	<i>Mouse</i> e Teclado	Desempenho regular, a interação torna-se muito lenta após alguns minutos de interação. Qualidade do som boa.
Pentium IV, 2.60 GHz, 496 MBytes RAM, Windows XP, placa de som <i>on-board</i>	<i>Mouse</i> e Teclado	Desempenho regular, a interação torna-se muito lenta após alguns minutos de interação. Qualidade do som boa.
Pentium III, 600 MHz, 256 MBytes RAM, placa de som <i>on-board</i> , Ubuntu Linux hoary release, Kernel 2.6.10	<i>Mouse</i> e Teclado	Desempenho regular, a interação torna-se muito lenta após alguns minutos de interação. Qualidade do som boa.
Pentium III, 600 MHz, 256 MBytes RAM, placa de som <i>on-board</i> , Ubuntu Linux hoary release, Kernel 2.6.10	Dispositivo FOB	Desempenho bom, pode-se intragir com o sistema até o final do teste. Qualidade do som boa.

A execução do MusandScene requer a instalação da Máquina Virtual do Java

(JVM) que pode ser descarregada do site da Sun Microsystems. Para tanto basta instalar o Ambiente de Execução do Java (JRE ou *Java Runtime Environment*) na versão 1.4 ou mais recente. O arquivo de instalação do JRE requer cerca de 5 MBytes de espaço em disco. Após a instalação, o JRE ocupa 40 MBytes de espaço em disco. O MusandScene, por sua vez, requer 1,50 MBytes de espaço em disco.

8.3.1 Resultados dos Teste

Para a execução da aplicação, foi utilizado um computador Pentium III, 600 MHz com 256 MBytes RAM, com Plataforma Ubuntu Linux hoary release, Kernel 2.6.10 com placa de som *on-board* como especificado na Tabela 8.1. A Figura 8.1 mostra o ambiente de configuração do MusandScene sendo explorado neste computador na Caverna Digital.

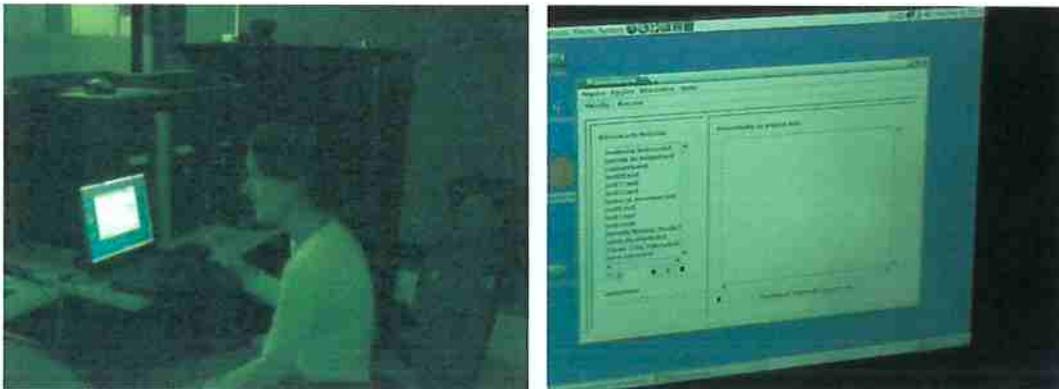


Figura 8.1: Configurando o MusandScene na Caverna Digital

Para ter acesso ao dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB, foi necessário estabelecer uma conexão com o servidor onde estava rodando a aplicação que ativa o dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB. Desta forma os movimentos capturados por este dispositivo eram enviados ao MusandScene para análise, processamento e resposta aos comandos.

Os testes com o dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB realizados na Caverna Digital apresentaram melhor desempenho do sistema quanto ao tempo de aquisição de informações. Foi constatado que o sistema responde com maior velocidade aos comandos emitidos pelo dispositivo de rastreamento eletro-

magnético FOB. A Figura 8.2 mostra os testes realizados com este dispositivo.

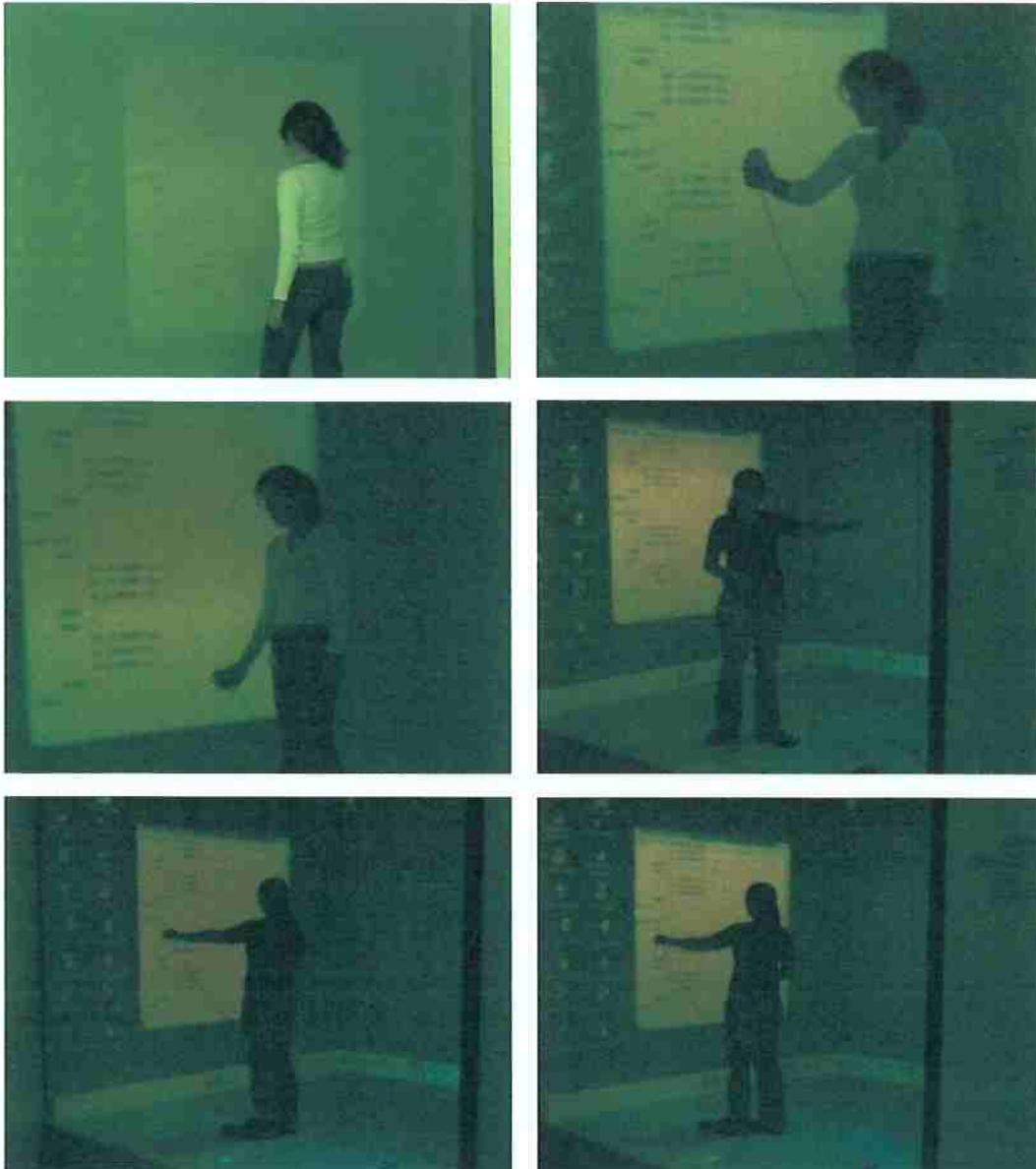


Figura 8.2: Testes com dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB na Caverna Digital

Foi utilizada uma das telas da Caverna Digital para mostrar os valores x , y e z do sensor, observou-se que isto facilitou a movimentação deste sensor dentro da caverna, pois com a orientação do mesmo, sabia-se o ponto de origem do sistema.

Verificou-se que ainda existem acertos a serem realizados para viabilizar a execução da aplicação, como por exemplo, otimizar o tempo de resposta aos

comandos vindos dos dispositivos de captura de movimentos.

8.3.2 Configuração Mínima

Os testes acima descritos permitiram a definição da configuração mínima de *hardware* necessária para a utilização do MusandScene. Esta configuração é detalhada na Tabela 8.2.

Tabela 8.2: Configuração mínima do MusandScene

Plataforma	Dispositivo de captura de movimentos
Pentium III, 600 MHz, 256 MBytes RAM, Linux Gnome 2.8, Windows XP ou superior, placa de son <i>on-board</i>	Verificou-se que o dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB da Caverna Digital é o mais eficiente para a interação com o sistema

Enquanto a configuração mínima relacionada a aplicativos básicos, o usuário deverá ter instalado o JRE versão 1.4 ou superior, disponível gratuitamente no site da Sun Microsystems, bem como o sistema operacional exigido pelo JRE.

8.4 Sugestões de Avaliações Futuras

Para a condução de sua investigação, Winckler, Nemetz e Lima (1998) propuseram três testes, cujos resultados foram comparados aos problemas encontrados originalmente pela equipe de projetistas e especialistas sem o uso de técnicas de usabilidade:

- Teste com usuários, na forma de ensaios de interação;
- Avaliação com especialistas em interfaces;
- Avaliação com especialistas em música.

Nos ensaios de interação pretende-se contar voluntariamente com alunos iniciantes em música considerados representativos do público-alvo desta aplicação.

O teste deverá ser conduzido na Caverna Digital da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, visto que nesta encontra-se o dispositivo para captura dos movimentos Gomes e Soares (2004).

Os usuários deveram completar uma lista de tarefas com o sistema e, no final do teste, comentar suas impressões sobre a interface. Pretende-se contar com especialistas em Interação Humano-Computador (IHC), já familiarizados com a técnica.

Pretende-se contar com especialistas em música treinados previamente nessa técnica de avaliação. Após as sessões os problemas encontrados deverão ser classificados pelos avaliadores de acordo com as heurísticas de usabilidade que violaram.

Os problemas devem ser classificados por todos os avaliadores em uma escala de severidade especial, pois leva em consideração a influência sobre a realização das tarefas ilustradas na Tabela 8.3.

Tabela 8.3: Escala de severidade de problemas de usabilidade

Severidade	Descrição
1	Problema cosmético, pouca importância para a execução da tarefa.
2	Afeta levemente a execução da tarefa.
3	Causa confusão ao usuário e atrapalha sensivelmente a execução da tarefa.
4	O usuário fica muito confuso ou completa a tarefa com muita dificuldade.
5	O usuário não consegue completar ou desiste da tarefa por causa do problema.

8.5 Conclusões

Foram apresentados os testes realizados com o MusandScene em plataformas diferentes e utilizando diferentes dispositivos de captura de movimentos. Observou-se que o sistema requer uma configuração mínima para a execução da aplicação. Verificou-se que o dispositivo de rastreamento eletromagnético FOB da Caverna

digital apresentou melhor desempenho quanto à interação com o MusandScene na Caverna Digital. Através deste dispositivo foi possível interagir com o sistema até o final do teste sem constatar problemas de aquisição de informações no decorrer do tempo. Foi também apresentado um roteiro para avaliações que serão realizadas futuramente com especialistas em Interação Humano-Computador (IHC) e especialistas em música para testar a viabilidade do sistema.

9 Conclusões e Trabalhos Futuros

9.1 Conclusões Gerais

Não há como pensar em educação sem considerar a influência que as inovações tecnológicas exercem sobre o processo de aprendizagem. Mesmo que a tecnologia não esteja fisicamente implantada na escola, seu reflexo interfere no ambiente escolar e nas relações de troca de conhecimento. É no sentido de tirar proveito do universo de recursos disponíveis que o sistema MusandScene foi criado. Para tanto, este trabalho apresentou a concepção de um sistema de criação musical gestual apoiada por meios eletrônicos interativos fundamentado em recentes pesquisas nas áreas de aprendizagem apoiada por computador.

A implementação e testes com o Sistema MusandScene, permitiu o domínio das tecnologias envolvidas e a avaliação positiva do potencial de um sistema voltado ao apoio do desenvolvimento musical de crianças e adolescentes em atividades de composição musical através do manuseio de tecnologias interativas em ambientes educacionais.

9.2 Contribuições

Nesta seção são apresentadas as contribuições científicas e tecnológicas deste trabalho. Os artigos, apresentados a seguir, foram publicados em simpósios e conferências relacionados com o tema deste trabalho desenvolvido dentro do programa de mestrado.

O primeiro trabalho publicado foi no Simpósio Brasileiro de Informática na

Educação (SBIE) em Manaus - AM, em Novembro de 2004. O tema proposto foi “*Sistema Interativo de Aprendizagem: Compondo Música através de Movimentos Corporais*”. O trabalho foi bem aceito pelos expectadores, várias pessoas se interessaram pelo tema, onde fizeram observações de que a proposta apresentava um potencial diferenciador em relação aos outros trabalhos relacionados à música neste evento. Surgiram dúvidas quanto as configurações necessárias para a utilização do sistema, e se os professores poderiam ter acesso ao sistema após a finalização de sua concepção.

O segundo trabalho “*A Criatividade através da Expressão Musical: Uma Interface Gestual para Composição Musical Interativa*” foi publicado em uma revista no IV Ciclo de Palestras Inovações em Tecnologia na Educação: Processos e Produtos - CINTED: Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação. O trabalho foi aceito em Porto Alegre - RS, em Novembro de 2004.

Os trabalhos publicados revelam que o sistema MusandScene alcançou seus objetivos ao demonstrar uma forma como a tecnologia pode enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, ressaltando a importância que as relações pessoais entre professor e aluno desempenham no processo educativo.

9.3 Trabalhos futuros

A pesquisa aqui apresentada ofereceu recursos suficientes para o desenvolvimento e testes de um sistema de criação musical gestual. A seguir são apresentados alguns trabalhos futuros que poderão ampliar as funcionalidades do sistema atual e integrá-lo com outras aplicações.

Para dar continuidade ao projeto e aprimorar o sistema, pensou-se em uma adaptação para que o sistema seja capaz reproduzir os movimentos executados pelo aluno em um ator virtual. Este ator será um personagem 3D construído para permitir a visualização da apresentação através de uma animação gráfica em tempo real. Serão necessários estudos relacionados a construção de objetos virtuais e o mapeamento dos movimentos para o sistema MusandScene. O resultado será um vídeo de animação deste ator gerado através dos dados capturados pelo sistema.

É pretendida também uma adaptação do MusandScene para que seja integrado ao sistema Editor Musical. O objetivo, é que o aluno possa compor na grade do editor através de gestos, favorecendo na diversificação dos modos de composição do Editor Musical. Desta forma, o aluno ao desenhar na grade do Editor Musical, estará criando uma melodia, explorando materiais sonoros e musicais, improvisando e vivenciando vários estilos, formas e tecnologias diferenciadas.

Espera-se também que o sistema possa ser útil auxiliando no tratamento de pessoas portadoras de necessidades especiais. Este tratamento poderá ser feito através de sessões terapêuticas, visto que os exercícios propostos pelo sistema podem favorecer no desenvolvimento da coordenação sensório-motora.

Muitas são as possibilidades de extensão do trabalho, espera-se dar continuidade após o mestrado na concepção das idéias acima apresentadas.

Referências

- ASCENCIO, A. F. *Método Heurístico para Projetar e Analisar Interfaces Hipermídia Inteligentes*. IN: VII SEMANA ACADÊMICA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO DA UFRGS. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/pos/SemanaAcademica/Semana99/anafernanda>>, acesso em: Setembro de 2004. Anais eletrônicos, 1999.
- BRITO, T. A. *Música na Educação Infantil*. São Paulo: AGWM Artes Gráficas, 2nd Ed, 2003.
- BRUCIA, K. E. *Definindo Musicoterapia*. Rio de Janeiro: Enelivros, vol.1, 2000.
- CALDWELL, J. E. T. *A Brief Introduction to Dalcroze Eurhythmics*. Disponível em <<http://www.jtimothycaldwell.net/resources/pedagogy/makingsense.htm>>, acesso em Junho de 2003, Agosto 2003.
- CANTARELLI, E. M. P. *Software Educacional*. Disponível em: <www.fw.uri.br/elisa/sofedu.html>, acesso em Fevereiro de 2004, 2004.
- CUNHA, G.; MARTINS, M. C. *Tecnologia, Produção e Educação Musical - Descompasso e Desafios*. IN: IV CONGRESSO RIBIE. Anais. Brasília, 1998, Outubro 1998.
- DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. *Java Como Programar*. Porto Alegre: Artmed Editora, 3rd Ed, 2003.
- ELLMERICH, L. *História da Música*. São paulo: Fermata do Brasil, 5nt Ed, 1977.
- FASTRACK. Disponível em: <<http://www.polhemus.com/fastrak.htm>>, acesso em Janeiro de 2005, 2005.
- FICHEMAN, I. K.; LOPES, R. D.; KRUGER, S. E. *A Virtual Collaborative Learning Environment*. IN: I SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA. Anais, Julho 2002.
- FIGUEIREDO, A. M.; MOTA, A. R. *O som*. Disponível em: <<http://www.w3c.org/TR/1999/REC-html401-19991224/loose.dtd>> acesso em Março de 2004, 2001.
- FINDLAY, E. *Rhythm and Movement: Applications of Dalcroze Eurhythmics*. Rio de Janeiro: Summy-Birchard, vol 1, 1999.

- GERARD, D. *A Introdução à musicoterapia: a comunicação musical, seu papel e métodos em terapia e em reeducação*. São Paulo: Manole, 1987.
- GOMES, V. H. P.; SOARES, L. P. *Rastreamento Eletromagnético em um Sistema de Realidade Virtual Imersiva do Tipo CAVERNA Digital*. IN: VII SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL. Anais. São Paulo, Outubro 2004.
- GOULART, D. *Dalcroze, Orff, Suzuki e Kodály - quatro educadores musicais e suas metodologias - semelhanças, diferenças e especificidades*. Disponível em: <<http://www.dianagoulart.pro.br/dgt/artigos/dkos.htm>>, acesso em outubro de 2003, Junho 2003.
- KALAWSKY, R. *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Boston: Addison-Wesley, 1993.
- LEME, M. *O desenvolvimento musical segundo Swanwick*. Disponível em: <<http://trombeta.cafemusic.com.br/trombeta.cfm?CodigoMateria=756>> acesso em Março de 2004, 2000.
- LEWIS, C.; RIEMAN, J. *Task-Centered User Interface Design: A Practical Introduction*. Disponível em: <<ftp.cs.colorado.edu/pub/distrib/clewis/HCI-Design-Book/>>, acesso em Fevereiro de 2004, 2002.
- MELLO, B.; PINTO, P.; DUARTE, L. R. *Música e Reabilitação*. Disponível em: <<http://members.tripod.com.br/camto/trabalhos/musreab.html>>, acesso em março de 2004, Junho 2001.
- MENUHIM, Y.; DAVIS, C. *A música do homem*. Belo Horizonte: Martins Fortes, vol.1, 1990.
- MIALICHI, J.; MANZOLLI, J. *Estudo e Desenvolvimento de Interface Gestual para Composição Musical Interativa*. Projeto de Iniciação Científica - NICS - Unicamp, Março 2002.
- OLIVEIRA, N. A física da música. *Revista Eletrônica de Ciências*, n. 25, Abril 2004.
- PANSA, A.; AUGUSTO, R. L.; NETO, O. B. *Teclado Virtual*. São Paulo: Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica - EPUSP, orientadoras Profa. L. Sato e Profa. R. D. Lopes, 2004.
- PARADISO, J. *The Brain Opera Technology: New Instruments and Gestural Sensors for Musical Interaction and Performance*. *Journal of New Music Research*, Março 1998.
- PITTS, J. E. *Music in Elementary Schools*. Disponível em <http://portfolios.music.ufl.edu/jpitts/dalcroze.html>>, acesso em fevereiro 2004, Agosto 2003.

- PIVETTA, M. *Tocadores de Laptop - Novo Instituto de música e ciência pesquisa formas experimentais de compor e tocar*. São Paulo: Pesquisa Fapesp, Ed. 108, 2003.
- ROWE, R. Interactive music systems. *Computer Music Journal - The MIT Press*, Vol. 17, Março 1993.
- RUSSO, I. C. P. *Acústica e Psicoacústica aplicado à Fonaudiologia*. São paulo: Louise, 2nd Ed, 1990.
- SHNEIDERMAN, B. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. [S.l.]: Hardcover, 4rd ed, 2004.
- SILVA, F. da. *Um Sistema de Animação Baseado em Movimento Capturado*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Engenharia de sistemas e Computação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998.
- SOARES, L. P.; CABRAL, M. C.; BRESSAN, P.; ZUFFO, M. K.; LOPES, R. *Powering Multiprojection Immersive Environments with Clusters of Commodity Computers*. IN: SIACG - SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA. Anais. Portugal, Julho 2002.
- SOARES, L. P.; ZUFFO, J. A.; ZUFFO, M. K.; LOPES, R. D. *CAVERNA Digital - Sistema de Multiprojeção Estereoscópico Baseado em Aglomerados de PCs para Aplicações Imersivas em Realidade Virtual*. IN: IV SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL, Florianópolis, Outubro 2001.
- SPARACINO, F.; DAVENPORT, G.; PENTLAND, A. Media in performance: Interactive spaces for dance, theater, circus, and museum exhibits. *IBM Systems Journal*, vol.39, no.3-4, p. 479–510, Fevereiro 2000.
- SWANWICK, K. *Musical Knowledge: Intuition, Analysis and Music Education*. [S.l.]: Paperback Book, 1994.
- TEODORO, V. *Uma Análise da Usabilidade de Diferentes Interfaces para Máquinas de Busca*. Lavras: Monografia de Graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras, 2001.
- TREIN, P. *A linguagem musical*. Porto Alegre: Mercado Aberto, 11rd Ed, 1986.
- TROJE, N. F. *Cat walk and western hero - motion is expressive*. IGSN Report, p. 40–43, Janeiro 2003.
- VASCONCELOS, J. *Acústica Musical e Organologia*. São paulo: Movimento, 3rd Ed, 2002.
- WINCKLER, M. A. A.; NEMETZ, F.; LIMA, J. V. *Estudo de Caso da Aplicação do Método de Avaliação Heurística em um Projeto Multidisciplinar*. IN: IHC98 - WORKSHOP SOBRE FATORES HUMANOS EM SISTEMAS COMPUTACIONAIS. Anais, n. 1, p. 66–74, Outubro 1998.

ZUFFO, M. K. *A Convergência da Realidade Virtual e Internet Avançada em Novos Paradigmas de TV Digital Interativa*. São Paulo: Tese de Livre Docência apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.