

## 6 - Referências bibliográficas

- BERNARDINI, Aurora Fornoni. Org. O Futurismo Italiano. São Paulo: Editora Perspectiva, 1980.
- BORETZ, B. e CONE, E.T. Perspectives on American Composers. New York: W.W. Norton, 1971.
- COPE, David. New Music Composition. New York: Macmillan Publishing, 1977.
- DODGE, Charles. Profile: A Musical Fractal. In: Computer Music Journal. Vol.12, nº3, Fall 1988, pp10-14.
- ERNST, David. The Evolution of Electronic Music. New York: Schirmer Books, 1977.
- GLEICK, James, Caos-A Criação de uma Nova Ciência, Editora Canpus, Rio de Janeiro, 1988.
- MANDELBROT, Benoit. The Fractal Geometry of Nature. New York: Freeman W.H. Company, 1983.
- PEITGEN, H.-O. e RICHTER, P.H. The Beauty of Fractals. Berlin: Springer Verlag, 1986.
- PEITGEN, H.-O. e SAUTE, D. Editors. The Science of Fractal Images. New York: Springer Verlag, 1988.
- SCHAEFFER, Pierre. Tratado dos Objetos Musicais. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993.
- SCHOENBERG, Arnold. Fundamentals of Musical Composition. London: Gerald Strang & Leonard Stein-Faber and Faber, 1977.
- SCHWENK, Theodor. Das Sensible Chaos. GmbH Stuttgart: Verlag Freies Geistesleben, 1962.
- TISDALL, Caroline e BOZZOLA, Angelo. Futurism. Singapura: Thames and Hudson, 1996.

## Uma Representação de Conhecimento em Harmonia Musical

LUCIÊNIO DE MACÊDO TEIXEIRA

*Departamento de Artes / Laboratório de Informática Aplicada às Artes – CH-UFPB*  
lucienio@liaa.ch.ufpb.br

EDILSON FERNEDA

*Departamento de Sistemas e Computação – CCT-UFPB*  
edilson@dsc.ufpb.br

EVANDRO DE BARROS COSTA

*Departamento de Informática e Matemática Aplicada – CCEN-UFAL*  
ebc@fapeal.br

CCT/UFPB – Caixa Postal 10.090  
58.109-970 Campina Grande, PB

**Abstract:** The lack of knowledge representation in the domain of teaching musical harmony is the main motivation for the present paper. As a strategy, in the paper we begin by evaluating that material traditionally used in teaching Harmony such as specific exercises, formal concepts, etc with the aim of enlarging the common representation of concepts, objects, and structures found in this domain. Some considerations on the formal knowledge representation are discussed in the paper. Finally, a general structure for musical concepts or objects is presented including their relationships

## 1 Introdução

Na busca de ferramentas para o suporte às atividades ligadas ao domínio da Música, diversos sistemas computacionais têm sido desenvolvidos, notadamente aplicações voltadas para a Teoria Musical, tais como sistemas de notação musical, reconhecimento de partituras, sistemas de análise, sistemas tutoriais e sistemas de composição.

Nesta perspectiva, o projeto no qual se insere este trabalho visa o desenvolvi-

mento de um Sistema Tutor Inteligente no domínio da Harmonia Musical (Teixeira 1997). Para isso, investiu-se inicialmente nos aspectos de organização e representação do conhecimento deste domínio.

Aqui, é proposto um modelo de representação e manipulação do conhecimento musical que permita a sua utilização de forma coerente em um ambiente computacional, voltado ao ensino de Harmonia Musical.

Como estratégia, o material tradicionalmente utilizado no ensino de Harmonia (exercícios específicos, conceitos formais, etc) foi avaliado com o intuito de dar uma maior abrangência no que se refere à representação dos conceitos, objetos e estruturas encontradas neste domínio.

## 2 Algumas considerações sobre representação de objetos musicais

Para demonstrar a complexidade e a estruturação da Música, mais particularmente da Harmonia, basta analisar seus componentes. Percebe-se logo de início que os objetos musicais estão posto em dois grupos distintos, *formal e cognitivo* (Dannenberg 1993), que respectivamente são:

- os objetos que podem ser tratados matematicamente, que em geral são os que podem ser dispostos em uma partitura, por exemplo: notas, tempo, harmonia, alterações, tonalidades, frequências, etc e
- os objetos que se encontram no domínio do perceptivo. Aqui cabem todas as informações que, por sua natureza, não podem ser organizadas em uma folha de papel. Pode-se citar como exemplos as questões de tensão e relaxamento, expectativa, emoção, contexto histórico e performance.

Estes dois grupos interatuam de forma a se complementarem (Ferneda, Silva, Teixeira & Silva 1994). Mesmo quando das tentativas de representação da parte formal, os pesquisadores sempre buscam, na medida do possível, levar em consideração os aspectos, em geral estudados em Musicologia, Análise e Composição, que não “aparecem” explicitamente na partitura. Separar uma coisa da outra, genericamente, pode terminar por resultar em uma “caricatura” do domínio alvo.

Como consequência deste relacionamento, pode-se presumir os mais variados níveis de representação que podem ser encontrados em uma obra musical. Isso se dá pela forma como necessita ser direcionada uma representação, a depender do objetivo (relevância), onde alguns aspectos devem ser colocados em segundo plano e/ou ignorados (abstração) (Wiggins, Miranda, Smail & Harris 1993).

Embora este trabalho contemple os objetos do primeiro grupo, existe a preocu-

pação em tornar disponível esta representação de forma a permitir seu uso em estágios mais avançados do ensino de Harmonia. Aqui é cabido dotar a representação de mecanismos que façam referência a diversos contextos (Teixeira, Costa, Silva & Ferneda 1995).

A conclusão é que, embora se trabalhe com determinadas partes formais do universo musical, há a necessidade de não negligenciar a existência de todo um domínio informal (cognitivo) que é de suma importância na resolução de determinados problemas (Widmer 1992).

## 3. Representação de estruturas musicais

Após a separação dos elementos desses dois grupos (formal e cognitivo), o passo seguinte é definir a *estruturação e hierarquização* da representação. Por *estruturação* entende-se a organização do material sonoro (de acordo com a literatura básica de ensino de Harmonia (Hindemith 1986, Kostka 1984, Schoenberg 1979)), de maneira a compor estruturas que encerrem em si mesmas um significado completo (Dannenberg 1993). Estruturas menores podem continuar gerando outras estruturas, sempre respeitando um sentido estético e formal. Já a *hierarquização* é a disposição lógica dessas estruturas onde pode haver dependências, abstrações ou heranças entre elas.

Um outro cuidado a ser tomado é resultado da aparente simplicidade da informação musical. Esta pode levar à criação de estruturas aparentemente não tão complexas e por isso deve-se esquematizá-las de maneira a permitir que as mesmas possam ser estendidas posteriormente. O conceito de tonalidade, por exemplo, pode ser visto de forma equivocadamente simples (como a definição de uma escala por exemplo). Por outro lado, a definição de tonalidade implica na definição de uma nota inicial, um conjunto de intervalos predefinidos, um coleção fechada de acordes e uma escala também formada por intervalos predefinidos. Dependendo do ponto de vista, pode-se restringir inconscientemente uma estrutura, deixando sua representação aquém das necessidades reais.

Como passo inicial, deve-se definir as primitivas e como estas devem ser estruturadas. Já aqui, um descrição puramente teórica pode produzir as “caricaturas” anteriormente referidas. Portanto, o conhecimento cognitivo deve servir de *interprete* do formalismo utilizado, na intenção de definir o que é adequado ou não, ou se o potencial teórico está bem aplicado.

É justamente neste momento que se faz a separação nos dois grupos descritos no tópico anterior (representação de natureza teórica e representação de natureza cognitiva). Estas representações irão assumir diferentes perspectivas, de acordo com um domínio musical específico (Honing 1993). Neste ponto, deve-se compreender

que dificilmente existirá uma representação ou conjunto de representações que consiga envolver todas as esferas de ação da Música. Para cada domínio devem ser considerados diferentes aspectos e, a depender das ações, a parte formal pode ser preponderante em relação à parte cognitiva e vice-versa.

Entre as áreas do conhecimento musical (mais especificamente em Análise e Produção Musical) onde a representação formal (teoria), segundo Honing (Honing 1993), prepondera em relação à representação cognitiva estão a *Musicologia*, a *Música Computadorizada*, a *Edição Musical* e os *Sistemas de Recuperação*.

#### 4 Uma proposta de representação

O que se deseja com a representação aqui considerada, é a sua utilização voltada ao ensino de Harmonia. A principal preocupação desta representação é a de prover mecanismos que possam suprir as necessidades de ensino e aprendizagem em Harmonia. Nesta fase do trabalho preocupou-se apenas em representar as estruturas básicas envolvidas no ensino de Harmonia propriamente dito. Todas as estruturas mais complexas da Harmonia são, de uma maneira ou de outra, variações dessas estruturas básicas.

A Harmonia é um exemplo típico de domínio, onde se constata a presença de objetos estruturados. Por este motivo, a primeira providência foi identificar quais elementos musicais são preponderantes na resolução de problemas harmônicos. Nesta primeira fase, a preocupação foi a de isolar as menores partículas musicais e, partindo delas, ir construindo os objetos subseqüentes por ordem de complexidade.

Tomando a definição do objeto *nota* como base das estruturas musicais, tem-se como resultado o fluxograma apresentado na Figura 1, com a dimensão das relações entre os vários objetos desse domínio. Aqui a hierarquia intrínseca vai do objeto mais simples (estruturalmente) até o mais complexo.

Seguindo esta ordem encontra-se:

- que os Intervalos estão em relação de dependência e de herança horizontal\* com o objeto Notas;
- que as Escalas e Acordes estão em relação de dependência e herança horizontal com o objeto Intervalo e que de acordo com sua disposição (vertical ou horizontal) gera um ou outro,

\* Entende-se por *herança horizontal* a relação onde o valor de um atributo de um objeto é definido pelo valor deste mesmo atributo em um dos componentes do objeto. Por exemplo, a definição de um *Intervalo* pressupõe a definição de duas notas e seus atributos intrínsecos e, conseqüentemente, o objeto *Intervalo* herda horizontalmente os atributos de *Notas*.

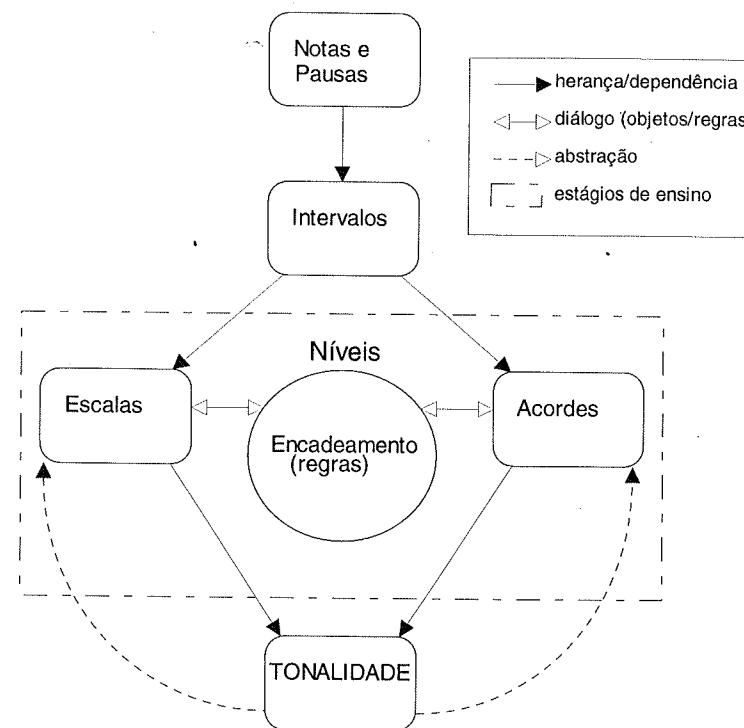


Figura 1: estruturação dos objetos musicais relevantes à Harmonia

- que alguns atributos e métodos de Escalas e Acordes são definidos pelo objeto Níveis, que representa os vários estágios de aprendizagem,
- que a relação entre Escalas e Acordes com o objeto Encadeamento se dá através de métodos (regras) de manipulação e tratamento;
- que Escalas e Acordes definem o objeto Tonalidade ao mesmo tempo que são uma abstração desta última e
- que Tonalidade define um conjunto singular de Acordes e uma única Escala.

De maneira similar, e principalmente em relação aos acordes, talvez o objeto de maior interesse em Harmonia, a sua estrutura deve permitir certas possibilidades de inferência, tais como:

- a partir de um acorde incompleto chegar às notas faltantes,
- de um acorde complexo deduzir sua construção básica (sem dissonâncias, etc),

- construir todas as possibilidades de inversões de um acorde,
- localizar, dentro de uma tonalidade, qual a função de determinado acorde.

Torna-se evidente que para cada um dos exemplos acima, quando tratados por uma representação orientada a objetos, cada “metamorfose”, ou variação, deve ser vista como objetos independentes. Esta preocupação é necessária pelo fato de que tal complexidade deve ser encarada com um certo desvelo, não só pelo motivo da representação em si, mas, principalmente, pelas necessidades inerentes ao ensino e aprendizagem de tal matéria, como dito anteriormente.

Ainda dentro do objeto *Níveis*, tem-se o objeto *Encadeamento*. Este é responsável pelas regras que irão guiar as diversas possibilidades de resolução de um encadeamento. Mais uma vez os mesmos níveis de aprendizado impostos a um aprendiz humano devem ser ressaltados: neste caso, determinadas regras podem ser relevantes em um instante e, em outro, podem ser relegadas a um segundo plano.

Algumas considerações sobre o objeto *Tonalidade*: a *Tonalidade*, em um determinado instante do ensino de Harmonia, possui uma função básica: definir quais acordes e quais escalas farão parte de um problema. Isso possibilita a eliminação de uma grande parte do conjunto de acordes e escalas quando da resolução de um exercício.

As *cifras* estão associadas aos *acordes* e são responsáveis por determinar suas funções. Dessa maneira, uma *cifra* pode estar associada a diversos *acordes*, sendo que a definição biunívoca entre *acordes* e *cifras* é especificada pela *tonalidade*.

Algumas considerações sobre o objeto *encadeamento*. Existem de dois conjuntos distintos de regras que devem ser observadas na resolução de problemas:

- as regras de encadeamento propriamente ditas: são aquelas que regem a maneira como devem se relacionar as seqüências de acordes,
- as regras de distribuição de vozes: responsáveis por manter cada melodia gerada com as regras de encadeamento dentro de parâmetros estéticos aceitáveis (melodias coerentes, dificuldades de execução por um cantor, extensão e respeitar certos relacionamentos entre as demais vozes).

Estes dois conjuntos se inter-relacionam e, com relação à proporção, pode-se dizer que as regras de distribuição são em número menor que as regras de encadeamento. No escopo deste trabalho, não se tem a intenção de representar o universo das regras de encadeamento. O motivo é que, como antes dito, de acordo com o encaminhamento dado pelo professor, pode-se acrescentar ou suprimir um conjunto determinado de regras.

## 5 Aspectos computacionais da representação

Motivado pela maneira encontrada na organização dos elementos musicais, juntamente com a necessidade de garantir que a manipulação de alguns atributos preponderassem em relação aos demais; optou-se pela utilização do paradigma de *Orientação a Objetos* (OO). A consistência do paradigma de OO aplicado à Música pode ser avaliada em diversos trabalhos (Pope 1991). Aqui, os benefícios de modularização, encapsulamento e especificação hierárquica de componentes foram preponderantes na escolha da OO. A consequência dessa escolha e de seus benefícios assemelha-se muito a um sistema que tenha como paradigma a utilização de *frames*.

## 6 Conclusão

Sobre a representação do conhecimento musical realizada, embora não incluía as regras harmônicas (objetivo previsto em trabalhos futuros), pode-se entrever suas contribuições. A capacidade de resolver algumas das questões teóricas de Música, tais como:

- a enarmonia em particular,
- encontrar respostas completas a partir de objetos musicais incompletos,
- capacidade de construir os objetos de escalas, acordes e tonalidades, relevantes ao domínio de Harmonia.

Estas questões podem ser consideradas como incentivo à ampliação deste modelo de representação, com o objetivo de abranger o universo de regras (sejam em contexto Normativo ou Funcional) e de estruturas mais complexas.

Como comprovação deste caminho, logo após a implementação (código) das estruturas relevantes em linguagem LPA-Prolog++ (Vasey 1995), o programa gerado “retornou” à sala de aula para a correção de exercícios aplicados, demonstrando positivamente a sua eficácia.

Atualmente, esforços estão sendo efetuados para o desenvolvimento de um Sistema Tutor em Harmonia Musical tomando como base esta representação e baseada no modelo de arquitetura de Sistemas Tutores Inteligentes MATHEMA (Costa 1997).

## Referências bibliográficas

Costa, E.B. (1997). *Um Modelo de Ambiente Interativo de Ensino e Aprendizagem Baseado numa Arquitetura Multi-Agentes*, Tese de Doutorado, COPELE / CCT /

UFPB, Campina Grande, PB.

- Dannenberg, R.B. (1993). Music Representation Issues, Techniques, and Systems, *Computer Music Journal*, MIT Press, EUA, 17(3), 20-30.
- Ferneda, E., Silva, C.A.P., Teixeira, L.M. & Silva, H.M. (1994). A System for Aiding Discovery in Musical Analysis, *Anais do I Simpósio Brasileiro de Computação e Música*, pp. 177-184, SBC, Caxambu, MG,.
- Hindemith, P.(1986). *Harmonia Tradicional*, Irmãos Vitale, São Paulo, 1986.
- Honing, H. (1993). Issues in the representation of time and structure in music, *Contemporary Music Review*, 9. (<ftp://mars.let.uva.nl/honing/PAPERS/H-93-B.HTML>).
- Kostka, S., Payne, D.(1984). *Tonal Harmony: with an Introduction to Twentieth-Century Music*, Alfred A. Knopf, New York, EUA.
- Pope, S.T. (Ed) (1991). *The Well-Tempered Object: Musical Applications of Object-Oriented Software Technology*, MIT Press, EUA.
- Schonberg, A.(1979) *Tratado de Armonía*, Real Musical, Madri, Espanha.
- Teixeira, L.M., Costa, E.B., Silva, C.A.P. & Ferneda, E. (1995). Aquisição do Conhecimento em Harmonia: Um ambiente de Aprendizagem, *Proceedings of the 2nd Brazilian Symposium on Computer Music*, 290-296, Canela, RS.
- Teixeira, L.M. (1997). *Da representação do conhecimento musical ao esboço conceitual de uma sociedade de agentes em Harmonia*, Dissertação de Mestrado, COPIN / CCT / UFPB, Campina Grande, PB.
- Vasey P. (1995). *LPA-Prolog++ 2.0, Programmer's Reference*, Logic Programming Associates Ltd., Londres, Inglaterra.
- Widmer, G. (1992). Qualitative Perception Modeling and Intelligent Musical Learning, *Computer Music Journal*, 16(2), 51-83, MIT Press, EUA.
- Wiggins, G., Miranda, E., Smaill, A. & Harris, M. (1993). A Framework for the Evaluation of Music Representation Systems, *Computer Music Journal*, 17(3), 31-42, MIT Press, EUA.

## Sistema Inteligente para a Escolha do Melhor Dedilhado Pianístico

**Alexandre B. Viana, José H. F. Cavalcanti**  
NEUROLAB/COPIN/UFPB

Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó  
CEP-58109-970 Campina Grande – PB - BRASIL  
e-mails: {viana, homero}@dsc.ufpb.br

**Pablo J. Alsina**

LECA/DEE/UFRN

Passeio dos Girassóis s/n - Lagoa Nova  
CEP. 59075-970 Natal – RN - BRASIL  
e-mail: pablo@leca.ufrn.br

### ABSTRACT

This paper shows the design, implementation details and experimental results obtained from Intelligent System (IS) to aids musical students to learn the optimum melody piano's fingering. The IS uses a Genetic Algorithm for the choice of the optimum fingering.

### RESUMO

Este trabalho mostra o desenvolvimento, implementação e resultados experimentais obtidos de um Sistema Inteligente (SI) voltado para o ensino de música aos estudantes de piano na obtenção de um dedilhado ótimo de uma melodia musical. O SI utiliza um Algoritmo Genético para a escolha da seqüência do melhor dedilhado.

### 1. Introdução

Durante a fase de aprendizagem de uma obra musical para piano, o aluno iniciante se sente desmotivado pelo não conhecimento da seqüência dos dedos a serem aplicados nas diferentes teclas do instrumento durante a execução da melodia musical. Por isso é fundamental a presença constante do professor junto ao aluno para que, a partir de exemplos corretos do dedilhado pianístico, ele tenha um melhor aprendizado. Além disso, é importante que o aluno não crie vícios mecânicos no dedilhado. Os vícios mecânicos prejudicam o andamento do dedilhado e o aprendizado da peça musical. Assim, é necessário que o aluno conheça a priori a seqüência do dedilhado a ser usado nos trechos da peça para que sua interpretação seja a melhor possível.