

15/09/92

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ARTES
DEPARTAMENTO DE MULTIMEIOS

Um Micromundo Musical:

Um Ambiente de Experimentação Auxiliado por Computador

Por: Rodolfo M. Baccarelli.

Orientadores: Prof.Dr. Fernando A. C. Gomide
Prof.Dr. José A. Valente

Dissertação apresentada ao Departamento de
Multimeios como parte dos requisitos exigidos
para obtenção do título de Mestre.



1150038895



T/UNICAMP B12m

Fevereiro/1992

INSTITUTO DE ARTES
BIBLIOTECA
UNICAMP

RESUMO

O Micromundo Musical é uma proposta para um sistema de experimentação musical suportado por computadores com características voltadas para uso em atividades de aprendizagem. Os aspectos relativos ao processo de criação musical e à qualidade da interação com o aprendiz-experimentador são enfatizados na sua definição.

Objetos musicais são denotados através de uma notação gráfica de fácil apreensão e representados internamente através de uma estrutura de dados que permite a sua visualização, manipulação e re-utilização na construção de outros objetos. A sua execução é realizada por um sintetizador musical externo acoplado ao sistema através de uma interface MIDI.

ABSTRACT

This work proposes a Musical Microworld as a computer based system for music experimentation, with facilities for using in learning activities. Aspects related to the process of music design and the quality of interaction with the apprentice are emphasized.

Musical objects are easily specified using a graphic notation and are stored in an internal data structure representation that allows for their visualization, manipulation and re-utilization in constructing new objects. The musical performance is realized through a MIDI interface controller coupled to an external synthesizer.

Índice

Capítulo 1 INTRODUÇÃO	1
Capítulo 2 MÚSICA POR COMPUTADOR	5
Capítulo 3 OBJETIVOS E METODOLOGIA DA PESQUISA	7
3.1 Objetivo	7
3.2 Metodologia da pesquisa	8
3.2.1 Estudos preliminares	8
3.2.2 Caracterização do sistema	9
3.2.3 Implementação do núcleo do protótipo	9
Capítulo 4 ESTUDOS PRELIMINARES	11
4.1 Oficina de LOGO-Música	11
4.2 Atividades de elicitación de conhecimento	14
4.3 Relatório de avaliação de ferramentas comerciais	16
Capítulo 5 AMBIENTES DE EXPERIMENTAÇÃO MUSICAL	17
5.1 Aspectos musicais	17
5.1.1 Criação musical	17
5.1.2 Objetos de um AEM	21
5.1.3 Operações de um AEM	22
5.1.4 Objetos e operações pré-definidos	24
5.1.5 Notação de objetos musicais	25
5.1.6 Visualização	27
5.1.7 Forma de interação com um AEM	27
5.2 Resumo	29
Capítulo 6 ESPECIFICAÇÃO DO MICROMUNDO MUSICAL	31
6.1 Introdução	31
6.2 Requisitos gerais	31
6.3 Representação interna de objetos musicais	33
6.3.1 Eventos musicais	34
6.4 Construção e manipulação de objetos musicais	37

6.5 Descrição funcional	39
6.5.1 SUPERVISOR	41
6.5.2 ÁREA COMUM	43
6.5.3 ASSISTENTE	44
6.5.4 ARQUIVISTA	46
6.5.5 DESIGNER	47
6.5.6 NOTATOR	49
6.5.7 CONDUCTOR	50
6.5.8 INTERFACE MM	51
6.5.9 INTERFACE H-C	51
Capítulo 7 CONCLUSÕES	53
Bibliografia	55

Figuras

Figura 5.1: Processo típico de composição musical	19
Figura 5.2: Exemplos de notações para representar objetos musicais.	26
Figura 6.1: Ciclo de experimentação usando AEM	32
Figura 6.2: Estrutura de representação interna do MM	35
Figura 6.3: Estrutura musical de partitura	36
Figura 6.4: Arquitetura funcional do MM	39
Figura 6.5: Fluxo de controle e de dados no MM	41
Figura 6.6: Ciclo de operação do SUPERVISOR	42

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Computadores vem sendo utilizados para pesquisa em Música há cerca de 30 anos. *A Illiac Suite*, considerada a primeira composição musical realizada em computador, por Lejaren Hiller, foi feita em 1957¹, mesmo ano em que foi desenvolvida a primeira linguagem de programação para uso em pesquisa musical, *Music I*, criada por Mathews nos Laboratórios Bell (EUA)². Na época a motivação para o uso dos computadores estava no estudo das representações digitais de formas de onda sonoras, baseada em amostragens, cuja teoria tinha sido elaborada por Nyquist e outros nas décadas de 1930 e 1940³.

Com o surgimento dos computadores digitais, foi aberta uma nova perspectiva para a pesquisa em Música tornando possível a análise e processamento ou mesmo a “construção” de sons impossíveis de serem produzidos pelos instrumentos musicais conhecidos. Desde então a Síntese e Processamento de Sinais Digitais, como passou a ser conhecida, tem sido a principal aplicação de computadores em Música, a ponto de ser considerada sinônimo de Música por Computador (*Computer Music*).

Outras aplicações atuais de computadores em Música incluem:

- Notação musical
- Captura e reprodução de material sônico
- Instrução musical
- Composição automática
- Simulação e controle de instrumentos musicais
- Sistemas de acompanhamento
- Sistemas interativos de composição
- Sistemas interativos de execução

1. Loy, G. 1991. *Composing with Computers – a Survey*. in Current Directions of Computer Music Research.

2. Roads, C. 1989. *An Interview with Max Mathews*. The Music Machine.

3. Loy and Abbott. 1985. *Programming Languages for Computer Music*.

No entanto, dentre todas essas áreas de aplicação, a síntese e processamento de sinais digitais foi aquela em que a Música e a Ciência da Computação se encontraram de forma mais natural e mais intimamente⁴. Pelo fato de requerer poder computacional sempre no limite do estado-da-arte, essa área desafiava (e ainda desafia) os projetistas de *hardware* e *software* computacional.

Temas de pesquisa de interesse comum que subsistem até hoje incluem: projeto de algoritmos de síntese, interfaces homem-máquina e notações musicais gráficas, arquiteturas de hardware especializadas, sistemas para aplicações em tempo-real.

Em meados dos anos 80, a ênfase deixou de ser o desenvolvimento técnico (de novas ferramentas computacionais) para ser a produção musical utilizando as ferramentas existentes. Contribuiu para isso a comercialização de instrumentos musicais eletrônicos a preços acessíveis e dos CDs (Compact Disk), toca-discos baseados em tecnologia *laser*; o som digital torna-se popular.⁵

Atualmente estão disponíveis comercialmente, e a um custo relativamente baixo, tanto os computadores pessoais (cujo desempenho é comparável aos *mainframes* de duas décadas atrás), como também os sintetizadores de som usando tecnologia digital, que há duas décadas existiam quase que exclusivamente em laboratórios de pesquisa.

E, o que é mais interessante, usando um protocolo de comunicação comum esses equipamentos podem ser interligados e estabelecer uma simbiose há pouco inimaginável, permitindo realizar todas as etapas da produção comercial de uma obra. Laboratórios de processamento de som contando com equipamentos de qualidade profissional, antes disponíveis somente em estúdios de empresas de gravação podem atualmente ser montados a custos acessíveis por profissionais independentes.

Isto não significa, entretanto, que os desafios da utilização de computadores em Música estejam superados. Como veremos nos próximos capítulos, ainda existem vários problemas em aberto, seja pela inadequação dos sistemas computacionais, seja pela insuficiência de conhecimentos (teóricos e práticos) da aplicação ou ainda, o que é mais provável, pela própria complexidade intrínseca dos artefatos musicais.

Organização

O Capítulo 2 apresenta um *survey* dos sistemas de apoio ao compositor existentes na literatura especializada, com ênfase nos aspectos de representação de conhecimento musical, interface Homem-Máquina, *hardware* de suporte, notações utilizadas e o objetivo de uso dos sistemas. A

4. Abbott, C.1985. *Guest Editor's Introduction*. ACM Computing Surveys.

5. Abbott, C.1985. *Guest Editor's Introduction*. ACM Computing Surveys.

partir desse levantamento são tecidas considerações sobre os aspectos educacionais e computacionais que motivam o presente trabalho.

O Capítulo 3 apresenta o objetivo geral da pesquisa e a metodologia utilizada. Os resultados dos estudos preliminares estão relatados no Capítulo 4.

A partir desses resultados o Capítulo 5 descreve as características gerais dos ambientes de experimentação musical. São discutidos aspectos relativos à definição, visualização e manipulação de objetos e operações desses ambientes, assim como a forma de interação do experimentador com os mesmos.

No Capítulo 6 é apresentada uma arquitetura computacional para implementação de um ambiente de experimentação específico, o Micromundo Musical. Seu ciclo de operação é discutido e cada um de seus módulos é detalhado.

O Capítulo 7 apresenta o resultado da implementação de um protótipo parcial do MM, contendo apenas o núcleo do ambiente, ou seja os módulos de representação interna e de audição, agregados por uma interface H-C implementada com um conjunto mínimo de operações.

Capítulo 2

MÚSICA POR COMPUTADOR

Em elaboração

Capítulo 3

OBJETIVOS E METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Objetivo

O objetivo principal desta dissertação de mestrado é:

Definir um ambiente para uso em experimentação musical, com ênfase em atividades de aprendizagem.

O termo ambiente é aqui usado no sentido de um sistema integrado composto de módulos de *hardware* e de *software* acoplados a dispositivos de comunicação com o mundo exterior, tais como teclado alfa-numérico, monitor de vídeo, *mouse* e sintetizador musical.

Objetivos específicos

Para a realização do objetivo principal definido acima, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i. Realizar estudos preliminares sobre o uso de computadores em Música.

A partir de referências bibliográficas, planejamento e execução de experimentos práticos, realizar uma investigação inicial para delimitar o campo de pesquisa.

- ii. Caracterizar um sistema de apoio à experimentação musical para uso educacional.

Com base nos resultados das atividades de estudo, fazer uma análise das características e requisitos do ambiente buscado no objetivo principal e sugerir diretrizes para sua implementação.

- iii. Desenvolver um protótipo experimental do Micromundo Musical.

Para testar pontos relevantes da caracterização realizada na atividade anterior, desenvolver o núcleo do ambiente proposto.

3.2 Metodologia da pesquisa

Por seu caráter multidisciplinar, envolvendo Música, Educação e Computação, e por envolver atividades de criação, com características não observáveis diretamente, a metodologia utilizada enfatizou a obtenção de dados através de experimentos controlados.

Foram planejados dois experimentos: uma oficina prática de programação de computadores e uma série de atividades de eliciação de conhecimentos. A descrição desses experimentos é feita a seguir.

3.2.1 Estudos preliminares

Oficina de LOGO-Música

Experimento planejado em conjunto com Maria Cecília Martins⁶ a partir das idéias do compositor Gregory Gargarian⁷, para fazer uma avaliação preliminar da problemática do uso de computadores em Música. O experimento foi realizado em Maio de 1991 como parte de um evento maior, a 1ª Oficina de Trabalho em Informática e Educação da UNICAMP, organizado pelo Núcleo Interdisciplinar de Computação Aplicada à Educação (NIED). Os participantes eram professores de escolas da rede pública de ensino que utilizam a linguagem LOGO⁸ em seus programas educacionais.

Uma avaliação dos aspectos mais importantes dessa experiência é fornecida no Capítulo 4. Vale lembrar que o enfoque principal da Oficina foi a reflexão sobre o processo de resolução de problemas através do uso de computadores em diferentes domínios do conhecimento humano, entre os quais se inclui o da Música. Os resultados foram obtidos a partir da observação dos participantes durante a realização das atividades e em declarações feitas explicitamente pelos mesmos.

Atividades de eliciação de conhecimentos

Experimento planejado em conjunto com Maria Cecília Martins especificamente para subsidiar a especificação do MM com a obtenção de dados sobre as atividades que compõem o processo de criação musical. Consistiu de duas etapas: a primeira formada por uma série de entrevistas estruturadas e a segunda formada por uma série de experimentos em composição⁹, ambas feitas

6. Funcionária do NIED-UNICAMP e aluna do Mestrado em Educação.

7. Gargarian, Gregory; A LOGO Microworld on Musical Form (material não publicado).

8. Linguagem de programação de computadores para uso educacional desenvolvida no M.I.T. por Seymour Papert.

9. A segunda parte teve influência decisiva das idéias da Dra. Edith Ackermann, especialista em Psicologia Cognitiva do Media Laboratory (MIT-USA)

com compositores contemporâneos de formações diversas. O trabalho de campo foi realizado por Maria Cecília Martins e Pedro Paulo K. B. dos Santos¹⁰.

Os resultados apresentados no Capítulo 4 representam uma análise preliminar do material obtido, feita pelo autor desta dissertação. Uma análise mais aprofundada está sendo feita por Maria Cecília Martins e deverá ser objeto de publicação futura.

Cumprе ressaltar que esse trabalho foi realizado com o apoio conjunto do NIED-UNICAMP e do IPS (Instituto de Pesquisa em Software).

Avaliação de programas comerciais

Foram escolhidos dois programas para avaliação prática, ambos divulgados em publicações especializadas. O *Personal Composer*, conhecido na área de notação musical e o *Sequencer Plus*, utilizado na área de composição. Os resultados são apresentados no Capítulo 4.

3.2.2 Caracterização do sistema

Foi feita a partir da análise dos resultados obtidos dos estudos preliminares descritos acima. Esses resultados, que constituem o núcleo dessa dissertação, são mostrados nos Capítulos 5 e 6.

3.2.3 Implementação do núcleo do protótipo

A partir da caracterização do sistema foi feita a especificação detalhada e realizada a implementação, na forma de protótipos, das partes do sistema consideradas relevantes. Os resultados dessa implementação, que foi realizada com o apoio de alunos do Bacharelado em Ciência da Computação da UNICAMP¹¹, são descritos no Capítulo 7.

10. Aluno de graduação no Departamento de Música do Instituto de Artes da Unicamp.

11. Antonio Aparecido Carrilho, Nobel Soares de Oliveria Junior e Paulo Sérgio Fernandes Parola.

Capítulo 4

ESTUDOS PRELIMINARES

4.1 Oficina de LOGO-Música

Planejamento

Esse experimento teve como objetivo fazer uma avaliação preliminar da problemática do uso de computadores em Música. As atividades realizadas consistiram em uma série de exercícios de programação em LOGO utilizando listas representando sequências de notas musicais. As sequências de notas foram extraídas de cantigas infantis populares e os exercícios consistiram em manipular essas sequências com um objetivo definido. A seguir são mostrados alguns enunciados de exercícios utilizados.

- As frases c1, c2, c3 e c4, quando corretamente encadeadas, formam uma conhecida cantiga infantil. Use os procedimentos já definidos para escrever um procedimento seu que toque essa cantiga na forma correta.
- Redefina as coleções “tipo_pergunta” e “tipo_resposta” segundo suas preferências e execute novamente o procedimento PEGA.PERG.RESP para ouvir e comparar o resultado com aquele obtido anteriormente.

(Nota do autor: O procedimento PEGA.PERG.RESP fazia uma escolha aleatória sobre uma lista de listas. O critério para pertencer à lista era musical e dependia do tipo de cadência utilizada na frase, explorando o conceito de “tensão/repouso”).

- Execute várias vezes o procedimento GARIBALDI.VARIA. Baseado apenas na sua percepção auditiva-musical, faça a descrição mais completa possível do modelo usado na construção do procedimento.

(Nota do autor: Aqui a idéia era descobrir a estratégia composicional utilizada pelo compositor a partir da audição da canção. Foram utilizadas várias estratégias composicionais simples, envolvendo repetição, variação, retrógrado e escolha aleatória.)

- Usando o repertório de frases e procedimentos conhecido, escreva um procedimento para compor uma música de sua autoria. Fique à vontade para, se for necessário, criar novas frases e procedimentos.

Os exercícios eram de complexidade crescente e incluíram desde a simples execução de procedimentos pré-definidos até a construção de novas sequências através de operações de transformação das listas conhecidas segundo estratégias composicionais simples, tais como repetição de motivos e variações. As operações de transformação envolveram concatenação, inversão e escolha aleatória de listas.

Observações

a. Uso do computador MSX.

O MSX possui um processador de sons dedicado, o que torna seu uso interessante para experiências musicais simples. Apresenta restrições de desempenho que tornam seu uso não recomendável em ambientes de experimentação com objetivos mais abrangentes.

b. Uso da linguagem LOGO.

LOGO é uma linguagem imperativa (os programas são constituídos por conjuntos de comandos agrupados em sequências chamadas de *procedimentos*). Sua principal vantagem é o uso de listas¹² como estruturas básicas de dados. Sua maior desvantagem é o suporte inadequado para desenvolvimento de programas (faltam ferramentas de edição, depuração e gerência de arquivos).

c. Uso de listas.

A facilidade de uso de listas para o armazenamento de sequências de notas musicais é um atrativo da linguagem LOGO. Uma nota pode ser representada por seus atributos de altura, duração e intensidade, formando uma lista. Do mesmo modo, uma frase pode ser formada por uma lista de notas. Por exemplo:

```
frase1 = ((mi,4,5) (sol,4,7) (sol,4,5) (mi,4,5) (fa,4,5) (sol,8,7))
frase2 = ((sol,4,5) (sol,4,7) (la,4,5) (sol,4,5) (fa,4,5) (mi,4,5) (re,8,7) (pausa,4,0))
```

Usando o mesmo processo, podemos ter uma lista de frases. Esse processo pode continuar indefinidamente, até que toda uma peça musical seja descrita. Por exemplo:

```
parte1 = ((frase1) (frase2))
parte2 = ((frase3) (frase4))
ciranda = ((parte1) (parte2))
```

12. Estruturas computacionais usadas para organizar dados. São constituídas, tal como no mundo real, por conjuntos de elementos encadeados.

Apesar de sua simplicidade, listas são estruturas de dados bastante poderosas para tratamento de problemas complexos. Basta dizer que LISP, a linguagem inspiradora de LOGO, é usada intensivamente em Inteligência Artificial.

d. Operações e mecanismos poderosos.

A capacidade de realização de operações sofisticadas sobre sequências de notas foi reconhecida por todos os participantes da Oficina. Operações tais como a inversão e a reflexão de frases musicais, cuja realização por um músico profissional, através de instrumentos tradicionais é extremamente difícil, podem ser executadas com facilidade através da manipulação de listas. Mecanismos de escolha aleatória, repetição controlada e recursão viabilizam experimentos musicais impraticáveis com os métodos tradicionais de notação.

e. Representação versus apresentação.

Em LOGO as operações musicais são descritas através de conjuntos de comandos (procedimentos) que operam sobre listas contendo notas musicais. Portanto, o conhecimento musical adquirido pelo aprendiz é **representado** internamente na forma de procedimentos operando sobre listas. Esse mesmo conhecimento pode ser **apresentado** externamente de duas formas: a sonora, quando as notas são reproduzidas pelo alto-falante do microcomputador durante a execução do procedimento, e a visual, quando os comandos que formam o procedimento são mostrados na tela do monitor de vídeo.

Se por um lado a forma de representação interna atendeu plenamente as necessidades, houve situações em que ficou patente a insuficiência da forma de apresentação visual para explicitar certas características musicais. Uma dessas situações ocorreu quando foi necessário identificar variações na altura de notas durante a execução de frases musicais. Os participantes com percepção musical menos desenvolvida tiveram dificuldade considerável para identificar o sentido da variação. Essa deficiência poderia ser eliminada facilmente com a adição de uma forma alternativa de apresentação visual. Por exemplo, com as notas representadas por barras horizontais separadas por distâncias proporcionais aos intervalos entre as alturas das notas.

f. Facilidade de Uso.

O pré-requisito para a utilização do LOGO em Música é o conhecimento dos comandos básicos da linguagem e dos conceitos de manipulação de listas, o que requer um investimento inicial significativo do aprendiz no domínio do ambiente LOGO para, somente depois, poder iniciar os experimentos musicais. Isto acontece por não existirem “primitivas” musicais embutidas na linguagem, semelhantes aos comandos PARA-FRENTE, PARA-TRAS, ESQUERDA e DIREITA voltados para exploração espacial na “Turtle Geometry”¹³.

13. Micromundo concebido e implementado por Papert, utilizando a linguagem LOGO, para a exploração de conceitos de Geometria.

O problema se repete com relação à interface gráfica do LOGO, bastante simples e natural para a exploração espacial feita na “Turtle Geometry” mas deficiente para a exploração de características temporais, típicas da atividade musical.

g. Motivação dos participantes.

Apesar de todas as limitações relatadas, os participantes da Oficina demonstraram interesse na resolução dos exercícios propostos. A maioria conseguiu atingir os objetivos propostos e alguns foram além das expectativas dos orientadores, ao programarem o computador para executar suas melodias preferidas.

Conclusões

- a. A abordagem educacional de conceitos computacionais através da Música mostrou ser uma alternativa não só viável como também atraente.
- b. A abordagem educacional de conceitos musicais através do uso de computadores requer ambientes com algumas características especiais. Itens indispensáveis incluem:
 - interface gráfica amigável¹⁴
 - linguagem de comandos orientada para a Música
 - representação adequada para os objetos musicais
 - saída sonora com a qualidade adequada

Com base nessas observações decidimos:

- Manter a abordagem de Papert como diretriz geral para o uso do ambiente.
- Avaliar outras alternativas (além da estrutura de *lista* usada pelo LOGO) para a representação objetos musicais.
- Não utilizar o MSX para desenvolvimento do ambiente de experimentação musical.

4.2 Atividades de eliciação de conhecimento

Planejamento

O plano inicial para as atividades de eliciação de conhecimento incluía o envolvimento de um compositor como participante das atividades de caracterização de ambientes de apoio à composição musical, o que se revelou insuficiente. Foram então definidas novas atividades,

14. Termo traduzido do inglês *user-friendly* para caracterizar uma interface Homem-Máquina que utiliza símbolos e comandos de fácil identificação, técnicas de apresentação de informação hierarquizadas, sistemas de ajuda ao usuário embutidos e outros mecanismos facilitadores da interação entre o usuário e o computador.

constituídas basicamente de entrevistas estruturadas com compositores contemporâneos de estilos e formação diversos.

As entrevistas foram estruturadas a partir da premissa de que a atividade de composição pode ser vista como um processo. Os indícios que nos levaram a essa conclusão partiram de conversas informais com compositores e da leitura de material bibliográfico sobre *design* em geral.

A partir dessa premissa, as entrevistas foram orientadas de modo a tentar identificar as etapas e atividades componentes desse processo, as técnicas e as ferramentas envolvidas na execução das atividades, as estratégias e estilos de abordagem de problemas computacionais, visando o entendimento de suas características genéricas e peculiares.

Numa segunda etapa dessa atividade, foram projetados experimentos de elicitação sugeridos pela Dra. Edith Ackermann, a partir da avaliação dos resultados obtidos com as entrevistas. Nesses novos experimentos, o compositor era filmado desenvolvendo um motivo musical apresentado pelo elicitor. Ao final da atividade os dois revisavam as ações executadas e o compositor explicava as decisões tomadas no decorrer do desenvolvimento.

Resultados

Uma análise preliminar do material coletado nas atividades de elicitação de conhecimento permitiu fazer as constatações a seguir.

1. As atividades envolvidas no processo de composição possuem um caráter cíclico, que pode ser descrito como mostrado na Figura 5.1. Obviamente, a separação entre as etapas sugerida pelo diagrama não é observável na prática. No entanto, as atividades que compõem as etapas e seu caráter cíclico podem ser claramente percebidas nos dados coletados nas entrevistas.
2. A cada novo ciclo do processo, o objeto musical selecionado e a operação podem variar de forma inesperada, em função de uma decisão (nem sempre explicitada) do autor. Ou seja, embora em ciclos consecutivos seja possível perceber uma convergência de ações na solução de um problema específico, essa continuidade não é facilmente observável quando a análise se torna mais abrangente.
3. Certos conceitos musicais (p.ex. a noção de intervalo) e certas operações (p.ex. transposição) que aparecem frequentemente durante todo o processo, sugerem a existência de operações básicas ou primitivas que poderiam ser executadas automaticamente por um “assistente” do compositor.

4. A necessidade de recursos de notação e de visualização mais poderosos do que os oferecidos pela Notação Musical Tradicional, fica demonstrada em situações nas quais o compositor recorre a traços e gráficos de sua invenção para descrever e/ou analisar aspectos específicos de suas atividades.
5. A depender do interesse do compositor objetos musicais podem possuir formas de apresentação diversas (múltiplas visões). Por exemplo, é comum uma sequência de notas ser analisada ora como uma progressão de intervalos, ora como um contorno de alturas, em função do objetivo a ser alcançado ou da natureza do problema a ser resolvido que, como já foi visto no item 2 acima, pode variar a cada ciclo do processo.

Como dito anteriormente, o material que permitiu essa análise foi coletado através de um trabalho realizado por pesquisadores suportados conjuntamente pelo NIED-UNICAMP e pelo IPS. O autor dessa dissertação participou desse trabalho como coordenador da equipe.

4.3 Relatório de avaliação de ferramentas comerciais

Em elaboração

Capítulo 5

AMBIENTES DE EXPERIMENTAÇÃO MUSICAL

A idéia de utilizar ferramentas de apoio em atividades musicais não é nova, como vimos no Capítulo 2. Tanto em Guido D'Arezzo como em Xenakis fica evidente a busca desses mecanismos com o objetivo (comprovado no caso de Xenakis) de explorar novas possibilidades musicais¹⁵. Neste capítulo abordaremos os aspectos musicais, educacionais, cognitivos e computacionais relativos ao uso e à implementação de conjuntos integrados de ferramentas de apoio formando ambientes de experimentação musical (que denominaremos de **AEM** no restante deste trabalho). No final estabeleceremos conexões entre os aspectos discutidos para mostrar que um AEM suportado por computador apresenta benefícios que justificam o esforço necessário para a sua implementação.

5.1 Aspectos musicais

Nos itens que se seguem, tentaremos definir o escopo musical de um AEM, abordando os aspectos relativos ao processo de criação musical, seus objetos e operações.

5.1.1 Criação musical

Uma das propostas de ferramentas musicais encontrada na literatura é o Assistente Inteligente de Compositores (*Intelligent Composer's Assistant*), cujo objetivo maior é "...to support the composer in highly creative phases of composition"¹⁶. Roads não define explicitamente quais são essas fases, apenas diz que elas incluem "...the creation of the plan and architecture of a composition, and the encoding of musical material into the working score"¹⁷.

Buxton relaciona essas fases como sendo¹⁸:

- definição do leque de timbres a ser usado,

15. Citação de Xenakis no CMR(?)

16. Roads, C. 1985. Research in Music and AI, in *ACM Computing Surveys*, v17 n2 pp163-190.

17. Roads, C. 1985. Research in Music and AI, in *ACM Computing Surveys*, v17 n2 pp163-190.

18. Buxton, W et alli. 1985. The Use of Hierarchy and Instance in a Data Structure for Computer Music, in *Foundations of Computer Music*, pp443-466.

- definição da estrutura melódico-rítmica da composição,
- orquestração da estrutura anterior, e
- execução do resultado final.

No mesmo artigo Buxton faz referência ao modo como essas fases ocorrem na vida real, afirmando:

*"Because composers work in different ways, a second important consideration was to structure the system so that there would be no order imposed on the sequence in which the user undertakes the above four tasks."*¹⁹

Pennycook relaciona as seguintes tarefas musicais, sem pretender ser exaustivo²⁰:

- Preparação de manuscritos musicais,
- Interfaces de linguagens musicais para composição, e
- Sistemas de *performance*.

Logo a seguir também relaciona os principais módulos do *Structured Sound Synthesis Project*, da Universidade de Toronto, como sendo:

- SSSP Graphics Display,
- SSSP Sound Synthesis Interface, e
- SSSP Conduct System.

O ponto comum entre as referências citadas é a falta de ênfase no caráter processual da atividade de composição. Isso pode ser explicado, pelo menos em parte, pelo tipo de equipamento usado na época (cerca de 6 a 10 anos atrás) para implementar as ferramentas de apoio ao compositor. Esses equipamentos eram basicamente sintetizadores especializados construídos artesanalmente em laboratórios de pesquisa. Com uma arquitetura interna rígida, dificilmente esses equipamentos poderiam ser usados para uma interação aberta e adaptativa, abrangendo todas as etapas do processo de composição.

No entanto, ao observar pessoas realizando atividades de criação, é comum detectar padrões cíclicos de ação, em que uma idéia ou um objeto são repetidamente trabalhados até que o resultado atenda o objetivo do autor. No caso de composição musical isso pode ser facilmente comprovado através das atividades de eliciação de conhecimento (Vide ítem 4.2).

19. Buxton, W et alli. 1985. The Use of Hierarchy and Instance in a Data Structure for Computer Music, in *Foundations of Computer Music*, pp443-466.

20. Pennycook, B W. 1985. Computer Music Interfaces: A Survey, in *ACM Computing Surveys*, v17 n2.

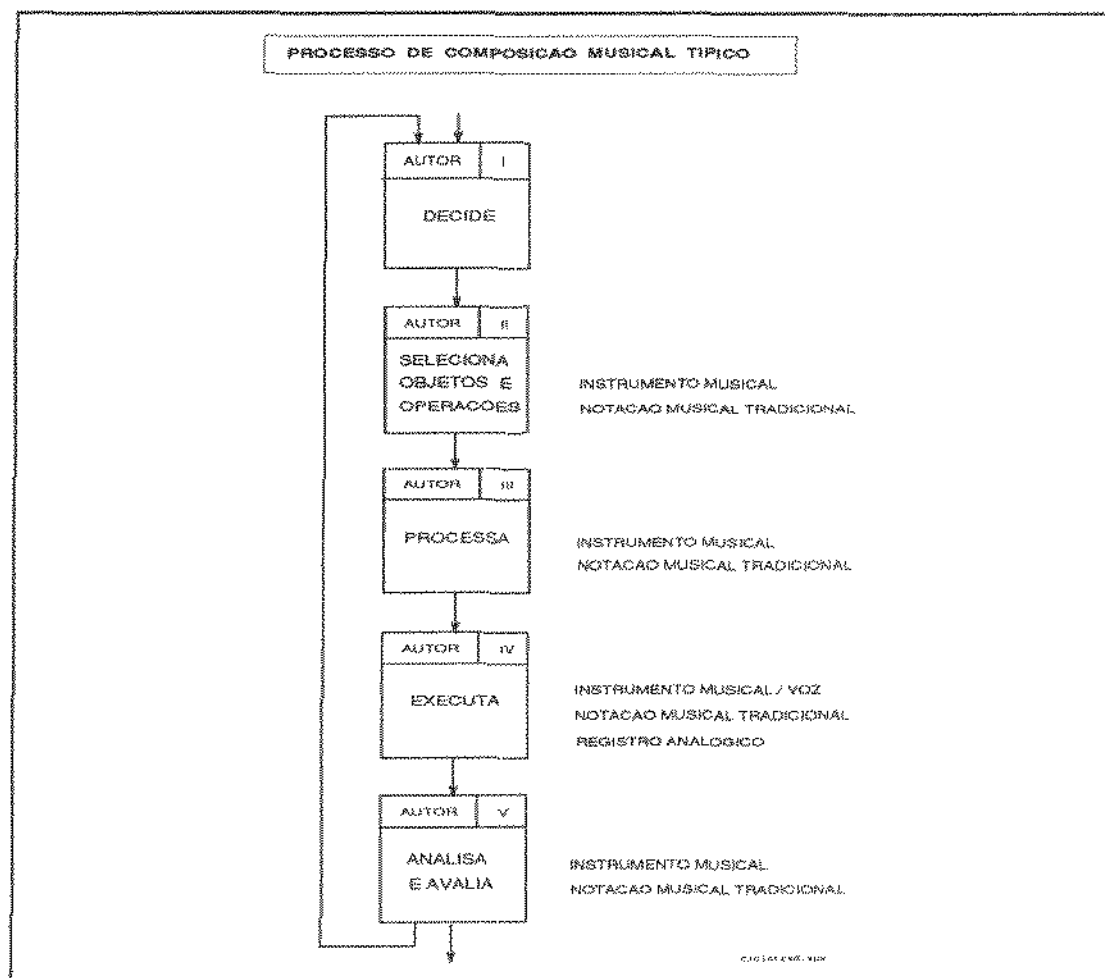


Figura 5.1: Processo típico de composição musical

A partir dos dados obtidos nessas atividades, pode-se montar um modelo genérico, mostrado na Figura 5.1, para as fases do processo de composição. Essas fases são descritas resumidamente a seguir.

I. Decisão sobre o que fazer.

O objeto da decisão nem sempre é explicitado e tanto o seu nível quanto o seu escopo podem variar bastante ao longo do processo de composição. Por exemplo, a decisão pode contemplar desde um plano para desenvolver a composição, até o refinamento de uma frase musical, passando pela definição de sub-problemas a serem resolvidos, aplicação de técnicas para solução de problemas específicos ou a definição de estratégias para provocar determinado efeito no ouvinte.

II. Seleção do material musical e da operação a ser aplicada.

O material pode ser, por exemplo, um esboço de motivo melódico/ritmico ou harmônico, ou um conjunto de resultados já pré-processados obtidos da Fase (III). A operação pode ser sobre atributos sônicos do material musical (p.ex.: transposição, inversão) ou sobre sua estrutura²¹ (p.ex.: inserção ou supressão de notas de uma sequência).

III. Processamento do material selecionado.

Aplicação da operação escolhida sobre o material selecionado. Requer a existência de um procedimento conhecido para sua realização e de uma forma de registro do resultado da operação.

IV. Sonorização do material musical obtido.

Execução do material musical (obtido na fase anterior) ou de seus componentes principais, com o suporte de um instrumento musical ou simplesmente da voz.

V. Avaliação do material obtido.

Realizada pelo próprio compositor, segundo critérios próprios e comumente incluindo fatores estéticos, com base na sonorização realizada na fase anterior e em eventuais análises musicais. A depender do resultado da avaliação, o material pode ser descartado, voltar para novo processamento ou ser considerado pronto.

Essas fases compõem um ou mais ciclos auto-realimentados, que são repetidos enquanto o compositor não considerar aprovado o resultado obtido na avaliação (Fase III). O **objeto musical**²² usado para dar início a uma série de ciclos, que pode ser um motivo musical formado por algumas poucas notas, é gradativamente modificado, na fase de processamento, através de transformações em seus atributos sônicos ou estruturais até se transformar no objeto musical final buscado pelo compositor.

Vale ressaltar o fato de que são poucas as ferramentas de apoio utilizadas pelos compositores. Normalmente são usados instrumentos musicais para fazer a avaliação do resultado obtido e, eventualmente, gravadores analógicos ou papel e lápis para registro desse mesmo resultado na notação musical tradicional. Tanto as fases de caráter mais criativo como as de cunho mais mecânico são igualmente realizadas pelo compositor. Como poderá ser visto no capítulo 6, essas fases podem receber um tratamento diferenciado, de modo a facilitar e até mesmo abrir novas perspectivas para o trabalho do compositor.

21. O termo estrutura está sendo usado no seu sentido genérico, significando as partes que compõem um todo.

22. Usaremos o termo *objeto musical* para referenciar, de forma genérica, tanto peças musicais completas como as unidades básicas típicas envolvidas em sua composição (tais como notas, pausas, e acordes), as sequências formadas por essas unidades básicas (tais como motivos, frases e períodos), e as suas unidades estruturais (tais como compassos, movimentos e partes).

Esse é o modelo que usaremos como base para a caracterização de um AEM. Vale ressaltar que o mesmo pode ser enquadrado dentro do que Chandrasekaran considera modelos de *design* caracterizados por métodos *propose-critique-modify* (ou PCM)²³. Vejamos um dos seus exemplos de métodos PCM²⁴:

Exemplo de método do modelo PCM

- Passo 1 Dado o objetivo do *design*, elabore proposta de solução. Se não houver proposta, termine com fracasso.
- Passo 2 Verifique a proposta. Se atende objetivo, termine com sucesso.
- Passo 3 Se não atende, critique a proposta para identificar fontes de falha. Se não houver criticismo aproveitável, termine com fracasso.
- Passo 4 Modifique proposta e retorne ao passo 2.

Não fosse pela linguagem típica de *problem-solving*, estranha às atividades artísticas, e pela falta de uma componente temporal (pois a falta momentânea de “inspiração” do compositor, que o impede de encontrar uma eventual proposta de solução, não implica em que ela não será encontrada mais tarde), os dois modelos seriam totalmente equivalentes.

A generalidade do modelo apresentado anteriormente é proposital. No momento, não queremos (e nem podemos) entrar nos detalhes de como aparece a primeira idéia, qual o objetivo do autor ao iniciar a composição, se houve ou não planejamento anterior; mesmo porque nem sempre as respostas a essas questões podem ser conhecidas com certeza.

Partimos do pressuposto de que um AEM projetado a partir de um modelo genérico terá mais flexibilidade para ser adaptado a condições específicas, colocadas por um determinado experimentador a partir de sua utilização real, do que um AEM baseado em um modelo mais detalhado mas igualmente hipotético.

5.1.2 Objetos de um AEM

A música contemporânea re-incorporou o ruído entre os seus sons básicos, após séculos de expurgo. Como resultado dessa trajetória, que começa com o asséptico canto gregoriano e desemboca no amálgama sônico da música “sampleada”, passando por Stravinsky, Schoenberg, Satie, Varése, “a música contemporânea se defronta com a admissão de todos os materiais

23. Chandrasekaran, B. 1990. Design Problem Solving: A Task Analysis, in *AI Magazine*, Winter 1990, pp59-71.

24. Chandrasekaran, B. 1990. Design Problem Solving: A Task Analysis, in *AI Magazine*, Winter 1990, pp59-71.

sônicos possíveis: som/ruído e silêncio, pulso e não-pulso²⁵. (Ver *Antropologia do Ruído*, em *O Som e o Sentido*, de J.M. Wisnik, para uma excelente discussão sobre o tema.)

O aparente caos em que a música moderna se encontra é prenúncio de mudanças. Para o que, é impossível prever. Apesar disso, as músicas populares seguem embalando os sentimentos dos homens, recriadas em novas misturas de povos e ritmos, gerando experiências de tempo musical de grande complexidade e sutileza²⁶. Vale lembrar também que "...em todo esse processo, a canção funciona como um verdadeiro equilibrador ecológico (as canções são a reserva de oxigenação da música e do mundo simbólico)"²⁷.

Para completar temos a digitalização do som através dos sintetizadores, sequenciadores e *samplers* que, controlados por um computador, abrem uma imensa gama de novas possibilidades de experimentação sonora. Com a ajuda desses equipamentos torna-se fácil criar novos timbres seja a partir de formas de onda geradas por osciladores (é o caso dos sintetizadores), seja a partir de sons naturais digitalizados (é o caso dos *samplers*). O controle sobre os parâmetros físicos das ondas sonoras é total (o que não significa que a psico-acústica não tenha mais segredos). O resultado depende, em última instância, somente da inventividade do músico para criar novas sonoridades.

Dentro do quadro exposto acima, qual deve ser o escopo de atuação da ferramenta proposta? O universo das canções e músicas populares com os sons tradicionalmente aceitos como sendo musicais? Ou o universo musical de Hermeto Pascoal e John Cage, incorporando desde ruídos de estática de rádio²⁸ até o silêncio completo²⁹, passando pelos pianos "preparados"^{30,31} e sons de animais³²? Ou o de Mathews com as suas escalas inarmônicas, segundo ele uma das mais ricas fontes de novos sons³³? Ou ainda o de Smetack, utilizando microtons?

A resposta do músico contemporâneo provavelmente seria simples e direta: Todos! E ele certamente teria boas justificativas para a sua resposta.

5.1.3 Operações de um AEM

A manipulação de objetos permeia todo o processo de composição musical. A construção de um novo artefato musical só pode ser feita a partir de elementos básicos e operações que permitam modificar e agregar esses elementos de diferentes maneiras para criar um objeto com características próprias.

25. Wisnik, J.M. *O Som e o Sentido*, p28.

26. Wisnik, J.M. *O Som e o Sentido*, p50.

27. Wisnik, J.M. *O Som e o Sentido*, p50.

28. Cage, J. *Radio music*. Composição musical.

29. Cage, J. *Tacet 4'33"*. Composição musical.

30. Pascoal, H. V. nome composição para piano preparado do álbum duplo.

31. Cage, J. V. nome composição para piano preparado

32. Pascoal H. V. nome composição em que ele usa o guincho de um porco.

33. Roads, C (ed). 1989. Interview with Max Mathews. *The Music Machine*, pp5-12.

Essa manipulação pode ocorrer tanto com objetos musicais simples (tais como notas musicais) quanto com objetos musicais compostos (tais como motivos, frases e escalas). A manipulação de um objeto musical pode se dar na forma de operações sobre a sua estrutura (tais como crie, insira, remova, concatene) ou sobre seus atributos musicais (tais como transponha, inverta, que atuam sobre as alturas).

Por exemplo, o experimentador poderia realizar a sequência de operações a seguir:

1. criação, a partir de objetos pré-definidos, de uma sequência de notas denominada S1,
2. transposição de 7 semitons de S1, obtendo uma nova sequência S1T,
3. criação de uma sequência de coda C, e
4. concatenação de S1, S1T e C compondo uma nova sequência S2.

As operações (1) e (3) acima são decididas pelo experimentador; a ajuda que um AEM pode dar se restringe aos mecanismos básicos de criação, visualização e manipulação de objetos. Já as operações (2) e (4), uma vez especificadas podem ser executados integralmente pelo AEM, dado que as operações de transposição e de concatenação tenham sido previamente definidas.

Note que operações são definidas sobre **argumentos**, ou seja, objetos aos quais a operação é aplicada. No exemplo anterior, o argumento da operação transposição é o conjunto de notas que forma a sequência S1, enquanto que o argumento da operação concatenação é o conjunto de objetos S1, S1T e C.

Argumentos típicos são os objetos musicais que compõe a estrutura de um objeto maior, tais como motivos, frases, partes. Mas um AEM também deve suportar manipulações realizadas sobre objetos e escopos musicais arbitrários, definidos temporariamente pelo experimentador apenas para a aplicação de uma determinada operação.

Com essa facilidade passa a ser possível, por exemplo, substituir todas as notas C# semínimas por tercinas nos 4 primeiros compassos de uma frase. Ou ainda aplicar um mordente superior sobre todas as notas com duração maior ou igual a 2 tempos, ocorrendo no primeiro tempo dos compassos da terceira parte de uma peça, mas somente na sua segunda repetição.

Roads estende esse conceito de objetos e argumentos arbitrários no seu *Intelligent Composer's Assistant*, através da utilização de bases de conhecimento e mecanismos de inferência de modo a permitir a manipulação de objetos não explicitamente definidos³⁴. Um de seus exemplos de operações possíveis é “apague todos os acordes de sétima maior na primeira inversão”, partindo do pressuposto de que um AEM reconhecerá essas ocorrências a partir do conhecimento das definições de acordes comuns da escala temperada³⁵.

34. Roads, C. 1985. Research in Music and AI, in *ACM Computing Surveys*, v17 n2 pp163-190.

35. Roads, C. 1985. Research in Music and AI, in *ACM Computing Surveys*, v17 n2 pp163-190.

Outro recurso útil para o experimentador é a possibilidade de definir operações específicas, para as quais não haja operações pré-definidas no AEM, a partir de sequências das operações pré-definidas. Esse recurso é especialmente útil nos casos em que a nova operação tem que ser usada repetidamente.

5.1.4 Objetos e operações pré-definidos

Para que um objeto seja manipulado, é preciso que ele antes seja “criado”, ou seja, é preciso definir seu conteúdo e atribuir-lhe um nome que o identifique univocamente. Por exemplo, para criar um motivo musical é necessário definir as notas que o compõe, com seus atributos rítmicos e expressivos, e nomeá-lo.

Pode-se prover um AEM de facilidades para registrar objetos musicais a partir de fontes sônicas externas, tais como instrumentos musicais ou sons da natureza. Mas também seria razoável supor que, para maior comodidade do experimentador, certos objetos e operações básicos, tais como as notas musicais e a operação de transposição, já estivessem definidos no AEM, compondo o que pode ser chamado de **conjunto de primitivas** de um AEM.

Usando esses objetos básicos como componentes, novos objetos podem ser criados para atender objetivos específicos do experimentador. E assim por diante, cada novo objeto pode se tornar componente de outros objetos mais complexos. Com o passar do tempo, o experimentador teria à sua disposição uma sonoteca personalizada, reunindo aqueles objetos musicais de maior relevância para o seu trabalho.

O problema dessa solução é definir um conjunto de primitivas universalmente aceito. A primeira dificuldade reside na escolha das próprias notas musicais. A música ocidental utiliza a escala “temperada”³⁶, enquanto que as músicas árabes se utilizam de escalas de 24 tons³⁷, e a música indiana utiliza subdivisões intervalares que, combinadas, produzem 72 escalas³⁸. Mesmo que fosse possível um acordo sobre o conjunto de primitivas, ele não seria inutável.

Uma solução de consenso pode ser a de prover mecanismos básicos para permitir tanto o uso de conjuntos pré-definidos como a definição de novos objetos básicos. Essa definição poderá ser feita a partir de um registro de fonte externa ou através da descrição interna dos parâmetros do novo objeto. Dependendo do caso, algum dispositivo conversor analógico digital poderá ser necessário.

36. A escala “temperada” usada na música ocidental é uma variante da escala natural (em que as proporções de frequências entre as notas eram representadas por frações exatas), concebida para que o intervalo entre as oitavas pudessem ser divididos em 12 partes iguais, o que resulta em frações aproximadas para as relações entre as frequências das notas.

37. Wisnik, J.M. *O Som e o Sentido*, p81.

38. Wisnik, J.M. *O Som e o Sentido*, p82.

Quanto às operações, como vimos da análise das entrevistas com compositores (Vide item 4.2), existem aquelas de uso generalizado e frequente. Uma “biblioteca” de operações desse tipo certamente facilitaria o trabalho do experimentador.

De qualquer modo, ao se falar de ambientes de experimentação, é preciso ter cuidado na definição dos “materiais” e “ferramentas” com que ele será equipado. Pois essa definição irá afetar decisivamente a extensão do território musical que poderá ser explorado.

5.1.5 Notação de objetos musicais

A notação musical tradicional (NMT) é surpreendentemente compacta em vista da complexidade do objeto por ela denotado³⁹. Isso é conseguido com a representação explícita de apenas duas dimensões (altura e duração) sonoras, enquanto que as outras dimensões (que incluem intensidade, timbre, dinâmica e articulação, entre outras) ou são supridas implicitamente através de outros procedimentos ou são reconstruídas através das normas de interpretação utilizadas pelo músico executante. Por exemplo, “... a dinâmica, não tem uma representação tão sistemática [quanto as alturas e durações], enquanto que o timbre é obtido apenas como subproduto da indicação de instrumentos musicais”⁴⁰.

Por outro lado, a NMT apresenta vários problemas quando utilizada fora do contexto em que se desenvolveu. Em primeiro lugar, ela não representa, de forma explícita, a estrutura subjacente às notas musicais, tais como motivos e frases. Em segundo lugar, a NMT é incapaz de descrever operações que interligam essa mesma estrutura interna, tais como repetições de um mesmo motivo transposto ou invertido, que refletem o processo de criação dessa mesma estrutura. Em terceiro lugar a NMT é claramente insuficiente para representar todo o espectro de possibilidades sonoras dos novos instrumentos eletrônicos ou para atender às novas demandas expressivas da música experimental contemporânea.

Portanto, um AEM deve prover meios de especificar os elementos de nível mais alto da organização musical e suas inter-dependências. A figura 5.2 mostra o uso de três possíveis notações (escolhidas arbitrariamente) que se utilizam de símbolos gráficos para exemplificar as dependências de alto nível típicas entre objetos musicais e o seu processo de criação. Note que cada uma das notações dá ênfase a um único tipo de relação de inter-dependência (apesar de não impedir que os outros tipos de relação sejam também deduzidos).

O uso de notações definidas a partir de símbolos gráficos é uma solução interessante para a representação de estruturas hierárquicas complexas, principalmente pela sua capacidade de síntese. Também no caso da notação dos objetos mais simples, tais como as notas musicais, o uso

39. Loy, G e Abbott, C; Programming Languages for Computer Music, in ACM Computing Surveys, v.17, n.2, June 1985.

40. Loy, G e Abbott, C; Programming Languages for Computer Music, in ACM Computing Surveys, v.17, n.2, June 1985.

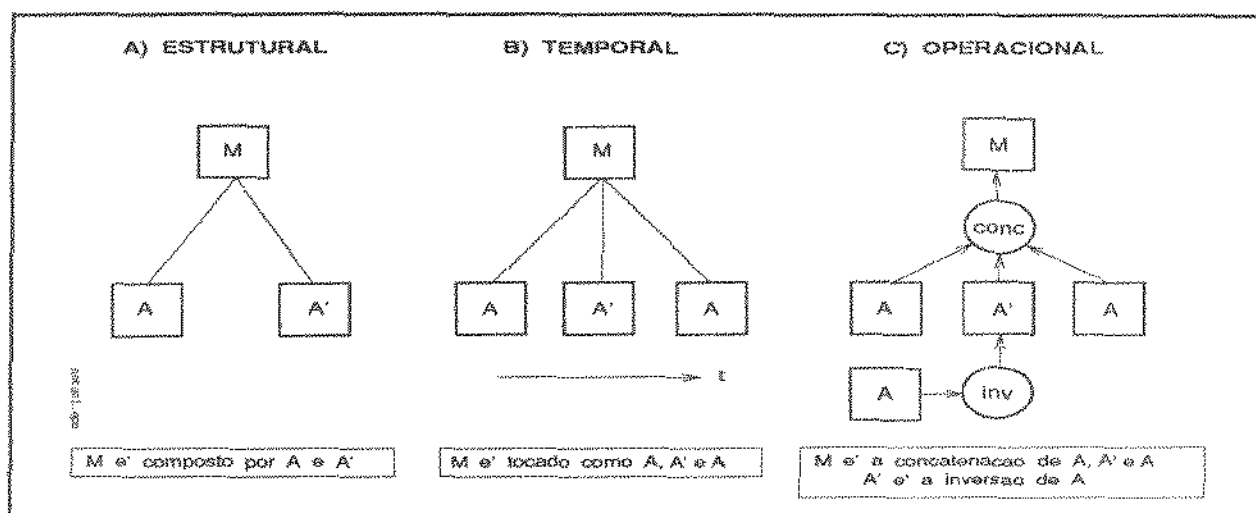


Figura 5.2: Exemplos de notações para representar objetos musicais.

de notações gráficas apresenta vantagens, a principal delas sendo o maior grau de liberdade que propiciam no uso de analogias espaço-temporais para os atributos sônicos.

Outro aspecto relevante de um AEM que requer atenção diz respeito à notação de operações musicais. A NMT desconsidera completamente a existência de operações musicais implícitas nas suas sequências de notas. A possibilidade de também denotar operações abre uma perspectiva interessante para notação de objetos musicais através das operações que dão origem aos mesmos.

Por exemplo, o objeto S2 criado no item 5.1.3 poderia ser descrito (numa abordagem simplificada) como:

$S2 := \text{concatena}(S1, \text{transpoe}(7, S1), C)$

Apenas para se ter uma pequena idéia do poder de concisão de uma notação desse tipo, compare as duas descrições A e B abaixo que, pelo menos na “intenção”, são equivalentes.

Descrição A

$S3 := \text{concatena}(S2, \text{transpoe}(4, \text{retrogrado}(S2)), C)$

Descrição B

“Tocar S3 equivale a tocar S1, S1T, e C, em seguida tocar a transposição de 4 semitons do retrógrado de S1 concatenado com S1T e C e, em seguida tocar novamente C.”

A generalização dos exemplos acima com o uso de estruturas de controle e formas genéricas de referência a objetos (similares àquelas utilizadas em linguagens para processamento simbólico em computadores), cria novas possibilidades para a experimentação musical, como pode ser comprovado pela quantidade de linguagens específicas para experimentação musical encontradas na literatura.

5.1.6 Visualização

A função básica da visualização em um AEM é a de apresentar os objetos musicais em uma forma visual. Na NMT, os conceitos de visualização e de notação se confundem. A partitura, que representa a visualização, é uma apresentação⁴¹ fiel da notação, embora esta não seja uma representação exata do objeto musical, como vimos no item 5.1.5.

A partir do momento em que se propõe o uso de notações mais poderosas, capazes de representar não só os aspectos sônicos como também os estruturais de um objeto musical, o aumento na quantidade de informação apresentada pode ter um efeito negativo sobre o trabalho do experimentador, transformando-se num ônus ao invés de uma vantagem. Além disso, notações poderosas não possuem, necessariamente, uma forma visual atraente.

É nesse contexto que a visualização se revela de extrema utilidade, “reduzindo” a complexidade do objeto ou tornando sua apresentação visual mais agradável através da codificação adequada de seus atributos. Esse recurso, terá sua eficácia aumentada se também:

- a. permitir a apresentação simultânea das visões selecionadas,
- b. possibilitar a manipulação do objeto em qualquer uma das visões apresentadas,
- c. refletir para todas as visões apresentadas as alterações realizadas em uma das visões, e
- d. permitir a configuração dos atributos visuais utilizados como codificadores da informação apresentada, tais como cores e tons, padrões gráficos, símbolos e ícones.

5.1.7 Forma de interação com um AEM

Já descrevemos as facilidades que um AEM deve possuir para permitir a criação, manipulação e visualização de objetos musicais e suas operações. Essas facilidades atendem as necessidades das Fases (II, III e V) do modelo genérico de composição apresentado na figura 5.1.

Para a Fase (IV), de avaliação dos resultados, é necessário prover facilidades de reprodução de objetos musicais, pois a audição é obviamente o modo mais direto de se avaliar um objeto musical. Não é preciso salientar que a audição deve ser de alta qualidade, de modo a garantir a fidelidade ao objeto reproduzido, e imediata, de forma a não prejudicar o processo de criação.

41. Usaremos o termo **apresentação** com o sentido explícito de representação visual

Essa fase deve contar com as mesmas facilidades de seleção de argumentos propostas para as operações sobre objetos musicais no ítem 5.1.3, de modo a permitir a audição seletiva de quaisquer componentes de um objeto musical composto.

Também é clara a necessidade de se controlar parâmetros de execução em tempo real⁴². Esse controle deve permitir, ao menos:

- silenciar/reavivar objetos individuais
- alterar o andamento
- expressão (intensidade e articulação de objetos individuais)

De um ponto de vista mais genérico, um AEM deve facilitar a transição entre as fases do referido modelo dado que, como mencionado no ítem 5.1.1, as mesmas compõem um ciclo que é repetido diversas vezes até se chegar ao resultado final. Ou seja, o experimentador ao fazer uso de um AEM estará “preso” ao ciclo “seleciona-processa-avalia” por um período de tempo cuja duração será diretamente proporcional à complexidade do objeto sendo criado. Assim, quanto mais fácil e natural for a transição entre as fases desse ciclo, maior será a atenção que o experimentador poderá dispensar ao objeto de sua pesquisa.

Há diversos mecanismos auxiliares que um AEM pode prover de modo a facilitar essa transição. Apenas como exemplo, citamos dois deles:

- salvar os argumentos das últimas operações de cada tipo realizadas pelo experimentador.

Partindo-se da premissa de que os ciclos serão repetidos várias vezes para cada objeto sendo projetado, essa facilidade permitiria dispensar a especificação dos argumentos dos comandos. P.ex., os comandos *toque objeto* e *toque* são equivalentes, quando o experimentador quer tocar o mesmo objeto tocado na última vez em que o comando foi usado.

- salvar o contexto de operações de modificação no conteúdo ou na estrutura de objetos musicais.

Partindo-se da premissa de que se um atributo sônico ou relação estrutural de um objeto foi modificado, é provável que o mesmo objeto ou algum objeto vizinho seu será o próximo a ser modificado.

Finalmente, vale lembrar que existe um conjunto de operações que, embora possam ser consideradas rotineiras, são essenciais para a utilização de um AEM. São as rotinas típicas de gerência de bibliotecas, encarregadas do armazenamento, da classificação e da manipulação de objetos musicais, tais como: Salve, Recupere, Apague, Copie, Renomeie.

42. Ou seja, o controle durante a execução do objeto.

5.2 Resumo

Resumindo, pode-se considerar que as características desejáveis de um AEM devem incluir aquelas descritas a seguir.

- a. Facilitar a transição entre as fases do ciclo seleção-processamento-avaliação do modelo composicional (Ver item 5.1.1), sem impor ordens pré-definidas ou restringir a seleção de objetos e operações.
- b. Aceitar qualquer tipo de material sônico para a construção de objetos musicais (Ver item 5.1.2).
- c. Permitir a re-utilização de objetos conhecidos na construção de novos objetos (Ver item 5.1.3).
- d. Suportar operações sobre atributos sônicos ou estruturais de objetos simples ou compostos (Ver item 5.1.3).
- e. Permitir o controle sobre o escopo de atuação das operações sobre objetos (Ver item 5.1.3).
- f. Permitir a extensão dos conjuntos de objetos e de operações pré-definidos (Ver item 5.1.4).
- g. Permitir a denotação de aspectos estruturais e operacionais dos objetos (Ver item 5.1.5).
- h. Suportar extensões da notação ou mesmo novas notações (Ver item 5.1.5).
- i. Permitir a visualização seletiva e simultânea de objetos, com a sua correspondente manipulação (Ver item 5.1.6).
- j. Suportar a audição seletiva, imediata e de alta fidelidade de objetos (Ver item 5.1.7).

Com base nas considerações acima, no próximo capítulo será proposto um AEM específico, o Micromundo Musical.

Capítulo 6

ESPECIFICAÇÃO DO MICROMUNDO MUSICAL

6.1 Introdução

O Micromundo Musical (MM) é um ambiente de experimentação musical suportado por computador para uso preferencial em atividades de aprendizagem. Este capítulo apresenta a sua especificação funcional, incluindo os seus requisitos gerais, a forma de representação interna de objetos musicais, as operações suportadas, sua arquitetura sistêmica e as descrições funcionais de cada módulo componente da arquitetura. Além disso, algumas sugestões de implementação são oferecidas.

6.2 Requisitos gerais

A premissa básica para a definição dos requisitos gerais do MM é a de que o modelo típico de composição descrito no item 5.1.1 e re-apresentado na figura 6.1 também se aplica à experimentação em Música com ênfase em aprendizagem. O que dá suporte a essa premissa são as teorias de Papert que, como vimos no Capítulo 2 demonstram as vantagens da aprendizagem pela experimentação e pela construção de objetos e modelos.

Isso significa que os requisitos gerais de um AEM, apresentados no item 5.2 também devem ser atendidos pelo MM. Mais ainda, se estamos falando de uso educacional, a interação com o MM deverá ser feita de forma simples e responsiva, facilitando e acelerando o contato do aprendiz com o objeto da aprendizagem. Pois, ao contrário do experimentador, de quem podemos esperar auto-motivação e maior tolerância com uma interação menos fácil, em troca das facilidades notacionais e da manipulação musical oferecida pelo AEM, o aprendiz precisará de motivação externa para interagir com o MM.

Além disso não devemos esquecer que um bom argumento para atrair o futuro aprendiz de Música é a eliminação das barreiras representadas pela necessidade de domínio da NMT e de um instrumento musical para tomar contato com a Música. Esse argumento seria completamente inócuo se em lugar das barreiras eliminadas fosse erguida uma outra, tão ou mais complexa.

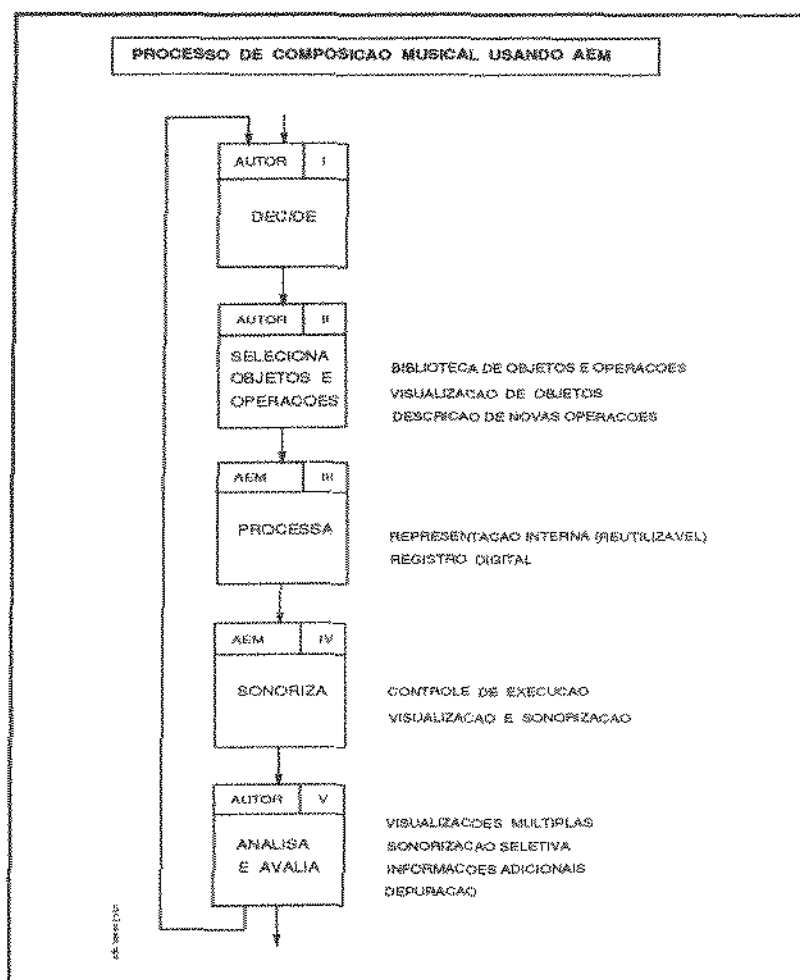


Figura 6.1: Ciclo de experimentação usando AEM

A solução usual para esse problema é a definição de metáforas ou paradigmas de utilização para o novo ambiente, que façam uso da experiência adquirida pelo aprendiz na interação com outros ambientes conhecidos. Voltaremos a esse assunto no item específico sobre a interface homem-computador. Por enquanto é suficiente saber que existe um requisito adicional para a especificação do MM. Vejamos que tipo de facilidades o MM pode oferecer em cada fase do modelo de criação apresentado na Figura 6.1.

Quando o ciclo se inicia, não há muito o que fazer na Fase I. Essa fase depende essencialmente de fatores externos ao AEM tais como a motivação do aprendiz, ou a orientação dada pelo instrutor. Já durante o processo de experimentação, as facilidades oferecidas na Fase V, podem ajudar o aprendiz nas decisões que se apresentam na Fase I.

Na Fase II o suporte computacional pode atuar na forma de bibliotecas de operações e objetos musicais (definidos pelo AEM ou pelo aprendiz), ou na forma de notações facilitadoras para a descrição de objetos e operações. A possibilidade de re-utilização de objetos, aliada à

disponibilidade de operações poderosas e ao uso de notações de fácil apreensão proporciona um ambiente de aprendizagem estimulante. E elimina o primeiro obstáculo do ensino musical tradicional que é a notação musical.

Uma vez selecionados os objetos e operações, a Fase III pode ser totalmente realizada pelo AEM. Deve haver um grau mínimo de controle para que operações acidentalmente iniciadas possam ser interrompidas ou para reconstituir objetos musicais inadvertidamente modificados. O resultado dessa etapa para o AEM é a representação de um objeto musical que pode ser sonorizado, visualizado e, esta sim a grande vantagem, re-utilizado.

A Fase IV pode ser realizada pelo AEM sob controle do aprendiz. Ou seja a sonorização do resultado obtido da Fase III pode ser controlada, em tempo de execução, nos seus atributos de tempo, intensidade e timbre (limitado à escolha de um instrumento). Isso elimina o segundo obstáculo típico do ensino musical tradicional, que é o domínio de um instrumento. Como facilidade adicional, o AEM permite a visualização do objeto sendo sonorizado e, como sub-produto, oferece uma versão codificada no padrão MIDI desse mesmo objeto.

Para a Fase V o AEM oferece possibilidades de visualizações múltiplas, sonorização seletiva (de partes do resultado) e informações adicionais sobre atributos musicais, tais como intervalos entre notas de sequências e de acordes. Um recurso poderoso oferecido pelo AEM para esta fase é o controle de execução do resultado ao nível de seus componentes básicos, tais como motivos, frases e períodos, para operações de análise de falhas (conhecidas como *debug* em programação de computadores).

Nas seções seguintes será apresentada uma proposta de um ambiente de experimentação musical, o MM, capaz de oferecer essas facilidades.

6.3 Representação interna de objetos musicais

Nesta seção definiremos o modelo de representação de objetos musicais do MM. O modelo proposto é baseado na representação usada no *Structured Sound Synthesis Project*, desenvolvido por Buxton et alli na Universidade de Toronto. O modelo proposto para o MM modifica alguns atributos existentes no modelo *SSSP* e acrescenta outros, possibilitando:

- o uso de contornos (V. definição adiante)
- o uso de eventos de sincronismo, e
- o uso dos campos especiais *memo* e *script*.

Por outro lado, o modelo proposto não tem a capacidade de representar objetos de caráter tímbrico, como permitido pelo modelo de Buxton.

6.3.1 Eventos musicais

A representação interna de objetos musicais proposta para o MM tem por base o modelo descrito por Buxton⁴³ para o *Structured Sound Synthesis Project*.

Representação de objetos musicais no SSSP

O conceito básico desse modelo é o que Buxton chama de **evento musical**, definido como sendo "...simplesmente um evento que ocorre no decurso de uma composição e que tem um tempo de início e uma duração."⁴⁴ A generalidade dessa descrição faz com que qualquer objeto musical (no sentido que estamos dando a esse termo nesse trabalho) possa ser representado pelo conceito de evento musical, desde uma simples nota até uma composição completa.

Eventos musicais são organizados hierarquicamente: os eventos de nível mais baixo, representados pelas notas musicais ou objetos sônicos, agrupados em eventos de nível intermediário, representados por módulos ou partes musicais, até chegar ao nível mais alto, constituído por um único evento que representa a composição musical inteira.

A Figura 6.2 mostra uma composição *X* formada por duas partes (ou módulos) *P1* e *P2*, onde *P1* é formada pelas sequências de notas musicais *A* e *B* e *P2* é formada pela sequência *C*. Cada uma dessas unidades pode ser considerada um evento musical, inclusive as notas que compõe as sequências *A*, *B*, e *C*.

É o experimentador quem decide como organizar sua composição, ou seja, quantos níveis verticais ou horizontais a estrutura terá. Numa situação extrema, ele pode usar um único nível estrutural (a raiz da árvore) associada a uma única sequência que engloba todas as notas da composição, como mostrado na Figura 6.3. Essa é uma representação equivalente à partitura musical tradicional.

Os atributos básicos de um evento musical tal como definido por Buxton, são a sua duração e o tempo de início do próximo evento, definidos na forma de frações de *beats*. Como esses dois atributos podem ser especificados e controlados de forma independente, é possível fazer variar o andamento sem variar a articulação (alterando-se os dois parâmetros simultaneamente), ou variar

43. Buxton, W et alli. 1985. The Use of Hierarchy and Instance in a Data Structure for Computer Music, in *Foundations of Computer Music*. MIT Press.

44. Buxton, W et alli. Op. cit.

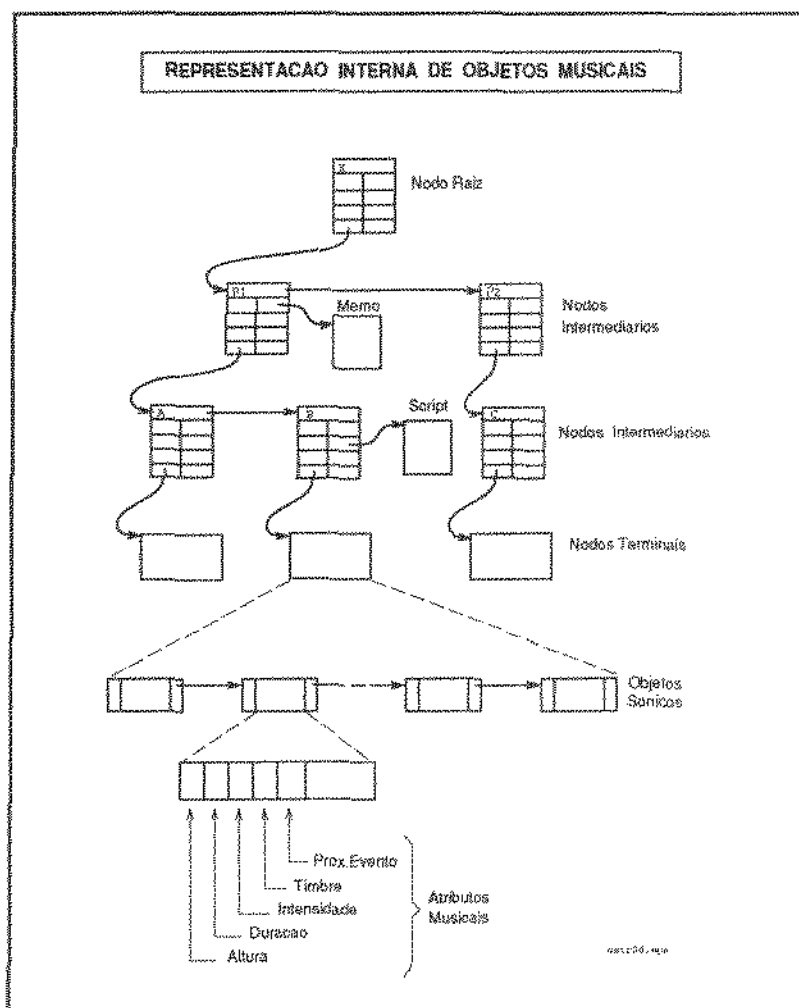


Figura 6.2: Estrutura de representação interna do MM

a articulação sem variar o andamento (alterando-se somente a duração), ou ainda variar ambos, andamento e articulação, (alterando-se apenas o tempo de início do próximo evento).

A definição desses atributos é feita através da inicialização dos parâmetros correspondentes associados a cada evento. No caso de eventos representando objetos musicais compostos, tais como módulos ou partes, esses parâmetros são calculados pelo próprio MM a partir das durações dos objetos simples que compõe aqueles objetos.

À representação interna de um evento musical também estão associados parâmetros que permitem identificar o tipo do material sônico do objeto representado. Em princípio, esse material sônico pode ser de diversas naturezas, incluindo a especificação de uma nota musical, uma forma de onda parametrizada ou registrada por amostragem, ou ainda uma sequência de eventos MIDI transmitidos por teclado. Sua utilização dependerá unicamente da capacidade do *hardware* do MM em manipular cada tipo de especificação e convertê-la em som.

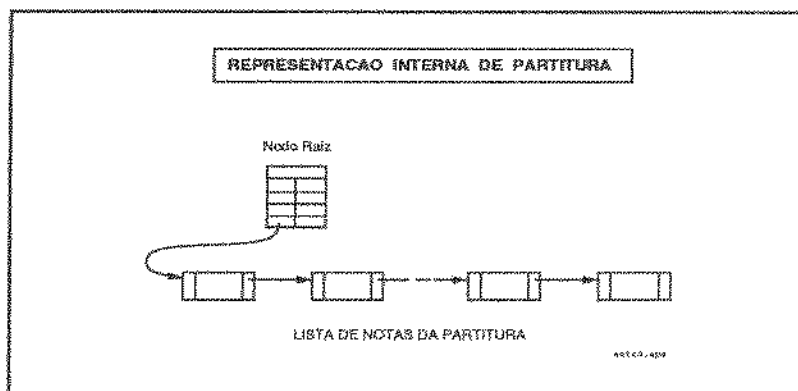


Figura 6.3: Estrutura musical de partitura

Além de identificar a sub-estrutura a ele subordinada, um evento que represente um objeto composto possui atributos modificadores que podem afetar os valores de atributos correspondentes dos eventos componentes da sua sub-estrutura. O modelo do *SSSP* define atributos modificadores capazes de afetar os valores dos atributos de altura, duração, início do próximo evento e intensidade. A função desses atributos modificadores é de facilitar operações de transformação musicais sobre os objetos da sub-estrutura.

O modelo utilizado no MM também provê a mesma facilidade, embora de forma ligeiramente diferente; aqui começam as diferenças entre o modelo adotado no *SSSP* e aquele proposto para o MM.

Representação de objetos musicais no MM

Além de possuir as características descritas acima, no MM os eventos musicais não precisam estar com todos os seus atributos completamente definidos para representarem objetos musicais válidos. Ou seja, é possível especificar uma sequência contendo um único atributo musical, tal como uma sequência formada somente pelos atributos de altura dos seus objetos constituintes. Ou uma sequência formada somente pelos atributos de duração, ou ainda uma formada por esses dois atributos. Objetos musicais com essas características são chamados de **contornos**⁴⁵.

Contornos podem ser usados na construção ou transformação de outros objetos. Escalas musicais são exemplos de um tipo particular de contorno musical — aquele formado apenas de alturas — que pode ser usado para controlar outros objetos.

O modelo proposto para o MM também define um tipo de evento não existente no modelo do *SSSP*, chamado de **evento de sincronismo**. Um evento de sincronismo não está associado a um objeto sônico; sua dimensão é apenas temporal e seu efeito restrito à etapa de execução

45. Um *contorno* musical é uma especificação incompleta de uma sequência de objetos sônicos. P.ex., o contorno melódico, formado apenas pelas alturas de uma sequência de notas. A idéia de contorno apesar de ser comumente utilizada em Música, é explorada como um conceito operacional nos trabalhos de cognição musical do compositor Gregory Gargarian

(audição). Sua função básica é a de fazer ligações temporais entre objetos musicais representados por eventos musicais não conectados hierarquicamente. Por exemplo, o disparo de uma ação externa no momento em que um motivo é iniciado.

Finalmente, o modelo proposto para o MM prevê dois campos especiais. O primeiro é o campo *memo*, onde informações podem ser registradas pelo experimentador para indicar impressões, sugerir futuras operações, registrar decisões tomadas, etc. O segundo campo é o *script*, utilizado para modificar e controlar a sub-estrutura subordinada ao nodo em que o *script* aparece. Isso é feito através da inclusão de operações de transformação, ou de operações de controle de fluxo de execução.

Resumindo, o modelo de representação interna de objetos musicais proposto no MM utiliza uma estrutura hierárquica baseada no conceito de eventos musicais, definido por Buxton⁴⁶. O modelo é capaz de representar objetos constituídos por diferentes materiais sônicos e de identificar as sub-estruturas em que esses objetos são agrupados, o que permite sua manipulação em diversos níveis estruturais.

O modelo proposto facilita a aplicação de transformações musicais sobre os objetos representados através do uso de parâmetros modificadores e do uso do conceito de contorno. Ações externas também podem ser associadas a objetos musicais através de eventos de sincronismo.

6.4 Construção e manipulação de objetos musicais.

O MM oferece quatro opções básicas para a construção de objetos musicais. Cabe ao experimentador escolher aquela que melhor atende às suas necessidades imediatas ou a mais adequada ao seu estilo de criação. As opções são descritas a seguir.

Opção 1 Usando objetos pré-definidos.

O MM possui um conjunto de objetos musicais básicos formados pelas notas musicais da escala temperada. Os atributos de duração e intensidade podem ser controlados de forma contínua, enquanto que o timbre possui valores discretos associados a instrumentos (suportados pelo sintetizador acoplado ao MM). Esses objetos básicos podem ser combinados em sequências para construir unidades musicais maiores, tais como motivos, frases e períodos.

Opção 2 Usando objetos da sonoteca do experimentador.

46. Obra já citada anteriormente.

Objetos criados pelo experimentador a partir do conjunto básico podem ser armazenados em sonotecas (de uso privado ou compartilhado) do MM. Esses objetos podem ser recuperados e re-utilizados na construção de novos objetos que, uma vez armazenados na sonoteca, também poderão ser re-utilizados futuramente.

Opção 3 Modificando objetos existentes.

A re-utilização de objetos existentes na formação de novos objetos pode envolver operações de caráter estrutural, tais como concatenação e justaposição, ou operações de caráter sônico, tais como inversão e transposição. (A descrição de todas as operações suportadas pelo MM é feita na seção 6.5.) Os novos objetos, uma vez armazenados, também podem ser re-utilizados posteriormente.

Opção 4 Usando objetos externos.

O MM aceita objetos musicais externos através da entrada MIDI disponível. Qualquer objeto sônico passível de transformação para o protocolo MIDI será aceito pelo MM. Porém, objetos registrados dessa forma não são convertidos para o formato de representação interna do MM e, portanto, ficam limitados na sua forma de re-utilização.

Obviamente, as opções acima não são exclusivas e podem ser usadas intercaladamente e em diferentes estilos. Por exemplo, o experimentador pode criar um motivo a partir do conjunto de objetos pré-definidos, aplicar ao mesmo uma operação de transposição e concatenar as duas sequências resultantes separadas por uma pequena sequência (preparatória para a modulação) construída também a partir do conjunto pré-definido.

Ou ainda, um experimentador com estilo “planejador” poderia começar pela definição dos nodos da representação interna do objeto, o que equivale a definir o “esqueleto” estrutural da sua composição, e só então construir as sequências de objetos sônicos para preenchê-los.

Tipicamente, essas atividades são realizadas iterativamente, compondo ciclos de seleção-processamento-avaliação de objetos e operações (Ver item 5.1.1). Em cada ciclo objetos podem ser recuperados, modificados, armazenados ou descartados, até que o objeto musical resultante seja aprovado pelo experimentador. Tanto o resultado final como os objetos musicais intermediários construídos no decorrer do processo podem ser gravados na sonoteca para uso futuro.

Resumindo, todos os objetos musicais construídos de acordo com o modelo proposto de representação interna podem ser manipulados sônica ou estruturalmente. Nas próximas seções será mostrado como essa manipulação acontece.

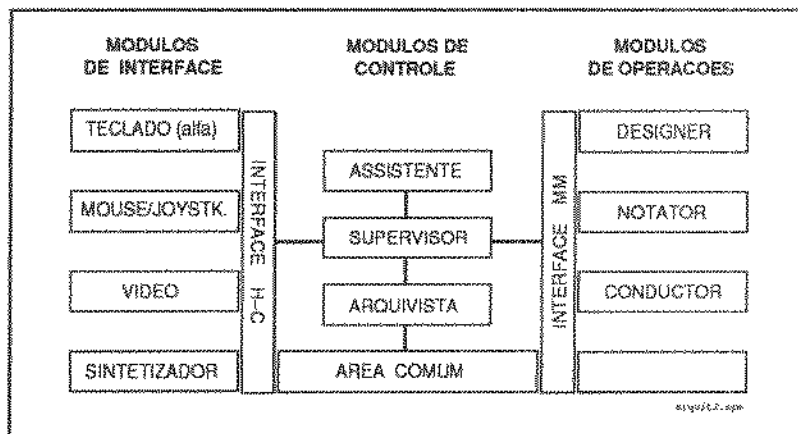


Figura 6.4: Arquitetura funcional do MM

6.5 Descrição funcional

A implementação de um ambiente de experimentação como o MM é feita através de um conjunto de programas de computador e dispositivos de comunicação homem-máquina agregados a um computador de uso geral. Esses programas e dispositivos, organizados em funções e interligados de acordo com o seu grau de inter-dependência e necessidade de inter-comunicação, constituem um sistema. À forma como esses programas e dispositivos estão organizados dá-se o nome de arquitetura funcional (de sistema). Esta seção descreve a arquitetura funcional do MM, representada pela Figura 6.4.

Os programas e dispositivos que compõem os módulos do MM podem ser agrupados, de acordo com as suas funções básicas, em tres grupos: de controle, de operações e de interface externa.

O grupo de controle é formado pelos módulos SUPERVISOR, ARQUIVISTA e ASSISTENTE. As funções principais desse grupo são: coordenar a operação dos módulos que compõe o MM, preservar a integridade dos objetos musicais armazenados e assistir o experimentador na sua interação com o MM.

Essas funções são essenciais para o correto funcionamento do MM e sua posição central na arquitetura reflete essa importância. O experimentador não tem acesso direto aos módulos de controle, embora indiretamente, faça uso constante (e obrigatório) de seus serviços. Como será visto adiante, esse isolamento não restringe a funcionalidade do ambiente de experimentação ou mesmo suas características de expansibilidade. Pelo contrário, a proteção dos módulos de controle representa a garantia de que sua extensão se dará sem prejuízos à operação básica do MM.

O grupo de operações reúne os módulos que suportam as atividades-fim do MM, ou seja as atividades relacionadas diretamente com a experimentação musical. Suas funções incluem a “edição” (estrutural e sônica), a visualização e a sonorização de objetos musicais do MM. Essas são as principais atividades do ciclo S-P-A do modelo típico de criação discutido no item 5.1.1.

As interações dos módulos de operações entre si ou com os módulos do grupo de controle obedecem a um protocolo definido e controlado pela INTERFACE MM para garantir o acesso às informações de controle e ao mesmo tempo preservar a sua integridade, impedindo a sua alteração indevida.

Vale lembrar que uma das formas de expandir as funções do MM é através da inclusão de novos módulos no grupo de operações. Sem o recurso de um protocolo bem definido de acesso às informações de controle e aos dados comuns do MM, uma falha de programação em um módulo em testes poderia comprometer a operação do MM como um todo.

O grupo de módulos de interface externa provê e controla os meios físicos de comunicação entre o MM e mundo externo. Sua função é de detectar as ações do experimentador sobre qualquer um dos dispositivos de interfaceamento conectados ao MM e transmiti-las para o módulo SUPERVISOR. No caminho inverso, deve apresentar os resultados do processamento dessas ações para o experimentador, usando os dispositivos físicos adequados.

Outra função da INTERFACE H-C é a de isolar dos módulos de operações os detalhes de programação dos dispositivos de E/S, facilitando a substituição e/ou inclusão de novos dispositivos de interfaceamento e simplificando a programação dos módulos de operações.

Finalmente, a ÁREA COMUM é uma área de armazenamento temporário de informações comuns aos vários módulos, o que inclui, por exemplo, informações sobre a representação interna dos objetos musicais sendo manipulados, a representação MIDI de objetos sendo tocados e informações de controle interno dos módulos. A sua utilização como mecanismo de comunicação deve tornar mais eficiente a operação do MM, evitando a transferência física de informações entre os módulos.

É importante notar que, assim como o SUPERVISOR concentra o controle da ativação dos módulos, a ÁREA COMUM concentra o controle sobre o acesso aos dados utilizados pelos módulos. Essa independência entre o fluxo de controle e o fluxo de dados pode ser notada nos dois diagramas da Figura 6.5 e tem por objetivo facilitar o desenvolvimento futuro do MM (Ver Capítulo 7).

Resumindo, com a arquitetura funcional aqui proposta para o MM, espera-se conseguir:

- aumentar a eficiência no chaveamento de funções no ciclo S-P-A,

- simplificar a programação e tornar mais segura a inclusão de novos módulos de operações, e
- facilitar a programação e a inclusão de novos dispositivos de interface.

A seguir cada um dos módulos da arquitetura é apresentado com mais detalhes.

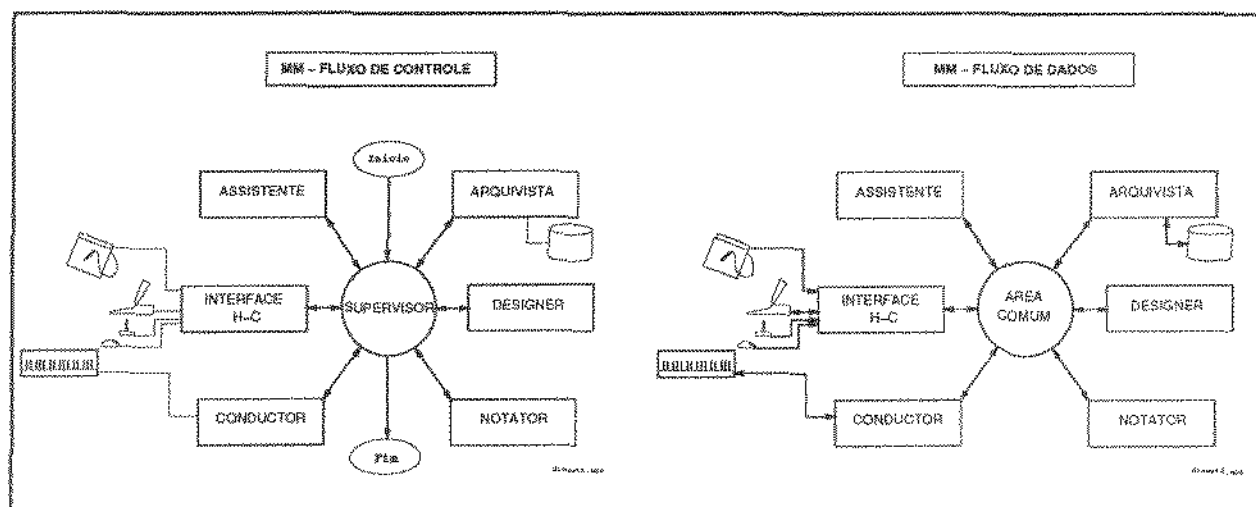


Figura 6.5: Fluxo de controle e de dados no MM

6.5.1 SUPERVISOR

O SUPERVISOR é responsável pela identificação, validação e distribuição de ativações dos módulos do MM. Essas ativações são representadas por mensagens de solicitação ou de atendimento de serviços. O diagrama da Figura 6.6 mostra o ciclo básico de operação do SUPERVISOR.

O ciclo se inicia com uma requisição de serviço provocada por algum evento externo, por exemplo, uma ação do experimentador. Após a sua identificação pelo módulo de INTERFACE H-C, a ação é codificada em uma mensagem endereçada ao módulo destinatário e enviada. O SUPERVISOR faz a validação da mensagem, completa campos de prioridade de processamento e de privilégios de acesso aos dados armazenados na ÁREA COMUM, atualiza status do sistema e envia a mensagem ao destinatário.

O módulo destinatário processa a ação codificada na mensagem, eventualmente modificando dados da ÁREA COMUM, e endereça mensagem de resposta, com as condições da execução, para o módulo remetente da requisição original.

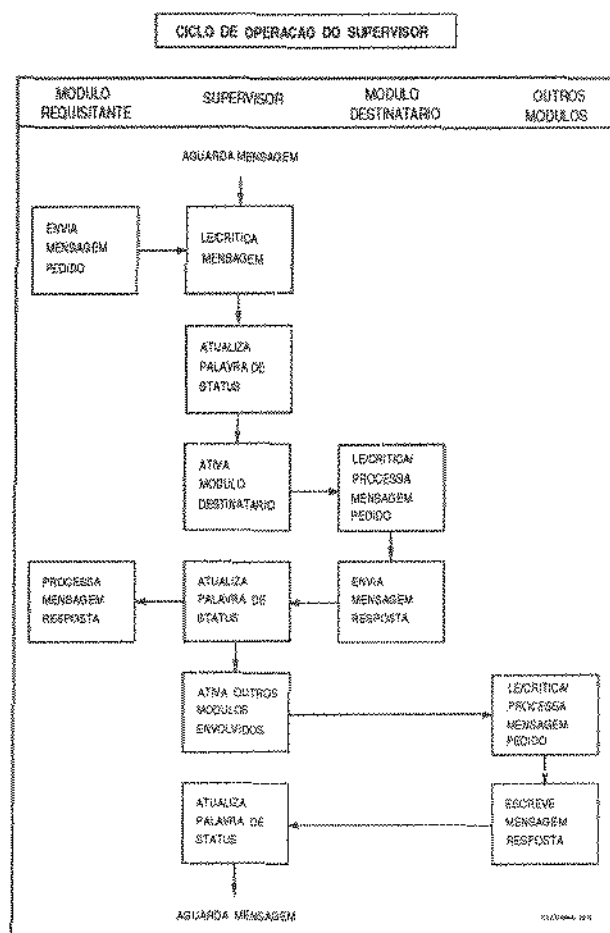


Figura 6.6: Ciclo de operação do SUPERVISOR

O SUPERVISOR verifica o campo de condições da resposta, atualiza palavra de status e, decide se alguma ação complementar é necessária. Isso acontece quando:

- houve erro no processamento da requisição original. Nesse caso o ASSISTENTE é chamado para interagir com o experimentador e resolver o problema.
- houve modificação de informações em uso por outros módulos como decorrência da execução da ação original. Nesse caso o SUPERVISOR envia mensagem de resposta ao módulo requisitante e em seguida, notifica os outros módulos envolvidos para fazerem a atualização de seus dados.

O módulo requisitante, no nosso exemplo a INTERFACE H-C, recebe a mensagem de resposta, processa-a e faz a apresentação do resultado para o experimentador.

Finalmente, encerrando o ciclo, o SUPERVISOR volta à situação de espera de nova interrupção.

Para ser implementado, o ciclo básico de operação do SUPERVISOR apresentado acima precisa ser detalhado nos aspectos seguintes:

- definição do formato das mensagens, conteúdo dos campos e tabelas associadas,
- definição do formato da palavra de status, conteúdo dos campos e tabelas associadas, e
- detalhamento dos mecanismos de controle e tratamento de prioridade de processamento e direito de acesso a informações.

Também é preciso assegurar que os mecanismos de tratamento de mensagens e da palavra de status não prejudiquem a capacidade de expansão do ambiente no que diz respeito à inclusão de novos módulos de operações.

6.5.2 ÁREA COMUM

O módulo ÁREA COMUM centraliza o armazenamento e controle dos objetos musicais e informações de uso compartilhado do MM durante uma sessão de experimentação.

Seus componentes básicos, descritos a seguir, são áreas especializadas para armazenamento de informações e mecanismos associados de controle

Área de Trabalho (AT)

A Área de Trabalho é usada para armazenar a representação interna dos objetos musicais em uso e é acessada pelo DESIGNER, para operações de edição do objeto, pelo NOTATOR, para visualização e pelo CONDUCTOR, para a sonorização.

Em um determinado momento, podem existir vários objetos musicais em uso, cada um deles com uma ou mais versões. A Área de Trabalho deve possuir mecanismos de controle para garantir o acesso ao objeto e versão corretos.

Área de Mensagens

A Área de Mensagens é responsável pelo armazenamento e controle das mensagens trocadas entre os módulos durante uma sessão de trabalho. E é acessada por todos os módulos do MM tanto para gravação como leitura das mensagens, portanto seu mecanismo de controle deve, além de preservar a ordem de chegada das mensagens, garantir que a mensagem seja recebida pelo destinatário correto.

Áreas de Interface

Usada pela INTERFACE H-C como área de apoio para a apresentação de telas gráficas, e pelo CONDUCTOR para sonorização de objetos.

No caso da interface visual, seu uso deve permitir a montagem de uma tela “virtual” contendo a visualização integral dos objetos sendo apresentados na tela física. O objetivo é agilizar as operações de *scrolling* e *zoom-in/out* suportadas pelo MM.

No caso de sonorização o objetivo é o mesmo, ou seja, garantir que o CONDUCTOR tenha acesso rápido e imediato a qualquer ponto do objeto sendo sonorizado.

6.5.3 ASSISTENTE

A atuação do ASSISTENTE se dá nos seguintes casos:

1. Tratamento de situações de conflito, ambigüidade ou insuficiência de informações nas ações do experimentador.

Sempre que não for possível interpretar ou executar uma ação ou comando do experimentador, o SUPERVISOR ativa o ASSISTENTE para prestar assistência ao experimentador. O SUPERVISOR, com base nas últimas ações do experimentador e no status do MM, inicia a apresentação de menus de orientação contextuais com o objetivo de interagir com o experimentador e eliminar a causa do problema.

2. Rastreamento das ações do experimentador e mensagens do sistema.

O ASSISTENTE mantém um registro das ações do experimentador e das mensagens trocadas entre os módulos do sistema durante a sessão de experimentação. A primeira análise desse registro deve oferecer subsídios para a evolução do MM através da identificação das operações mais utilizadas ou situações de falha mais frequentes.

Um segundo tipo de análise desse registro deve subsidiar estudos sobre estilos composicionais, através da identificação de possíveis padrões de interação com o MM.

3. Suporte à depuração de objetos musicais.

O ASSISTENTE oferece suporte ao experimentador nas atividades de depuração através dos seguintes mecanismos:

- Análise de atributos sônicos básicos.

Por exemplo, o ASSISTENTE pode calcular os intervalos entre as notas de um acorde ou de uma sequência selecionada pelo experimentador. Pode apresentar os atributos de altura, duração e intensidade de qualquer nota ou conjunto de notas selecionado. [Observe que essas informações podem não estar explícitas nos objetos musicais básicos dado que a representação interna adotada no MM

permite a existência de especificações incompletas, complementadas por atributos definidos nos níveis superiores da representação]

- Execução controlada de objetos musicais.

Em adição às facilidades de audição seletiva de objetos providos normalmente pelo CONDUCTOR, o ASSISTENTE deve permitir a audição de trechos selecionados de objetos, com o controle de seus atributos básicos.

Uma extensão útil desses mecanismos é a possibilidade de identificar, a partir dos intervalos entre as notas de um conjunto, as possíveis escalas em que o mesmo se enquadra, as possíveis modulações e cadências. E permitir a sua execução com base nessas possibilidades.

4. Registro de parâmetros de configuração personalizada do ambiente.

O ASSISTENTE é o responsável pela configuração dos parâmetros de operação do MM segundo informações fornecidas pelo experimentador. A configuração abrange tanto aspectos típicos de sistemas suportados por computador como características de caráter musical.

Entre os itens configuráveis incluem-se:

- Características da INTERFACE H-C
- Menus de comandos
- Uso de sonotecas específicas
- Características do sintetizador utilizado
- Grau de ajuda oferecido pelo ASSISTENTE.

5. Registro do contexto de uso para re-inicialização.

O salvamento do contexto de uso do MM ao fim de uma sessão de experimentação é responsabilidade do ASSISTENTE. Isso permite que uma experimentação demasiado longa possa ser interrompida e continuada posteriormente a partir do mesmo ponto.

Por contexto deve ser entendido não só os objetos musicais em uso mas também as informações apresentadas na tela e os registros internos de ações e de mensagens.

A extensão desse conceito, permitindo o salvamento e identificação de mais de um contexto, permitiria o seu uso em ambientes de uso compartilhado, ou ainda em situações onde um único experimentador estivesse desenvolvendo vários experimentos em paralelo.

As operações básicas suportadas pelo ASSISTENTE são mostradas a seguir.

MÓDULO: ASSISTENTE – Operações básicas

<i>Comando</i>	<i>Resultado</i>
<i>analise list-obj</i>	Fornece análises musicais simples sobre objetos da <i>lista-obj</i>
<i>depure obj</i>	Permite execução de um objeto musical com maior grau de controle do que aquele provido normalmente pelo CONDUCTOR
<i>informe</i>	
<i>nome-comando</i>	Fornece informações sobre o comando
<i>midi obj</i>	Permite acesso e controle do código MIDI

6.5.4 ARQUIVISTA

O módulo ARQUIVISTA é responsável pelo controle de armazenamento e recuperação dos objetos musicais criados pelo experimentador.

O armazenamento implica na transferência de um objeto que se encontra na Área de Trabalho (e portanto, só existe durante a sessão de experimentação) para um dispositivo de armazenamento permanente, onde o objeto ficará gravado para uso futuro. A recuperação é a operação inversa, quando o objeto é retirado do dispositivo de armazenamento permanente e trazido para a Área de Trabalho.

As operações básicas suportadas pelo ARQUIVISTA são mostradas a seguir.

MÓDULO: ARQUIVISTA – Operações básicas

<i>Comando</i>	<i>Resultado</i>
<i>abra pasta</i>	Abre e nomeia nova pasta
<i>apague pasta lista-obj</i>	Remove <i>argumento</i> da área de armazenamento para o lixo (Obs: para uma pasta ser apagada ela deve estar vazia)
<i>copie lista-obj pasta₁ pasta₂</i>	Copia <i>lista-obj</i> de <i>pasta₁</i> para <i>pasta₂</i> (obs: a Área de Trabalho também pode ser usada no lugar de <i>pasta₁</i> ou <i>pasta₂</i>)
<i>mostre pasta</i>	Mostra o conteúdo de <i>pasta</i>
<i>purgue lista-obj</i>	Remove versões antigas dos objetos da <i>lista-obj</i> da área de armazenamento para o lixo
<i>renomeie obj₁ obj₂</i>	Renomeia <i>obj₁</i> para <i>obj₂</i>

6.5.5 DESIGNER

O DESIGNER é o módulo responsável pela manipulação dos objetos musicais, tanto a nível estrutural como sônico, segundo as orientações do experimentador. É a partir da escolha adequada de suas operações e das facilidades para expansão das mesmas que será avaliada a capacidade de adaptação do MM a diferentes situações de utilização.

O DESIGNER trabalha diretamente sobre a representação interna dos objetos musicais, enquanto estão residentes na Área de Trabalho modificando-os estruturalmente (p.ex. adicionando novos objetos ou retirando objetos já existentes) ou nos seus atributos sônicos (p.ex. transportando todos sons para uma nova escala de alturas)

Para realizar essas operações sobre os objetos musicais, o DESIGNER está dividido em dois sub-módulos: o EDITOR e o TRANSFORMER.

O EDITOR é o sub-módulo responsável pelas modificações que afetam a estrutura da representação interna dos objetos. O seu conjunto básico de operações é fixo e não pode ser alterado pelo experimentador, para não comprometer a integridade da representação interna dos objetos.

Apesar de ser o módulo especializado em modificações estruturais, o EDITOR também pode ser usado para alterar atributos musicais de eventos individuais, através da edição do nodo correspondente ao evento.

O TRANSFORMER é responsável pelas operações sobre os atributos musicais dos objetos de forma geral. Seu conjunto básico de operações abrange as transformações típicas usadas em composição musical e pode ser estendido pelo experimentador para realizar transformações específicas.

As operações básicas suportadas pelo DESIGNER são mostradas a seguir.

MÓDULO: DESIGNER – Operações básicas sobre a estrutura

<i>Comando</i>	<i>Resultado</i>
apague-nodo <i>id-nodo</i>	Apaga nodo
copie-nodo <i>id-nodo₁ id-nodo₂ mod</i>	Cópia nodo <i>id-nodo₁</i> para <i>id-nodo₂</i> (<i>mod</i> = com ou sem estrutura subordinada)
crie-nodo <i>tipo nome</i>	Cria e nomeia um nodo da representação interna (<i>tipo</i> = nota, estrutura, sincronismo)
edite-nodo <i>id-nodo</i>	Mostra e permite a modificação dos valores dos atributos musicais do nodo referido
insira-nodo <i>nome parentesco</i>	Insere nodo já criado na estrutura referida (<i>parentesco</i> = (pai,irmão esquerdo))

MÓDULO: DESIGNER – Operações especiais

<i>Comando</i>	<i>Resultado</i>
seleciona padrão <i>id-nodo mod</i>	Seleciona eventos de <i>id-nodo</i> incluídos no <i>padrão</i> na modalidade de seleção <i>mod</i>
deseleciona padrão <i>id-nodo mod</i>	Cancela seleção dos eventos de <i>id-nodo</i> incluídos no <i>padrão</i> na modalidade de cancelamento de seleção <i>mod</i>

MÓDULO: DESIGNER – Operações básicas sobre atributos musicais

<i>Comando</i>	<i>Resultado</i>
<i>altere lista-atr-val lista-id-nodo</i>	Altera os <u>valores</u> dos atributos da <i>lista-atr-val</i> de <i>lista-id-nodo</i>
<i>apague lista-atr lista-id-nodo</i>	Apaga os <u>valores</u> dos atributos da <i>lista-atr</i> de <i>lista-id-nodo</i>
<i>busque padrão lista-id-nodo mod</i>	Identifica as ocorrências de eventos de <i>lista-id-nodo</i> incluídos no <i>padrão</i> na modalidade de busca <i>mod</i>
<i>compare lista-atr-val id-nodo₁ id-nodo₂</i>	Compara os <u>valores</u> dos atributos da <i>lista-atr</i> de um nodo com o outro
<i>copie lista-atr id-nodo₁ id-nodo₂</i>	Copia os <u>valores</u> dos atributos da <i>lista-atr</i> de um nodo para outro
<i>substitua padrão₁ padrão₂ lista-id-nodo mod</i>	Substitui ocorrências de eventos da <i>lista-id-nodo</i> incluídos no <i>padrão₁</i> pelos eventos incluídos no <i>padrão₂</i> , usando modalidade de substituição <i>mod</i>

6.5.6 NOTATOR

O módulo NOTATOR é responsável pela conversão entre o modelo de representação interna adotada no MM e os modelos de apresentação (visualização) usados pela INTERFACE H-C.

Sua função básica é a de prover funções de mapeamento para os atributos e a organização utilizados para especificar objetos musicais na representação interna. O contra-domínio dessas funções deve possuir características passíveis de representação visual.

O uso de notações é de importância fundamental para o sucesso do MM como ambiente de aprendizagem. Pois é através da sua visualização (e manipulação) que vai se dar a construção de novos objetos musicais que permitirão validar as idéias do experimentador.

O NOTATOR é ativado sempre que uma visualização for solicitada pelo experimentador ou uma alteração em objeto que esteja sendo visualizado ocorrer. No segundo caso, o NOTATOR é ativado automaticamente, reconstruindo a apresentação do objeto e notificando a INTERFACE

H-C para re-desenhar a tela. As operações básicas suportadas pelo NOTATOR são descritas a seguir.

MÓDULO: NOTATOR – Operações básicas e qualificadores

<i>Comando</i>	<i>Resultado</i>
<i>visualize obj mod</i>	Visualiza <i>obj</i> (<i>mod</i> = Estrutura, Barras ou Atributos)
<i>imprima obj mod</i>	Imprime <i>obj</i> na modalidade (de impressão) <i>mod</i> .
<i>zoom-in/zoom-out</i>	Muda escala da visualização
<i>conductor line</i>	Durante a audição, indica os objetos que estão sendo tocados a cada momento

6.5.7 CONDUCTOR

O CONDUCTOR é responsável pelo controle da audição de um objeto musical. Sua operação pode ser dividida em duas etapas: a de compilação, em que é gerado código para o sintetizador e a de execução, em que o código gerado é enviado para o sintetizador e convertido em sons.

Fase de Compilação

Consiste na transformação dos eventos musicais em códigos de controle para o sintetizador de sons. Isso é feito percorrendo-se a (sub-)árvore de representação interna do objeto selecionado, para especificar completamente os eventos terminais (que, como vimos no item 6.3, podem ter uma especificação incompleta). O resultado são várias “partituras eletrônicas” (uma para cada voz) ou seja, sequências de eventos musicais completamente especificados nos seus atributos de altura, tempo de início, tempo final e intensidade e codificados no formato MIDI.

Uma forma eficiente de construir essas sequências de códigos MIDI, é montá-las gradualmente, objeto a objeto, na medida em que o experimentador executar o ciclo seleciona-processa-avalia. Ou seja, a cada audição de um objeto musical, o código MIDI gerado como resultado da fase de compilação é guardado. Desse modo, na audição de um objeto completo só é necessário recompilar os eventuais componentes que foram alterados e ainda não foram ouvidos (o que é pouco provável existir).

Fase de Execução

É feita através de um *scheduler* que controla o envio dos eventos das partituras para o sintetizador no tempo especificado no evento. O momento de “disparo” do evento é controlado através de um relógio interno usado pelo *scheduler* e atualizado pelo CONDUCTOR. Dessa

forma, durante a audição do objeto musical é possível controlar o seu andamento controlando-se a atualização desse relógio.

Controle de Audição

Além do controle do andamento, outros atributos da execução podem ser modificados, com maior ou menor esforço, a depender do tipo de protocolo usado na comunicação com o sintetizador e da velocidade de processamento do computador utilizado.

As operações básicas suportadas pelo CONDUCTOR são mostradas a seguir.

MÓDULO: CONDUCTOR – Operações básicas

<i>Comando</i>	<i>Resultado</i>
<i>toque obj</i>	Sonoriza objeto
<i>controle lista-atr-val</i>	Controla os valores dos atributos da <i>lista-atr-val</i> do objeto sendo tocado

6.5.8 INTERFACE MM

A INTERFACE MM é basicamente um conjunto de normas de uso dos dados da ÁREA COMUM e protocolos de comunicação com os módulos do MM.

6.5.9 INTERFACE H-C

Em elaboração

Capítulo 7

CONCLUSÕES

Em elaboração

(Inclui Testes com o modelo de representação interna e com a interface H-C e sugestões de expansões futuras.)

Bibliografia

- Bennett, Roy; Instrumentos de Orquestra; Cadernos de Música da Universidade de Cambridge; Jorge Zahar Ed, 1988.
- Bennett, Roy; Forma e Estrutura na Música; Cadernos de Música da Universidade de Cambridge; Jorge Zahar Ed, 1988.
- Bennett, Roy; Instrumentos de Teclado; Cadernos de Música da Universidade de Cambridge; Jorge Zahar Ed, 1988.
- Bennett, Roy; Uma Breve História da Música; Cadernos de Música da Universidade de Cambridge; Jorge Zahar Ed, 1988.
- Bischoff, J et alli; Music for an Interactive Network of Microcomputers; Foundations of Computer Music, MIT Press, 1987.
- Buxton, W et alli; The Evolution of the SSSP Score-Editing Tools; Foundations of Computer Music, MIT Press, 1987.
- Buxton, W et alli; Scope in Interactive Score Editors; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Buxton, et alli; The Use of Hierarchy and Instance in a Data Structure for Computer Music; Foundations of Computer Music, MIT Press, 1987.
- Camurri, Antonio et alli; HARP: A System for Intelligent Composer's Assistance; IECO, v24 n7, Jul 91.
- Chadabe, Joel; Interactive Composing: An Overview; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Cope, David; An Expert System for Computer-assisted Composition; Computer Music Journal, v11, n4, Winter 1987.
- Dannenberg, Roger B; The Canon Score Language; CMJO, (013)001,047-56.
- Dannenberg, Roger B et alli; Fugue: A Functional Language for Sound Synthesis; IECO, v24 n7, Jul 91.

- Desain, P; Honing, H; LOCO: A Composition Microworld in Logo; CMJO,(012)003,030-42.
- Englert, Giuseppe; Automated Composition and Composed Automation; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Flurry, Henry; An Introduction to the Creation Station; v13 n2, Summer 1989.
- Gargarian, Gregory; Composition-Centered Music Education(Draft).
- Gargarian, Gregory; Themes in Compositional Theory; (unpublished paper).
- Gordon, Jonh W; System Archietectures for Computer Music; ACMS, v17 n2, Jun 1985.
- Harel, David; On Visual Formalisms; CACM,MAY88,0514-0530.
- Hiller, Lejaren; Composing with Computers: A Progress Report; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Jones, Kevin; Compositional Applications of Stochastic Processes; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Kaske, Stephan; A Conversation with Clarence Barlow; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Laske, Otto; Considering Human Memory in Designing User Interfaces for Computer Music; Foundations of Computer Music, MIT Press, 1987.
- Laske, Otto; Compositon Theory in Koenig's Project One and Project Two; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Laske, Otto E; Introduction to Cognitive Musicology; CMJO,(012)001,043-57.
- Loy, D Gareth; Musicians make a Standard: The MIDI Phenomenon; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Loy, D Gareth; Notes on the Implementation of MUSBOX: a Compiler for the S.C.D.Synthesizer; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Loy, D Gareth and Abbott, Curtis; Programming Languages for Computer Music Synthesis, Performance, and Composition; ACMS, v17 n2, Jun 1985.
- McAdams, A; Hearing Musical Streams; Foundations of Bregman, Albert Computer Music, MIT Press, 1987.

- McNabb, Michael; *Dreamsong: The Composition; The Music Machine*, MIT Press, 1989.
(Introduz MUS10).
- Merrill, David M; *An Expert System for Instructional Design*; IEEE, Summer 1987.
- Miller, Jim; *Personal Composer*; *Computer Music Journal*.
- Minsky, Marvin; *Music, Mind, and Meaning The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Moore, F Richard; *The Disfunctions of MIDI CMJO*, (012)001,019-28.
- Myers, Brad A; *Creating Interaction Techniques by Demonstration*; IECA, SEP87,0051-0060.
- Myers, Brad A; *A Taxonomy of Window Manager User Interfaces*; IECA, SEP88,0065-0084.
- Pennycook, Bruce W; *Computer-Music Interfaces: A Survey*; ACMS, v17 n2, Jun 1985.
- Polansky, Larry; *Interview with David Rosenboom The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Rahn, John; *On Some Computational Methods of Music Theory; The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Risset, Jean-Claude; *Computer Music Experiments 1964-...; The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Roads, Curtis; *Grammars as Representations for Music; Foundations of Computer Music*, MIT Press, 1987.
- Roads, Curtis; *Interview with Max Mathews; The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Roads, Curtis; *Interview with Paul Lansky The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Roads, Curtis; *A Conversation with James A. Moorer The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Roads, Curtis; *Research in Music and Artificial Intelligence*; ACMS, vol17 n2, Jun 1985.
- Rodet, X; Cointe, Pierre; *FORMES: Composition and Scheduling of Processes; The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Rothgeb, John; *Simulating Musical Skills by Digital Computer; The Music Machine*, MIT Press, 1989.
- Ryan, Bob; *Scripts Unbounded*; BYTE, AUG90,0235-0240.
- Scaletti, Carla; *The Kyma/Platypus Computer Music Workstation*; CMJO, (013)002,023-38.

- Schottstaedt, Bill; *Pla: A Composer's Idea of a Language*; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Sibley, Edgar H; *The Adaptable User Interface*; CACM, NOV89, 1352-1358.
- Solomon, Cynthia; *Computer Environments for Children*; The MIT Press, 1987.
- Sonnenwald, Diane H; *Applying Artificial Intelligence Technology to H-C Interfaces*; IECM, MAR88, 0014-0020.
- Taylor, Robert P; *The Computer in the School: Tutor, Tool, Tutee*; Teachers College Press, 1980.
- Yavelow, Christopher; *Music and Microprocessors: MIDI and the State of the Art*; The Music Machine, MIT Press, 1989.
- Waern, Karl-Gustaf; *Cognitive Aspects of Computer Aided Design*; Handbook of H-C Interaction; Helander, M (ed).
- Wisnik, J Miguel; *O Som e o Sentido*; Cia das Letras, 1989.
- Wolfram, S et alli; *TABLET: Personal Computer in the Year 2000*; CACM, JUN88, 0639-0646.
- Woolf, B; McDonald, D; *Building a Computer Tutor: Design Issues*; IEEO, September 1984.
- Woolf, B; Cunningham, P; *Multiple Knowledge Sources in Intelligent Teaching Systems*; IEEE, Summer 1987.
- Ziegler, J E and Fahnrich, K P; *Direct Manipulation*; Handbook of H-C Interaction; Helander, M (ed).

SIGLAS USADAS:

ACMS	ACM Computing Surveys
CACM	Communications of ACM
C&GR	Computer & Graphics
CLAN	Computer Languages
CMJO	Computer Music Journal
IECA	IEEE Computer Graphics and Applications
IECM	IEEE Communications Magazine
IECO	IEEE Computer
IEEE	IEEE Expert
IEES	IEEE Spectrum
IESW	IEEE Software