

CAPÍTULO 2

APLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL À COMPOSIÇÃO MUSICAL

“By influencing the way he thinks about music, the computer can only extend the creative intellect of the composer.”

Smoliar, Process Structuring and Music Theory.

2. Aplicações da inteligência artificial à composição musical.

2.1 Apresentação.

Neste segundo capítulo iremos relacionar a inteligência artificial e a composição musical. Iremos nos referir especificamente a três abordagens típicas desta relação: sistemas estocásticos, sistemas heurísticos e sistemas baseados em gramática gerativa. Posteriormente, descreveremos com mais detalhes uma implementação em particular, projetada para a composição musical contemporânea. Finalizamos o capítulo com uma análise dos limites e alcances da inteligência artificial aplicada à composição musical.

2.2 Modelando a composição musical – composição algorítmica.

Imaginamos que neste ponto o leitor já esteja familiarizado com o tipo de projeto realizado pela IA, e com alguns dos problemas por ela enfrentados. Vamos, pois, iniciar nossa investigação da aplicação da IA no intuito de modelar a criatividade musical. Podemos encontrar aplicações tanto no sentido fraco quanto no forte da IA. Pelo lado fraco, teremos programas composicionais imbuídos da tarefa de gerar obras musicais, sem necessariamente explicarem o processo composicional humano. No outro extremo (forte), encontraremos programas que possuem a intenção de explicar a criatividade humana, que podem, supostamente, ser tomados como modelos composicionais da mente. No sentido fraco da IA, relacionamo-la à CAC (*Computer-assisted composition*), uma forma de utilizar o computador como um auxiliar, inclusive criativo¹, ao compositor. Em seu sentido forte um programa não é um auxiliar, mas um compositor.

A composição algorítmica não foi iniciada com o surgimento dos primeiros computadores. Podemos ver algoritmos composicionais desde a idade média, como em Guido D'arezzo no século XI (MANZOLLI et al, 2000; MANZOLLI, 1996), Mozart no século XVIII, e Cage e Xenakis, entre outros, nos século XX (GRIFFITHS, 1978). Como Manzolli

¹ Por auxiliar criativo entendemos que o computador pode gerar valores, normalmente locais como notas, mas o tipo de operação executada pelo computador e a estruturação global e são determinadas do compositor.

aponta (2000, pp.112-113), normalmente existem duas fases distintas na elaboração de um algoritmo composicional: *seleção* e *geração* (muitas vezes existem mais etapas). A primeira relaciona-se à escolha do material musical que serve como elemento estrutural de mais *baixo-nível* (podem ser notas, motivos, equações matemáticas, e assim por diante). A segunda, *geração*, caracteriza-se por um processo de elaboração (organizacional) desses elementos básicos em estruturas formais de *alto-nível*.

Vamos abordar a criatividade musical em sistemas de inteligência artificial através de três modelos clássicos: sistemas estocásticos, sistemas heurísticos e sistemas gerativos. Em qualquer dos três casos, geralmente a etapa de seleção, ou escolha das unidades estruturais básicas, é definida *a priori*, e o programa irá operar sobre elas.

2.2.1 Sistemas estocásticos.

“Meaning and coherence are achieved by purely formal procedures” (HILLER e ISAACSON, 1958, p.9). Baseados em afirmações dessa natureza, as primeiras tentativas de geração de obras musicais por sistemas computacionais foi baseada em sistemas estocásticos, ou composição por geração e teste (SCHWANAUER e LEVITT, 1993). Sistemas estocásticos são sistemas onde a geração de valores é determinada num espaço probabilístico. *“A physical system, or a mathematical model of a system which produces such a sequence of symbols governed by a set of probabilities, is known as a stochastic process.”* (SHANNON, 1949, p.5). Procedimentos estocásticos podem ou não ser randômicos, o que significa que seu comportamento é determinado (ou indeterminado) pelo *acaso*. Entendemos aqui acaso como um espaço probabilístico uniformemente distribuído. Em computação, processos estocásticos são gerados pseudo-randomicamente, pois a aleatoriedade é dependente do valor inicial e é determinada por algum algoritmo.

Os primeiros sistemas de IA relacionados à geração estocástica de música eram bastante simples em sua concepção. Valores randômicos dentro de um determinado alcance eram filtrados por regras preestabelecidas (geração e teste) que correspondessem a algum sistema composicional. Essas regras podiam ser, por exemplo, as do contraponto palestriniano, do contraponto dodecafônico etc. Os valores considerados adequados pela filtragem eram armazenados numa seqüência, e os não adequados, descartados. Após *n* passos existe, então, uma seqüência de valores que pode ser convertida em parâmetros musicais

(notas, durações, intensidades etc). Podemos entender a composição através de tais métodos como a predeterminação de regras que atuam como filtros num espaço probabilístico uniforme (ruído branco). Um dos problemas apontados em tal processo, principalmente quando incumbido de gerar música tonal, é a incapacidade de coerência motívica e formal, evidentemente devido à sua natureza estocástica (MOORER, 1972, p.181).

Foram desenvolvidas aplicações mais sofisticadas nas quais a probabilidade da ocorrência de um evento é determinada pela ocorrência anterior do outro(s) evento(s). Esta abordagem em áreas como composição e análise musical deve-se ao enorme interesse causado pelo trabalho de Shannon (1949) *The mathematical theory of communication* (BROOKS et al., 1957; PIERCE, 1980). Probabilidade condicionada por eventos anteriores são conhecidas por processo de Markov, ou cadeia de Markov (ou Markoff). Em Shannon (1949, p.8) temos a seguinte definição de cadeia de Markov:

“There exist a finite number of possible “states” of a system; S_1, S_2, \dots, S_n . In addition there is a set of transition probabilities; $p_i(j)$ the probability that if the system is in state S_i it will next go to state S_j . To make this Markoff process into an information source we need only assume that a letter [or note] is produced for each transition from one state to another. The states will correspond to the “residue of influence” from preceding letters.”

Cadeias de Markov de primeira-ordem são governadas pelo estado atual do sistema, já as de alta-ordem são determinadas historicamente. Uma cadeia de Markov de ordem 6, por exemplo, abarca o estado atual mais os cinco estados anteriores cronologicamente para determinar a probabilidade do próximo estado.

Com cadeias de Markov temos tanto um caráter indutivo quanto dedutivo, num processo de análise-síntese. A parte indutiva do processo é a análise de um conjunto de amostras. Essa análise determina a probabilidade de ocorrência de um evento pela sua relação com n fatores anteriores num determinado *corpus*. Por exemplo, a probabilidade de ocorrer uma nota Eb numa sequência, após as notas B, Bb, D será determinada pela frequência de ocorrência de uma série B, Bb, D e Eb dentro do conjunto das amostras analisadas. Podemos dizer que cadeias de Markov são sensíveis ao estilo musical, refletem a probabilidade de ocorrência de certas seqüências dentro de certos estilos. Determinadas as cadeias de probabilidades pela análise, entra o procedimento de geração, a parte dedutiva do processo: valores normalmente randômicos são gerados e aplicados sobre o espaço probabilístico já determinado. Por exemplo:

Após a seqüência de notas C, E, G, temos o seguinte espaço probabilístico para a próxima nota:

$$A \leftarrow 0 \leq x < 0.2$$

$$C \leftarrow 0.2 \leq x < 0.3$$

$$E \leftarrow 0.3 \leq x < 0.5$$

$$G \leftarrow 0.5 \leq x < 1.0$$

e um valor randômico entre 0 e 1 é gerado, onde, nesse caso, a maior probabilidade é que uma nota G seja gerada (exemplo de BROOKS et al., 1957).

Brooks et al. (1957, p.29) apontam algumas considerações na aplicação de cadeias de Markov para geração de música: a) se a ordem for muito baixa tem-se pouca restrição na geração, o que acarreta em pouca identidade estilística; b) se a ordem for muito alta para um espaço de amostras restrito, o material gerado será uma réplica das amostras; c) se a diversidade das amostras for pouca, ou seja, uma amostragem redundante, mesmo com ordens baixas, teremos resultados muito homogêneos.

2.2.2 Sistemas heurísticos.

A aplicação de sistemas estocásticos, como vimos acima, tem a característica de ser um processo altamente serial: um valor é gerado e testado após outro. No entanto, surgiram outras abordagens para o problema da simulação de processos composicionais empregados por humanos, uma delas é a heurística (MOORER, 1972, p.167). Por heurística entendemos: “*constraining the search space of initially generated notes with explicit musical rules*” (SCHWANAUWER e LEVITT, 1993, p.3). Ou seja, em vez do sistema realizar uma busca em todo o espaço de possibilidades, é estabelecida uma estratégia que restringe o espaço de busca por certas regras. Esse tipo de aplicação foi muito empregado em programas para o jogo de xadrez, no qual a análise de todas as possíveis jogadas em determinado estado do programa seria computacionalmente inviável. Acredita-se que este procedimento seja mais semelhante ao utilizado por humanos.

Moorer (1972), na tentativa de conseguir abarcar forma e motivo, desenvolveu um programa no qual primeiro é gerada a forma da música por relações matemáticas estabelecidas pelo supervisor, em função desta são gerados os acordes, e posteriormente as notas de maneira também subordinadas aos acordes, gerando seqüências melódicas que são armazenadas e reutilizadas, fazendo-se as devidas alterações harmônicas. Segundo Moorer isto geraria a coerência motívica. O autor ainda afirma que este tipo de sistema pode ser aplicado aos mais variados estilos composicionais alterando-se os parâmetros matemáticos. *“The algorithm is actually quite general and could produce a tremendous stylistic variety of music depending on the setting of the parameters”* (1972, p.182).

Em processos heurísticos existe ainda a possibilidade de ter-se vários planos paralelos para a solução de um problema, gerando uma estrutura em forma de árvore. Nesse tipo de procedimento também temos, como nas cadeias de Markov, uma relação histórica onde os estados atuais são decorrentes dos estados anteriores. Com alternativas sendo desenvolvidas paralelamente, o sistema pode determinar, por regras, qual delas é mais adequada. Portanto, não se trata de um sistema serial de geração aleatória com filtragens, mas da análise de várias alternativas possíveis. As alternativas são encadeadas na forma de seqüências, e muitas são desenvolvidas até um estágio mais avançado. Outras são descartadas logo de início, de acordo com as regras estabelecidas. Devido a isso o espaço da busca é reduzido, pois alternativas já descartadas não são mais consideradas. O mesmo problema encontrado no estabelecimento da ordem adequada das cadeias de Markov é encontrado aqui, onde regras muito restritivas não permitem que as seqüências avancem para a solução do problema (MOORER, 1972, p.172). Uma ilustração da heurística em forma de árvore é a seguinte:

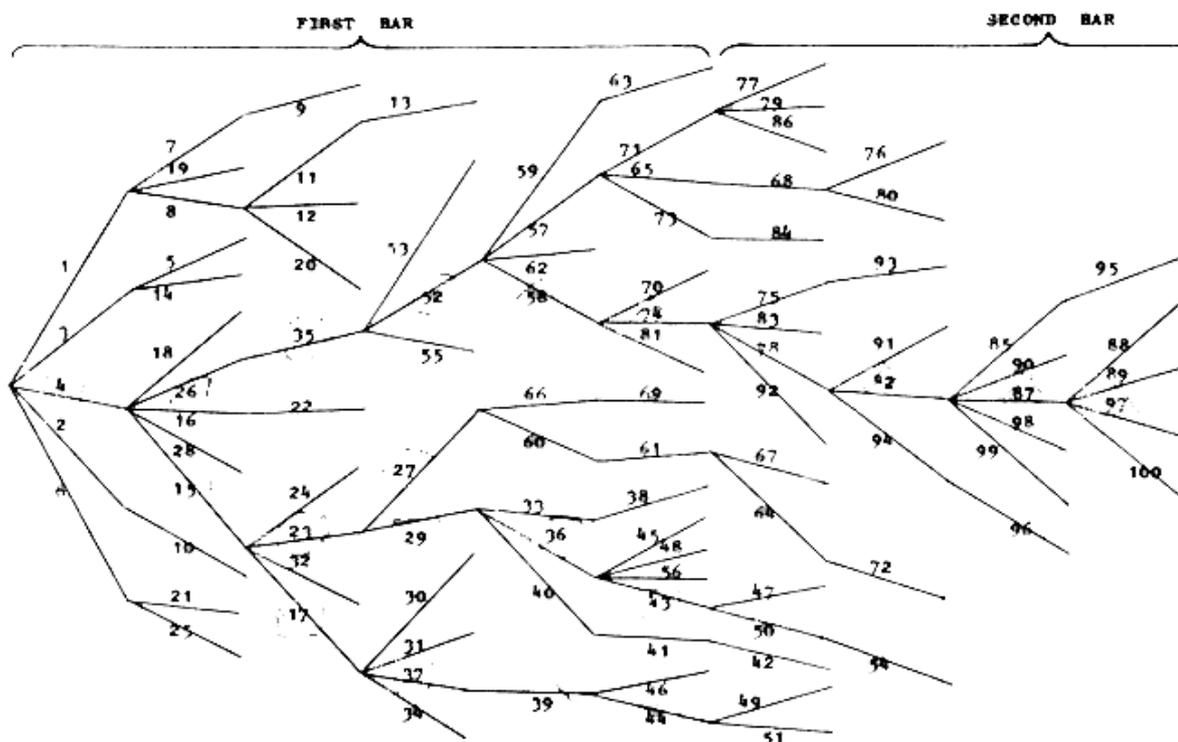


Fig. 2.1. Primeiros 100 passos gerados (In: GILL, 1963, p.46).

Gill (1963) aplicou tal procedimento para geração de música dodecafônica, de forma que as regras empregadas para a eleição da seqüência vencedora dependerá das regras do contraponto dodecafônico. Em sua implementação, Gill não dispunha de uma geração realmente paralela, os passos são gerados seqüencialmente e armazenados num endereço de memória da máquina, mas como o programa pode tanto avançar quanto retroceder, temos uma simulação de uma busca paralela por soluções. O sistema de Gill pode armazenar até oito seqüências concorrentes, onde cada uma é candidata a ser desenvolvida; em cada passo do programa o conjunto de regras elege uma vencedora e descarta a mais inadequada, lembrando que o sistema não é desenvolvido linearmente, podendo voltar a seqüências anteriores disponíveis na busca por alternativas. A heurística empregada aqui reduz o espaço de busca para oito possibilidades.

Posteriormente foram desenvolvidos sistemas operacionais e linguagens de programação que permitiram sistemas paralelos (*multi-task*) mais eficientes, mas ainda simulados, visto a arquitetura da máquina de von Neumann ser serial (este tipo de procedimento utiliza a noção de pilha, ou *stack*, onde várias instruções de diferentes programas são executadas seqüencialmente. Cada programa envia uma instrução para o processador e esta é colocada numa pilha esperando sua vez de ser processada).

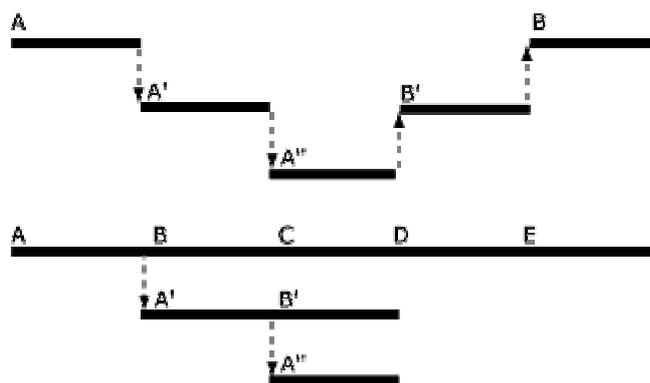


Fig. 2.2. processos seriais e paralelos.

Voltando ao caso da busca em forma de árvore, com o processamento (pseudo-) paralelo as possibilidades concorrentes podem ser exploradas simultaneamente. Analogamente, é como se cada galho crescesse ao mesmo tempo, o que, acreditamos, torna o procedimento retrógrado de Gill (1963) desnecessário.

Baseado na possibilidade do processamento *multi-task*, Smoliar (1974) desenvolveu um algoritmo para composição dirigida estilisticamente, imitando o estilo de J. S. Bach. Em sua implementação, o programa principal utiliza sub-rotinas para a geração da música, mas não interrompe sua atividade para a execução destas sub-rotinas. Cada uma destas é responsável pela geração de diferentes seqüências melódicas (que podem ser transpostas, invertidas, retrogradadas, executas parcialmente, e assim por diante) em várias vozes, paralelamente, enquanto que o programa central coordena os aspectos de níveis mais altos, como a organização formal (*schema*). O intuito de Smoliar (1974) era gerar um algoritmo que evitasse tanto a falta de coerência motívica e formal quanto a monotonia da geração estocástica.

Novamente, como em sistemas estocásticos, a eficiência de um algoritmo para a composição musical depende da postulação de regras adequadas, principalmente em relação ao estilo que se simula. Smoliar (1974) não usa regras restritivas, mas associa ao seu programa um *debugger* para a correção de possíveis falhas surgidas durante a geração, como quintas ou oitavas paralelas. O *debugger* atua como uma subrotina do programa principal, que por sua vez pode acionar outras sub-rotinas para a correção do problema. Com seu procedimento ele consegue realmente uma maior coerência motívica e formal, apesar dos temas utilizados pelas sub-rotinas serem determinados pelo supervisor. O computador atua de maneira muito semelhante a um aluno de composição praticando desenvolvimento temático.

2.2.3 Sistemas gerativos.

No desenvolvimento da lingüística na segunda metade do século XX desenvolve-se a teoria da gramática gerativa, baseada principalmente no trabalho de Noam Chomsky (GARDNER, 1995, pp.222-228). A gramática gerativa tem como um de seus objetivos a possibilidade de produção de um modelo de competência geral, isto é, um modelo teórico cognitivo da habilidade gramatical de um indivíduo. Gardner (1995, p.202) define:

“(...) Uma gramática gerativa, no sentido de Chomsky, é um sistema de regras formalizado com precisão matemática: sem recorrer a nenhuma informação que não esteja representada explicitamente dentro dele, o sistema gera as sentenças gramaticais da língua que descreve ou caracteriza, e atribui a cada sentença uma descrição estrutural ou análise gramatical.”

Em seu artigo *In search of a generative grammar for music*, Otto Laske define sua abordagem como uma *metateoria da música*, ou uma *teoria da musicalidade*, que clarifica o alcance, o método e os problemas das teorias da música (1974, pp.216-217). “*Such a theory can be conceived as a general competence model for music or a generative grammar.*”

Para a implementação de uma gramática gerativa (GG) é necessária a existência de uma gramática analítica (GA) e outra programada (GP). Partiremos do pressuposto que a criatividade, em sistemas simbólicos, *é governada por regras*, obedecendo limites músico-gramaticais (LASKE, 1974, p.220). A definição dessas regras pode se dar por dois meios, um apriorístico, e outro analítico, nesse segundo caso requer-se a GA. A gramática analítica não serve como um modelo da produção de sentenças de uma determinada gramática, mas serve para se elencar os elementos e estruturas internos a tal gramática. Estes elementos internos são utilizados pela GG para a produção de um conjunto de estruturas num nível formal superior. A GG investiga a competência na produção de um conjunto de estruturas musicais bem formadas sintaticamente, semanticamente e sonologicamente. Laske (1974, p.223) define: “(...) *Thus, while an analytic grammar is an illustration of musical competence (taken for granted), a generative grammar is an explication of musical competence*” (grifo do autor). Falta definir a gramática programada: a GP é uma instanciação particular da GG programada em ambiente computacional. Ela é a implementação de uma hipótese da GG para a explicação da competência gramatical. Na abordagem da GG, e por consequência de uma GP, existem dois níveis interagindo: os elementos fornecidos pela GA ou conhecimento

músico-gramatical, e as estratégias comportamentais ou conhecimento músico-estratégico (do tipo “resolução de problemas” típico da IA) (LASKE, 1974, p.220). O gráfico a seguir ilustra estas relações:

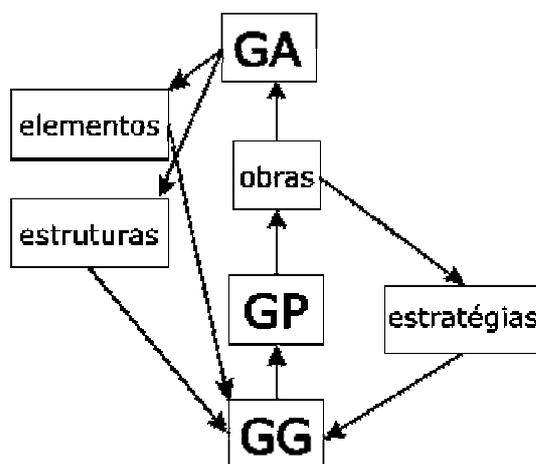


Fig. 2.3. Estrutura da gramática gerativa (baseada em Laske, 1974). GA (gramática analítica), GP (gramática programada) e GG (gramática gerativa).

Na ilustração acima, podemos diferenciar no lado esquerdo os elementos e estruturas que são, pela gramática analítica, extraídos do *corpus* formado pelo repertório. Ao lado direito está o domínio das estratégias, ou procedimentos comportamentais. O método envolvido aqui, como em geral na IA, postula hipóteses estratégicas, que atuam sobre elementos e estruturas musicais, e tais hipóteses são confirmadas (ou não) pelos resultados da implementação da gramática programada num algoritmo. As estratégias são, então, entendidas como as regras que conduzem a formação do discurso. O procedimento empregado aqui se refere mais a aspectos sintáticos, mas outros aspectos como semânticos e sonológicos são englobados no sentido em que estamos entendendo a música como um sistema formal, e, portanto, os aspectos semânticos (e sonológicos) são padronizados sem ambigüidades. Sem dúvida esta é uma questão controversa, e vamos deixar as conclusões para leitor.

De qualquer forma, pelo menos seus defensores postulam, a GG pode lidar com qualquer tipo de sistema composicional, por isso Laske (1974) afirma que a abordagem da GG gera uma explicação da competência musical, e nesse sentido uma teoria da *musicalidade*, um modelo da mente musicalmente habilidosa. De modo semelhante, Sundberg e Lindblom (1976) afirmam que a GG da música permite estabelecer os princípios universais e idiossincráticos (reações individuais distintas para um mesmo estímulo) que governam

nosso comportamento musical. Tanto Laske quanto Sundberg e Lindblom, compartilham a idéia de que pela GG é possível estabelecer o modelo de competência ou os princípios universais e idiossincráticos tanto na música quanto na lingüística (como em outras áreas), no sentido de uma teoria unificada do comportamento humano.

Na verdade, entendemos que a GG da música pode lidar com qualquer tipo de sistema composicional desde que: a) se adote o pressuposto de que a atividade composicional (e musical em geral) é necessariamente formal; b) possa ser estabelecido um tipo suficientemente adequado de representação dos elementos, estruturas e processos envolvidos, independente de suas naturezas, englobando seus aspectos sintáticos, semânticos e sonológicos; c) que existam estratégias composicionais universais presentes em todo e qualquer tipo de música. Acreditamos que apenas se todas essas condições forem satisfeitas a GG é uma metateoria da música, explicando a musicalidade.

2.3 Análise de um sistema composicional em IA – *Protocol*.

O compositor Charles Ames batizou de *Protocol* sua obra para piano solo composta com um computador serial digital, que foi estreada em novembro de 1981 na *International Computer Music Conference* (executada por Jack Behrens) (AMES, 1891-1990). O enfoque da peça é centrado sobre modulações na taxa de frequência de pulsos de padrões rítmicos e, por isso, foi escolhido o piano, cujo envelope de amplitude (o envelope de amplitude reflete o comportamento macroscópico do parâmetro da amplitude no domínio do tempo) é adequado para ressaltar tal enfoque. *Protocol* é tanto o nome da obra quanto do programa que Ames desenvolveu para sua criação, que emprega procedimentos estocásticos e heurísticos. Muitas vezes, na relação da IA com a composição, tem-se o objetivo de gerar obras restritas a certas características estilísticas, sendo assim necessário procedimentos de análise, normalmente estatística, de um *corpus* de obras. Mas não é esse o caso aqui. Ames, em vez de buscar solucionar antigos problemas da modelagem da mente criativa, adota uma proposta menos audaciosa nesses termos, porém dirigida a resultados estéticos mais interessantes no âmbito da música contemporânea. Entendemos, assim, que Ames está numa posição mais próxima à IA fraca, nos termos de Searle (1980).

Vamos, agora, iniciar uma descrição mais detalhada do sistema composicional computacional *Protocol*.

2.3.1 Design geral.

O design criado para *Protocol* é definido em três níveis: global, médio e local. Cada um deles permite a manipulação de aspectos diferentes na definição da obra como um todo. O nível local atua sobre comandos especificados a controles de geração das unidades mínimas, os pulsos (altura, frequência e duração). É este o nível mais robusto em termos computacionais, mas o menos importante para o resultado da obra final. O nível global exerce seu tradicional papel de moldar a forma total da obra. Por fim, o nível médio, que segundo o autor é o mais decisivo na estrutura da obra, é o que manipula as relações entre os eventos locais e globais, que a ele estão subordinados, sustentando as modulações e contrastes entre as frequências de pulsações. Ames (1981-1990) ainda distingue dois níveis paralelos entre *forma e material*. No primeiro, estão aspectos relacionados a eventos dependentes do fluxo temporal, como pulsos e suas frequências; o material refere-se a elementos não dependentes do tempo, como altura, dinâmica e articulações (formas de ataque). Abaixo segue uma ilustração desta concepção:

| Nível do Design | Forma | Material |
|-----------------|--|---|
| Global | Um <i>pacote</i> é uma seqüência de 3 a 5 <i>unidades</i> , todas retirando materiais do mesmo <i>módulo</i> . | Um <i>módulo</i> combina 4 <i>componentes</i> com mais duas dinâmicas e um modo de articulação. |
| Médio | Uma <i>unidade</i> é uma seqüência de 3 ou mais <i>pulsos</i> , unificados por uma consistente <i>frequência de pulsação</i> e um <i>acorde</i> comum. Estes atributos são ambos retirados de um único <i>componente</i> . | Um <i>componente</i> combina 1 <i>frequência de pulsação</i> com um <i>acorde</i> de 7 alturas. |
| Local | Um pulso combina 1 <i>duração</i> com uma <i>sonoridade</i> de 4 a 5 notas. A <i>frequência de pulsação</i> do nível médio determina as <i>durações</i> nesse nível local. Similarmente, o <i>acorde</i> do nível médio fornecem todas as alturas para a <i>sonoridade</i> do nível local. | |

Tabela 1. Design e definições de *Protocol* (adaptado de Ames 1981-1990, p.359).

As relações ente as diversas partes de cada nível podem ser melhor visualizadas na seguinte figura:

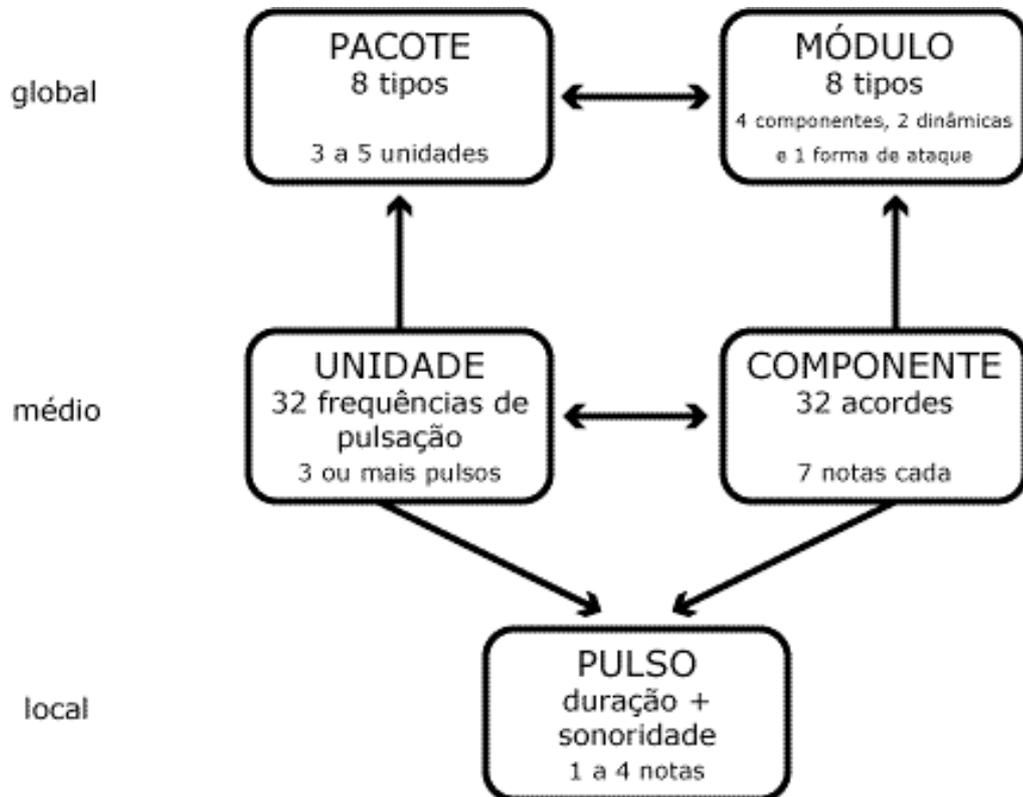


Fig. 2.4. Relações das partes.

2.3.2 Implementação.

No intuito de realizar computacionalmente a complexa rede de conexões entre as várias partes componentes do design de *Protocol* (fig. 7), seu autor desenvolveu um sistema de algoritmos organizados hierarquicamente. A ordem do fluxo de informação segue da geração do material, sua organização, a composição da forma global, depois da local e por fim da local. A organização hierárquica é sumarizada na figura abaixo:

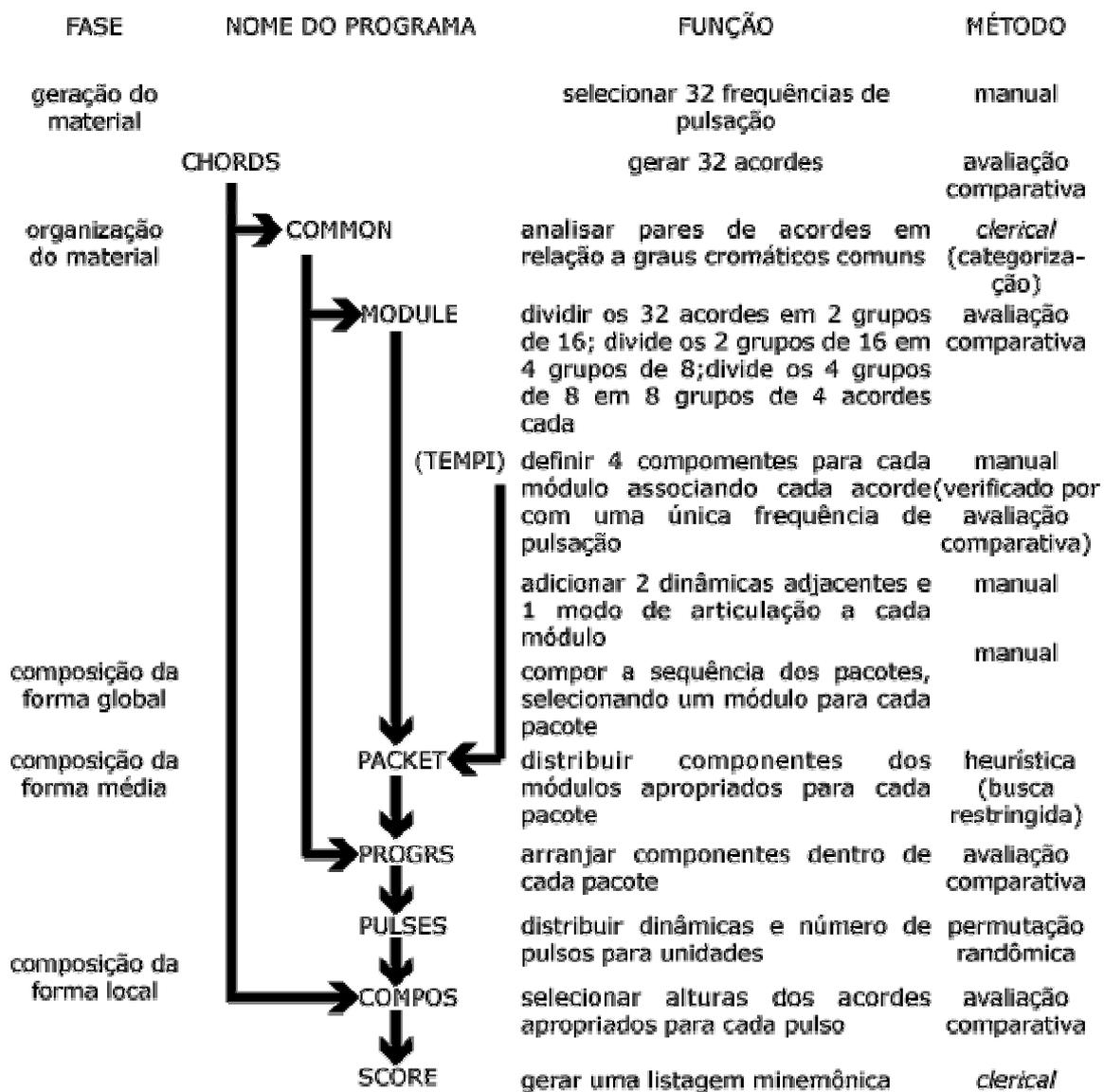


Figura 2.5. Organização hierárquica de *Protocol* (adaptado de AMES, 1981-1990, p.362).

No intuito de esclarecermos o funcionamento do sistema em relação com a composição musical, iremos avançar descrevendo cada uma das etapas apresentadas acima, acompanhando o fluxo da informação entre cada um dos programas.

2.3.2.1 Geração do material.

Como o próprio enfoque da obra baseia-se no contraste entre diferentes frequências de pulsações, na primeira etapa é determinada uma série de 32 frequências de pulsação,

organizadas em progressão geométrica, indo de um pulso a cada 2 segundos até 8 pulsos por segundo (ou seja, de 0.5 até 8 Hz). O autor utilizará, posteriormente esta mesma série porém, com unidade de medida em minutos, o que resultará numa progressão de 55 até 480 pulsos por minuto.

Definida a série de frequências de pulsação, passa-se à geração do material relacionado a ela, que são os 32 acordes referentes aos *componentes*. Os acordes são todos dissonantes e compostos de 7 alturas distintas. O interesse de Ames era de que eles fossem todos ricos o suficiente em seu conteúdo para, assim, garantir a diversidade harmônica (não se trata, nesta obra, de harmonia no sentido do sistema tonal) tanto internamente quanto na relação de um acorde com os outros. A geração dos acordes foi desenvolvida sobre 7 séries logarítmicas, onde cada uma corresponde a uma voz. A forma exponencial das curvas privilegia acordes mais abertos no grave e mais fechados no agudo, o que garante uma clara relação entre as alturas, analogamente à variação da banda crítica na membrana basilar.

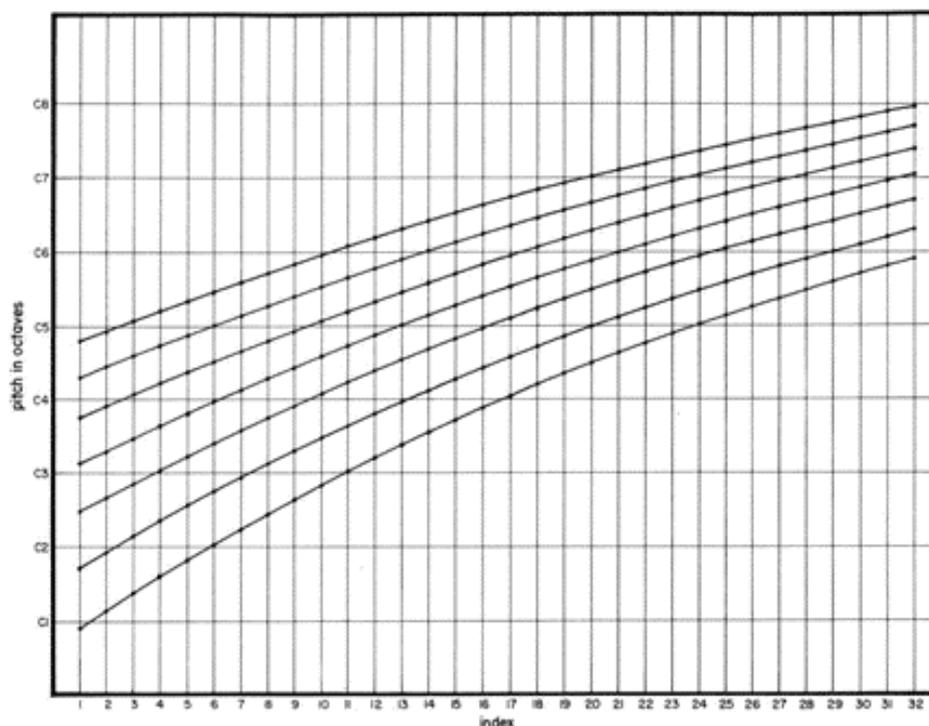


Gráfico 2.1. Vozes harmônicas.

Sobre os valores definidos logaritmicamente é realizado um *protocolo* (daí deriva o nome da obra) de teste para a geração final dos acordes, pelo programa COMMON. Os testes são organizados hierarquicamente, através de pesos, no intuito de valorizar a dissonância.

Cada ponto discreto da curva pode sofrer uma variação de 3 semitons acima ou abaixo, resultando em 7 possibilidades para cada voz, para garantir que um número suficiente (32) de acordes possa passar pelo protocolo. Desde que temos 7 curvas, e com uma tolerância de 7 alturas cada, resultam-se 7^7 (823,543) possíveis candidatos para cada acorde.

O protocolo de teste é:

- a) uma regra que impossibilita a ocorrência de duas vozes com o mesmo grau na escala cromática;
- b) outra que descarta acordes contendo tríades ou acordes com sobreposição de intervalos perfeitos;
- c) uma regra que evita que acordes subseqüentes compartilhem os mesmos graus cromáticos e conduções de vozes paralelas.

Esse tipo de regra é semelhantes àquelas apresentadas na parte 1.3.1 da presente dissertação. Após os acordes terem passados pelo teste acima, a cada um é atribuído um valor, de acordo com seu desempenho pelo programa CHORDS, num processo de avaliação comparativa que utiliza técnicas heurísticas para a redução do espaço de possibilidades. Esta heurística determina que quando um acorde falhe em um dos testes, toda a classe de candidatos contendo os elementos que causaram tal falha seja excluída, aumentando, dessa forma a eficiência computacional. O algoritmo de CHORDS para avaliação comparativa dos acordes após o protocolo de testes utiliza a seguinte função:

$$\sum_{1 \leq n \leq N} F_n \cdot (A + 1)^{N-n} \quad (1)$$

onde N é número de testes do protocolo, F_n o número de vezes que um acorde falha no n -zimo teste, A o máximo valor possível de F_n para qualquer n e qualquer acorde. É adicionado o valor 1 para o acorde que passe no teste perfeitamente (AMES, 1981-1990, p.365).

Este algoritmo permite a eleição dos melhores 32 candidatos para a constituição do material harmônico utilizado na peça. Neste ponto, temos 32 acordes e 32 frequências de pulsação e podemos, então, passar à parte relacionada à organização deste material na obra.

2.3.2.2 Organização do material e forma global.

Com o material harmônico e rítmico já estabelecido, uma série de outros programas passa a ser utilizada para organizá-los na estrutura da obra, em seus vários níveis (vide figura 6). Seguindo o fluxo informacional, agora teremos a parte chamada de MODULE, que organizará a obra de forma que cada acorde mantenha e exerça sua identidade o máximo possível.

Primeiramente, MODULE deve dividir o total de 32 acordes em dois grupos de 16 mutuamente exclusivos. Depois, cada um destes em grupos de 8, e por fim, cada grupo de 8 em grupos de 4 acordes, resultando num total de 8 grupos de 4 acordes. Para isso, Ames desenvolveu um modo de medir a relação entre acordes com relação aos graus comuns entre eles. Tendo duas coleções destas com M acordes e, se o número de pares tendo k graus em comum for o mesmo para as duas coleções, com k maior que um número n , e se a primeira coleção tiver menos pares compartilhando n graus do que a segunda, então a primeira coleção deverá receber um menor valor. A equação abaixo dá o fator de peso W necessário em tal processo, como o número de pares numa coleção mais 1:

$$W = \frac{M!}{2!(M-2)!} + 1 = \frac{M(M-1)}{2} + 1 \quad (2)$$

e, sendo C_n o número de pares na coleção compartilhando n graus cromáticos, a expressão abaixo pesa C_n

$$\sum_{1 \leq n \leq 7} C_n \times W^{n+1} \quad (3)$$

de forma que o grupo com menor resultado é considerado mais adequado, por ter menos pares compartilhando graus, ou menos graus compartilhados.

Nesse sentido, MODULE agrupa os acordes em grupos com 4 cada, procurando todas as possibilidades até encontrar a melhor progressão perante graus comuns, e ainda determinando, posteriormente, uma ordem crescente nas diferenças de registro entre acordes sucessivos.

Então, MODULE (TEMPI) associa uma frequência de pulsação, já anteriormente estabelecida, a cada um dos módulos, evitando qualquer correspondência entre extremos de registro e frequência. Em seguida, é atribuído a cada um dos oito módulos duas dinâmicas e uma forma de ataque. Os dois parâmetros são designados para cada módulo manualmente, de forma que o compositor-programador pode estabelecer as variações e gradações ao seu gosto.

Estando todos estes aspectos determinados, o compositor-programador pode, também manualmente, criar a forma global da peça, estabelecendo a ordem dos 8 pacotes ao longo da obra e as gradações de quantidade de pulsos por unidade. O compositor teve em mente a forma de exposição e desenvolvimento neste processo, como ilustra a figura abaixo. A relação entre os pacotes e os módulos, com seus respectivos componentes será o próximo passo, com a determinação da forma média.

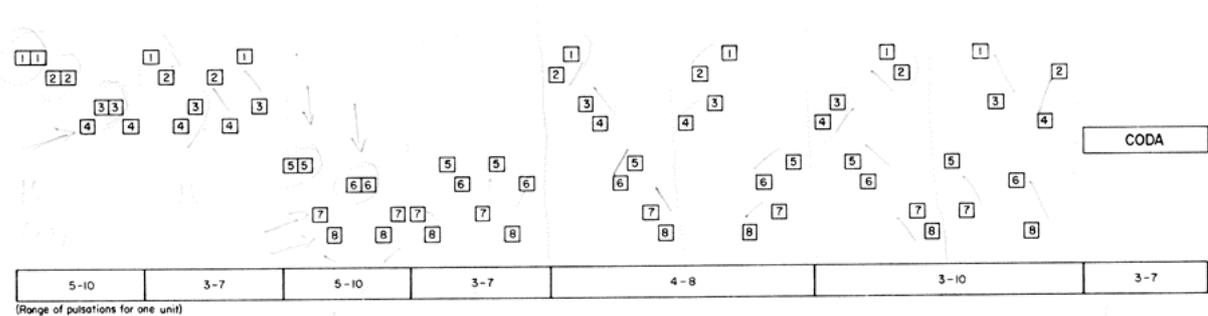


Fig. 2.6. Forma global de *Protocol* (AMES, 1981-1990, p. 361).

2.3.2.3 Estabelecendo a forma média.

Para o estabelecimento da forma média usa-se o programa PACKET. Existem 8 pacotes e 8 módulos, gerando um total de 64 combinações diversas que serão apresentadas ao longo da obra. Nesse sentido, o algoritmo de PACKET é um procedimento heurístico que evita que possíveis combinações sejam duplicadas, mantendo, segundo o autor (1981-1990, p.373), o interesse do ouvinte durante a obra.

Cada pacote, além de seu módulo correspondente, tem de 3 a 5 unidades relacionadas aos componentes dos módulos. A relação entre pacotes e módulos já foi estabelecida neste ponto, mas ainda falta relacionar, dentro de cada um destes correspondentes, unidades e componentes. Primeiro, estabelece-se um matriz na qual, nas colunas e linhas, estão os

módulos e os pacotes. Então, PACKET gera uma permutação randômica sobre esta matriz, utilizando-se apenas os valores 3, 4 e 5 (quantidade de unidades que cada pacote tem). Em seguida, essa matriz é reordenada de acordo com regras. As regras não permitem que um pacote que tenha apenas 3 unidades repita um dos componentes, dos 4 de seu associado módulo; quando existe um pacote com 4 unidades um componente pode ser repetido, mas apenas uma vez; e, quando temos 5 unidades, até 2 componentes podem ser repetidos, apenas uma vez. Dessa forma, podemos ter em um pacote diferentes unidades com o mesmo componente.

Estando designado quantas unidades e os componentes dos módulos em cada pacote, quem assumirá a execução é PROGRS. Para conseguir determinar a associação entre as 3-5 unidades e os quatro conteúdos de cada pacote, este algoritmo executa o seguinte procedimento: designa randomicamente um conteúdo para a primeira unidade, depois para a segunda unidade, para a terceira e assim por diante, através dos pacotes, lembrando que cada unidade pode ter componentes repetidos, conforme determinado por PACKET anteriormente. Em PROGRS, além da geração randômica, temos novamente regras que filtram possíveis acordes similares sucessivamente numa avaliação comparativa ao longo de todos os pacotes, pelos mesmos métodos utilizados para acertar os acordes para os módulos (Eq. 2 e 3).

2.3.2.4 Estabelecendo a forma local e *coda*.

Falta ainda estabelecer as dinâmicas e o número de pulsos para cada uma das unidades. Junto às dinâmicas foram selecionadas, manualmente, as formas de ataque de cada módulo. Como a forma de ataque é apenas uma por módulo, não há a necessidade de nenhum procedimento para relacioná-la a cada componente. Porém, havendo duas dinâmicas por módulo temos, então, que elucidar como elas serão atribuídas aos componentes, e por conseqüência às unidades. Tanto a distribuição das dinâmicas quanto da quantidade de pulsos para as unidades serão realizadas pelo programa PULSES. O procedimento desenvolvido aqui deve tratar as gradações dos dois aspectos uniformemente, ao longo da obra, por dois modos: sobre cada pacote, e sobre o conjunto completo de ocorrências de cada componente de um módulo. A estratégia empregada por PULSES é diferente das utilizadas por outros programas em *Protocol*. São criadas duas matrizes binárias com colunas referentes às unidades e linhas aos componentes de um módulo, o valor 0 é atribuído à dinâmica mais fraca e 1 para a mais

forte. Apesar de serem utilizadas no máximo 5 unidades em cada pacote este procedimento envolve duas matrizes 4 x 4 (resultando num total de 8 colunas para as unidades e 4 para os componentes), pois sendo simétricas as matrizes é garantida a igual distribuição propabilística das dinâmicas sobre as unidades/componentes. Cada uma das matrizes tem sua distribuição inicial na seguinte forma:

$$\begin{array}{cccc} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

e, em seguida, as matrizes são permutadas randomicamente.

Quanto à distribuição da quantidade de pulsos são determinadas 4 gradações de 3 a 10 pulsos por unidade: a) de 4 a 8; b) de 3 a 7; c) de 5 a 10; e d) de 3 a 10. Estas gradações foram determinadas anteriormente, durante o estabelecimento da forma global de *Protocol*. Em cada uma destas gradações é aplicado um processo no qual o intervalo entre 0 e o valor máximo (de cada gradação) é dividido em segmentos de comprimento 1/8. Então, cada um desses valores é colocado exatamente em cada linha e coluna de uma matriz 8 x 8, e permutados randomicamente. Um das bordas da matriz é associado aos pares conjuntos de pacotes (veja figura 8), e a outra às oito unidades. Segundo Ames (1981-1990, p.378) esse procedimento foi desenvolvido para evitar causalidades seqüenciais.

Como já poderia ser previsível, por fim, vamos a *coda*. Neste trecho é abandonada a estrutura modular presente em toda a obra, assim como os pares associados de frequência de pulsação e acordes (módulos). Aqui são apresentadas as 32 frequências em ordem gradual do lento para o rápido, assim como os 32 acordes do grave para o agudo. Esse gesto final foi desenvolvido, segundo o autor, inspirado abertamente nos finais típicos de J. J. Froberger e Morton Feldman (1981-1990, p.360).

2.3.3 Discussão de *Protocol*.

Como pudermos ver, Ames utiliza em *Protocol* diversos recursos computacionais típicos da IA, como geração randômica, buscas heurísticas e regras de filtragem de dados. Mas, claramente, não está comprometido com a explicação da atividade composicional ou musical. Seu interesse é a geração semi-automática de uma obra musical tipicamente

contemporânea, relacionada a um aspecto que no século XX foi um dos mais abordados neste tipo de música: o tempo.

Ironicamente, como afirma Smoliar (1974, p. 203), “(...) *computers will never have the taste of human beings.*” E, estendendo sua afirmação, talvez nunca estarão engajados esteticamente como os compositores. Mesmo se estabelecendo um sistema computacional realmente inteligente, em todos os aspectos que esta afirmação carrega, o que nos garante que tal sistema se preocupe com os mesmos problemas musicais que nos preocupam? Em relação a estes problemas, nos parece interessante a abordagem de Ames em *Protocol*.

Em vez de criar um sistema que assuma todo o controle, desde a geração do material até sua organização formal, Ames concebeu e implementou um sistema parcialmente autônomo, no qual muitas das decisões mais relevantes composicionalmente são tomadas pelo compositor. Isso garante que os objetivos técnicos, formais e estéticos sejam atingidos.

Sua implementação suplanta outra questão ainda. Sistemas composicionais, quando restritos a certos caracteres estilísticos, precisam ou de regras sintáticas eficientes ou de métodos estatísticos que garantam uma reprodução fiel do estilo sem duplicar obras do *corpus* analisado. Como na música contemporânea não temos necessariamente a obrigação de nos atermos fielmente a certas características estilísticas coletivas, as regras ou métodos estatísticos podem ser concebidos e baseados apenas nos interesses do compositor-programador e seu estilo pessoal. Dessa forma, Ames enumerou um protocolo de testes de acordo com suas prioridades composicionais.

O interesse da obra é muito mais amplo do que reproduzir estilos tradicionais. O interesse está na investigação da percepção subjetiva do tempo. Nesse sentido, como vimos pela descrição da implementação, o foco está nos contrastes rítmicos entre frequências de pulsações dependentes do fluxo temporal. Assim, além de seu interesse implementacional, a obra *Protocol* aborda uma questão relevante para a música contemporânea, e para a música em geral, preocupada com o resultado estético. Indo mais longe, as questões sobre o tempo vão além da música e são indispensáveis aos estudos da percepção, seja em seus aspectos matemáticos, cognitivos, psicológicos ou filosóficos. Nesse sentido, a música é uma excelente área de investigação pois, como aponta Marvin Minsky (1981, p.335), a música serve para nos ensinar sobre o tempo.

2.4 Crítica à abordagem cognitiva aplicada à composição musical – limites e alcances.

Após termos descrito características gerais da modelagem da criatividade, em particular da implementação de *Protocol*, podemos discutir brevemente alguns aspectos gerais da IA relacionados composição musical. Como já afirmamos acima, acreditamos que *Protocol* está na categoria de IA fraca, e consideramos isto como um fato positivo.

A IA forte tem como objetivo o estabelecimento de um modelo da mente, em seus vários aspectos, incluindo a criatividade. Porém, muitos pesquisadores, tendo tal objetivo em mente, não se preocupam com o resultado final, estético da obra resultante. São, normalmente, implementações que possuem, como parece natural, um foco fortemente centrado na ciência e na modelagem da mente, e não na arte, ou, pelo menos, parecem favorecer aspectos científicos e não estéticos. Talvez a falta de resultados artisticamente interessantes se deva não somente ao foco principal dos pesquisadores, mas às limitações dos modelos computacionais da mente humana, principalmente da mente criativa.

Mas, além de cientistas, compositores e analistas também utilizam a IA aplicada a obras musicais, seja para estabelecer novos paradigmas nas teorias e metateorias da música, seja para estabelecer novos paradigmas composicionais. Implementações da IA comprometidas com estabelecimento de metateorias da música, ainda, em nossa perspectiva, tendem para o lado da IA forte, buscando postular e desenvolver modelos da musicalidade e seus aspectos universais. Já as pesquisas relacionadas à análise automática de obras musicais têm o caráter mais prático, menos audacioso, de desenvolver ferramentas computacionais que apliquem sistemas teóricos de análise já estabelecidos na musicologia, como a análise Schenkeriana, a uma obra apresentada à máquina. No caso de compositores, como Ames, da mesma forma, acreditamos que a utilização de máquinas computacionais esteja direcionada à geração de obras dentro do âmbito da música contemporânea, sem a preocupação de investigar a natureza ou o funcionamento da mente criativa – a IA fraca vista como CAC.

Finalizando este primeiro capítulo, vamos, então, elencar algumas questões que normalmente não são consideradas pelas abordagens da IA para a composição musical, ou que pelo menos nos parecem aplicadas de maneira restrita, deixando de lado aspectos importantes da composição musical. Muitos destes aspectos já foram por nós levantados em Oliveira e Zampronha (2002). Vamos agora apontá-los, relacionando-os principalmente com o enfoque da IA forte.

2.4.1 Sistemas composicionais consolidados e não consolidados.

O sistema tonal, que se consolidou a partir do barroco e continuou até o final do século XIX, com reflexos importantes até hoje, é o que se pode chamar de sistema musical consolidado. Não é por acaso que grande parte das investigações que relacionam a composição musical com a ciência cognitiva, principalmente pelos modelos cognitivos da IA forte, trabalham sobre este sistema. Ser um sistema musical consolidado significa ter regras codificadas e bem definidas, as quais são aplicadas a materiais conhecidos e também codificados. Estas condições são importantes para que um sistema composicional possa ser reproduzido por algoritmos, mas nem sempre são condições suficientes, como pudemos ver. Assim, os discursos musicais resultantes podem ser comparados com paradigmas formais e estéticos também consolidados, de modo que a eficiência do algoritmo possa ser avaliada.

Contudo, é mais difícil conceber um algoritmo para produzir obras que pertencem a sistemas musicais não consolidados. Principalmente aqueles que não operam com matéria sonora que pode ser facilmente transformada em representações simbólicas, e cujas regras sintáticas são difíceis de serem formalizadas. A música concreta, por exemplo, adota como ponto de partida a seleção dos materiais pela escuta, e não por processos como os empregados em *Protocol*. Em sistemas não consolidados não existem representações simbólicas por não haver padronizações bem definidas, nem sintáticas nem semânticas. As regras que relacionam estes materiais são abstrações *a posteriori* realizadas também pela escuta, e têm como ponto de partida os próprios materiais selecionados. Nesta situação, que não é uma situação isolada na música contemporânea, as regras e os materiais musicais utilizados não existem *a priori*, como na música tonal ou mesmo em *Protocol*, o que faz com que seja praticamente inviável a geração de um algoritmo em IA.

Caso se admita que a tendência dos sistemas musicais não consolidados seja a de se consolidarem, admite-se implicitamente que ambos possuem a mesma natureza. Logo, basta que os algoritmos da IA introduzam certas indeterminações para poderem reproduzir sistemas não consolidados. Mas, caso se afirme que estes sistemas têm naturezas diferentes (como efetivamente nos ensina SCHAEFFER, 1966) estaria fora de questão a reprodução de sistemas não consolidados por intermédio da IA. E, nesse caso, a idéia de que o processo criativo na música se resume a regras sintáticas que são aplicadas a representações simbólicas teria que ser reformulada, como efetivamente o é por outras teorias da ciência cognitiva como veremos ao longo deste trabalho.

A questão do alcance conseguido pela IA na geração de obras musicais interessantes esteticamente, mesmo aquelas abarcadas por sistemas consolidados, está ligada diretamente à redução da música à sintaxe musical, uma questão bastante particular. Definir o que é e como é gerada a semântica musical é um problema muito controverso. Compositores de grande importância como Stravinski (1970), chegam a afirmar que a semântica realmente não existe, que não há nada além da sintaxe. Mesmo se se adota a idéia de que em música somente existe a dimensão sintática, e que as regras sintáticas podem ser formalizadas (como na gramática gerativa), ainda assim sistemas construídos com base na IA não costumam ser bons compositores nem bons modelos da mente criativa; no máximo são modelos limitados que conseguem considerar apenas alguns aspectos envolvidos na atividade musical. Quem sabe a dimensão semântica deveria ser de alguma forma considerada (entendo-se aqui que ela não é redutível nem simplesmente gerada pela sintaxe). Porém, mantendo-se a posição de que não existe dimensão semântica independente em música, deve haver algo mais além deste dualismo sintático-semântico, assim como na oposição representação e não representação. Esse algo mais ainda pode ser fundamental para o desenvolvimento das linhas de investigação na ciência cognitiva e na música. Talvez o conexionismo e a ciência cognitiva dinâmica, quando considerando aspectos emergentes, possam nos ajudar a esclarecer estas questões.

2.4.2 Regras imperativas e restritivas.

A maior parte dos algoritmos da IA utilizam regras que se podem denominar de *regras imperativas*. São assim chamadas porque determinam exatamente o que o sistema pode ou deve fazer, que direção deve tomar para resolver um problema. A MT é o maior exemplo disso, é constituída exclusivamente de regras positivas: quando no estado E_n e encontrando um símbolo S_n na quadrado Q_n da fita, *deve* imprimir o símbolo S_j e seu estado deve mudar par E_j . Na verdade não existe uma estratégia de escolha neste tipo de máquina. No máximo se pode admitir que existem estratégias de escolha determinadas pelo programador e que se a composição musical depende delas, quem efetivamente cria as condições para realização de obras é ele, o computador apenas segue suas determinações de maneira pouco criativa, se é que ainda criativa.

Por outro lado, é de fato conhecido pelos músicos que dificilmente são encontradas muitas regras imperativas nos tratados de harmonia ou contraponto tradicionais (como em

SCHOENBERG, 1963 e 1974 ou FUX, 1956), salvo algumas como, por exemplo, as normas de resolução de dissonâncias. Quando se estuda harmonia se aprende, na maior parte das vezes, o que não se deve fazer em determinados contextos, e não o contrário. Com estas regras, que chamaremos de *regras restritivas*, cria-se um mapa do que deve ser evitado, sem que se determine um caminho a ser seguido. Essas regras se associam à filtragem probabilística, na qual não se determina uma direção exata. Porém, nos parece, a geração randômica que normalmente está por detrás, como estratégia de escolha, não é suficiente para garantir resultados convincentes – valores randômicos parecem, então, não correlacionados aos nossos processos de geração a partir de regras restritivas. Dessa forma, não basta obedecer a regras restritivas para que se garanta que o resultado final tenha um sentido musical, ou seja, mesmo que o resultado seja correto logicamente pode não ser musical. São outras lógicas, como a Fuzzy ou a paraconsistente, além de outras possíveis ainda não sistematizadas, que podem permitir a busca por outros caminhos (confira, nesse sentido, a discussão de um modelo lógico específico em OLIVEIRA e ZAMPRONHA, 2003 (no prelo). Caminhos que podem estar baseados em algo semântico mas que tampouco se reduzem exclusivamente ao campo sintático – talvez aí possa estar o pensamento musical e criativo. E o que pode existir além da sintaxe, sem ser a semântica, é a *diferença significativa* (a diferença que faz diferença, parafraseando BATESON, 2000) que o caminho escolhido estabelece com respeito ao caminho de outras obras, tanto contemporâneas como do passado.

Da mesma forma, a criação de novos caminhos originais se conecta diretamente com a alteração dos modos de escuta e entendimento, já que outros elementos relevantes ao entendimento musical (e também relevantes para a composição) passam a estar em jogo. Esta *dimensão histórico-contextual* faz com que todo o processo criativo seja muito mais complexo que apenas seguir regras sintáticas que manipulam símbolos, sem considerar o ambiente tanto físico quanto cultural. Uma das coisas que existem adiante da sintaxe e que não é semântico é este diálogo histórico-cultural que a obra de arte estabelece enquanto tal perante outras obras; diálogo este que é relevante para a criação e para a escuta, e que não se faz presente nos modelos musicais da IA. Considerando-se que este diálogo é fundamental, as soluções propostas pela IA têm pouca probabilidade de êxito na simulação ou realização *efetiva* de uma mente musical criativa tal como a humana. Mesmo Marvin Minsky, um dos pesquisadores centrais da IA, diz:

“Many musical problems that resist formal solutions may turn out to be tractable anyway, in future simulations that grow artificial musical semantic

networks, perhaps by “raising” simulated infants in traditional musical cultures. It will be exciting when one of these infants first show a hint of real “talent”.” (MINSKY, 1981, p.338) (grifos do autor)

2.4.3 Criação de regras.

Todavia, temos ainda o caso de que o ato de compor não se caracteriza pela orientação em função de regras, sejam restritivas ou imperativas. Existem compositores cujo objetivo é a criação das próprias regras. Várias obras de John Cage são um exemplo neste sentido, como a série chamada *Variations* (para uma visão geral sobre Cage veja PRITCHETT, 1993). Tais obras não prescrevem um modo de tocar, nem descrevem um resultado sonoro desejado (sobre prescrição e descrição em notação e composição musical veja ZAMPRONHA, 2000). Em vários casos as obras são um conjunto de regras para a criação de uma partitura, geralmente indeterminada, a ser lida pelo intérprete. Tais obras questionam não somente procedimentos algoritmos para a criação de peças, mas a própria música, o próprio ato de compor e a obra como produto deste ato. Nestas peças, onde se encontra o objeto musical como obra acabada, no seu sentido tradicional do termino? Onde estão os aspectos semânticos e sintáticos dados *a priori*? Existe, nesse sentido, um questionamento profundamente estético e criativo que dificilmente se reduz a um procedimento algoritmo. A não ser que se diga que estas músicas não são músicas (como faz Campbel 1992, ao falar de 4'33'' de Cage), demonstrando uma visão com muitos prejuízos, estas obras por fim demonstram como a adoção da música tonal como modelo a ser reproduzido é somente uma pequena parte do total de possibilidades existentes, e que se há uma solução que simule a criação de músicas tonais isto não quer dizer que reproduza o funcionamento da mente humana musical e criativa em toda sua extensão, e, por consequência, não deve ser generalizada sem o conhecimento de outras formas de pensar e fazer música.

Pode-se inverter a questão e perguntar, caso se afirme que estas músicas não são músicas, o que é que faz com que não sejam músicas. O limite que separa o que é do que não é música, se é que existe de fato, é muito difícil de se estabelecer. Além do mais, é muito provável que a definição deste limite inclua também critérios históricos-contextuais, o que aumenta muito sua complexidade. De fato, se é possível defini-lo de maneira clara, e em termos quantificáveis, então é possível que um modelo como o da IA possa se aproximar

mais a resultados similares aos produzidos por músicos criativos humanos, investigando, assim como eles, a própria noção de música.

2.4.4 Relações arbitrárias.

Um modo de conseguir que os algoritmos concebidos dentro da IA possam apresentar resultados diversificados, rompendo a homogeneidade de suas soluções, é por meio da introdução de variáveis sensíveis a parâmetros externos ao próprio algoritmo. Assim, em vez de utilizar-se um gerador randômico para que se crie esta variação, células sensíveis aos movimentos de pessoas numa sala, por exemplo, podem gerar valores que substituam os números gerados ao acaso. Este tipo de procedimento é muito freqüentemente utilizado em instalações sonoras. Ainda, além da interatividade evidente em tais casos, um dos aspectos mais interessantes a ser considerado é que os valores gerados pela célula sensível obedecem a uma determinada “lógica” (que pode ser a “lógica” do movimento das pessoas num ambiente), e algo desta lógica pode ser refletido dentro da obra. Porém, a associação entre os valores gerados pelos sensores e o resultado sonoro é arbitrária.

O projeto *Roboser* de Manzolli e Vershure (MANZOLLI et al, 2000) é um exemplo. Outros exemplos são obras como *Portable Gold and Philosophers' Stones* ou *On Being Invisible I e II*, de Rosenboom (1990) que utilizam ondas de EEG (eletroencefalograma) para a geração e controle dos parâmetros musicais.

Em tais projetos, assim como em outros semelhantes, os dados externos são postos no algoritmo que efetivamente produz o resultado sonoro, mas as conexões entre tais valores e os parâmetros musicais que eles controlam são arbitrárias. Aqui temos o ponto importante, já que justamente por sua arbitrariedade é que o compositor continua sendo o humano e não o sistema artificial. A associação entre os dois universos é estabelecida pelo programador, estabelecida com um fim estético, mesmo que o resultado seja aleatório. Da mesma forma que em algumas obras de Cage, ele continua sendo o compositor, por mais indeterminadas que sejam suas indicações. Outro ponto é que, normalmente, tais sistemas artificiais não apresentam nenhum tipo de *feedback auditivo* e, dessa forma, não têm controle sobre o resultado sonoro, apenas sobre as operações matemáticas e lógicas, além de que estas já foram predeterminadas.

2.4.5 Considerações finais deste capítulo.

Neste capítulo foram apresentados alguns dos princípios responsáveis pelo êxito parcial e não generalizado do uso da IA concebida dentro do cognitivismo clássico para a geração de uma mente musical criativa. Trouxemos uma breve introdução histórica, vimos as noções de mecanicismo, funcionalismo e representação mental. Em seguida, pudemos ver como o desenvolvimento da lógica na década de 1930 pôde influenciar fortemente o surgimento de uma nova área chamada de cibernética, especialmente as teorias de Alan Turing; nesse sentido, foi abordado o surgimento do CSD de von Neumann baseado na MT Universal. Estabelecido como o CSD cibernético se tornou o modelo da mente para a ciência cognitiva clássica, pudemos destacar sua utilização na modelagem da criatividade musical, através da composição algorítmica, que geralmente utiliza as técnicas estocásticas, heurísticas e aquelas envolvidas na gramática gerativa. Tais conceitos e técnicas foram ilustrados com aplicações clássicas da IA aplicada à composição musical. Por fim, apresentamos de maneira mais detalhada a implementação (em IA fraca) de Charles Ames para a composição da obra *Protocol*. Como fechamento deste capítulo apresentamos algumas críticas, discutindo certos limites e alcances que a IA apresenta quando aplicada à composição musical.

Um dos principais problemas detectados se refere ao enfoque insuficiente do dualismo sintático-semântico que, como vimos, pode ser superado pela inclusão da dimensão histórico-contextual junto à sintaxe. O que existe, somado à sintaxe, e que não é semântico, é justamente a diferença significativa que possui, com respeito a outras soluções, sejam do passado ou contemporâneas, soluções normalmente referentes a regras restritivas. Esta diferença significativa é fundamental para que se possa falar de criação musical em IA.

Todas as questões envolvidas nessa oposição sintaxe-semântica se referem também à oposição entre representação e não representação, e, ainda, às diferenças entre representação simbólica e outras formas de representações que existem na ciência cognitiva como um todo. De fato, parece pertinente postular a existência de outros tipos de representação envolvidas em atividades cognitivas, como na construção do pensamento musical. Ter em conta estes outros tipos de representação é importante para a superação deste debate, e áreas como a semiótica podem estabelecer um interessante diálogo com a ciência cognitiva.

Além do mais, as estratégias de decisão esteticamente adotadas, fundamentais no processo de composição, não são efetivamente realizadas pela IA. Em geral, na IA elas resultam de relações arbitrárias realizadas pelo programador-compositor que já trazem em si

valores estético-musicais. Esta arbitrariedade deveria ser superada para que o próprio algoritmo possa ser ele mesmo um criador. Muitos dos sistemas que vimos são, na realidade, intérpretes mecânicos, que não têm nem controle nem entendimento do resultado sonoro que geram.

O conexionismo e a ciência cognitiva dinâmica buscam outros caminhos para gerar sistemas relacionados à composição musical. Como veremos, o conexionismo, por um lado, introduz outros tipos de representações, denominadas de associativas (ou indiciais para a semiótica). Por outro lado, a ciência cognitiva dinâmica introduz, entre outras coisas, a dimensão histórico-contextual, não presente na IA. São propostas diretamente conectadas aos problemas apontados neste capítulo. Talvez uma possível união de conceitos destes três paradigmas em um enfoque único, mas genérico, que os concilie numa única matriz, se converta em uma investigação teórica muito interessante, e com resultados possivelmente muito positivos. Esta conciliação já está sendo buscada, e é fundamental para que as hipóteses sobre modelos da mente e da composição musical possam ser testados de forma eficiente e dirigida.