

Interação Tímbrica na Música Eletroacústica Mista

Ignacio de Campos

Departamento de Música, Instituto de Artes - Unicamp

ignacioldc@uol.com.br

Abstract. *The interaction between electroacoustic and instrumental environments in the mixed electroacoustic music may present problems regarding their differences of compositional approaches and timbric divergences. Through a meticulous technical study of the two environments this project aims to find a poetic solution for these timbric divergences proposing an electroacoustic work in which the sonic material involved is circumscribed by the timbres of the acoustic instruments used in the work itself.*

Resumo. *A interação entre os meios eletroacústico e instrumental na música eletroacústica mista pode ser problemática no que tange à diferença escritural e à divergência tímbrica. No presente projeto propôs-se encontrar uma solução poética à divergência tímbrica dos meios através de um estudo técnico detalhado, que resulta da concepção da obra eletroacústica mista cuja interação dos meios se circunscreve na delimitação do timbre no material eletrônico a partir dos próprios timbres dos instrumentos acústicos envolvidos na obra.*

1. Introdução

O presente artigo visa descrever, em termos gerais, meu projeto de mestrado no qual se trata da questão da divergência tímbrica dos meios instrumental e eletrônico na música eletroacústica mista sob o recorte do tempo diferido, isto é, *non real-time*.

Propôs-se encontrar uma solução poética à divergência tímbrica dos meios através de um estudo técnico detalhado, que resulta da concepção da obra eletroacústica mista cuja interação dos meios se circunscreve na delimitação do timbre no material eletrônico a partir dos próprios timbres dos instrumentos acústicos envolvidos na obra. A proposta seria a de criar para o meio eletroacústico uma paleta tímbrica graduando desde timbres similares ao timbre original do instrumento até timbres perceptivelmente distantes através de variações controladas dos parâmetros sonoros resultantes da própria análise espectral do timbre original. Para isso, o estudo envolve três fases que encontram projeção prática permeadas pelos constructos psicoacústicos: a análise espectral paramétrica de um som instrumental seguida de manipulações e geração modelada dessas variáveis para futura concreção do material eletrônico final através da síntese, que resultará em timbres similares, variados, expandidos do timbre original. Para se encontrar as maneiras pelas quais são obtidas as sensações de similaridade e distanciamento tímbrico que validassem as manipulações de parâmetros propostas, contou-se com estudos de psicoacústica. Assim, as decisões tomadas nas escolhas dos

parâmetros de análise, nas variações propostas desses parâmetros e nos algoritmos de síntese derivam, em parte, de referências às respostas do nosso sistema auditivo. As fases de análise, programação das variações e síntese envolvem o uso de diferentes *softwares* que são abordados no trabalho (AudioSculpt, OpenMusic e Csound). Outros utilitários computacionais que dão suporte paralelamente aos principais processos estudados são o SoundHack e o programa utilitário de análise de *phase vocoder* chamado PVANAL.

2. Seleção de Parâmetros

Os diferentes níveis de representação naturalmente existentes entre um som instrumental ‘pronto’ criado já como um complexo sonoro, via de regra definido através de uma simbologia de alto nível já codificada, e o objeto sonoro eletroacústico podem ser equiparados através da modelização da configuração tímbrica instrumental em parâmetros que podem ser individualmente trabalhados, envolvendo a descrição dos comportamentos freqüenciais, graus de harmonicidade/inarmonicidade, envelope dinâmicos e rugosidade. Foram realizadas pesquisas e estudos de correspondências entre as alterações de cada um dos parâmetros expostos acima e o distanciamento/aproximação sensorial de uma ‘identidade’ tímbrica derivada da configuração instrumental.

Os parâmetros adotados na investigação de distanciamento/aproximação sensorial são:

- relação freqüencial entre os parciais (harmonicidade/inarmonicidade)
- alteração da amplitude média dos parciais (redistribuição da energia do espectro)
- alteração da distribuição das freqüências no espectro
- micro-variações randômicas dos tempos de início de cada parcial
- variações na relação temporal de ADSR dos parciais
- variações na relação de amplitude entre o ataque e a extinção dos parciais
- mudança de fase dos parciais
- *jitter*
- *shimmer*
- quantidade relativa de dados não-determinísticos (transientes e ruídos) acrescentados à parte determinística (ressíntese senoidal de parciais estáveis)
- seleção de dados (filtro psicoacústico)

Desses parâmetros, os sete primeiros são manipulados através de *patches* criados em OpenMusic e os quatro últimos aplicados através de *scripts* de Csound.

3. Preparação do Áudio e Análises de Fourier

A análise escolhida para a leitura dos parâmetros oriundos dos sons gravados foi a FFT (*Fast Fourier Transform*) que, para que gere resultados nos quais haja uma correspondência ‘mais fiel’ ao conteúdo espectral original, deve analisar sons com o mínimo de dados não-determinísticos possível. Dessa forma pode-se evitar o efeito colateral da falsa interpretação de ruídos e transientes como parciais estáveis, esperados nesse tipo de análise. A separação da parte não-determinística do áudio a ser analisado é realizada através do processo de ‘*spectral extractor*’ do *software* SoundHack apenas fornecendo os limites superior e inferior das taxas médias de mudança de freqüência das

componentes analisadas. Obtida a parte do som com taxas médias de variação menores que um determinado *threshold* (em Hertz por *frame* de análise), passa-se ao estágio da análise via FFT no AudioSculpt.

Aqui se inicia uma extensa série de cuidadosas decisões a serem tomadas na escolha dos parâmetros de análise mais adequados para cada tipo de som seguindo intuítos específicos: tamanho da janela de análise, tipo da janela de análise, número de *overlaps*, número de ‘canais’ na análise (também chamado FFT *size*), tamanho mínimo para que as componentes analisadas sejam consideradas parciais, flutuação máxima de frequência a partir da qual passa-se a considerar um novo parcial, distância máxima entre dois parciais abaixo da qual pode-se uní-los e *thresholds* mínimo e máximo de amplitude que estabelecem o âmbito considerado para análise. Pode-se estabelecer ainda relações entre o tamanho real da janela de análise escolhida e um tamanho ajustado para uma potência de dois para que haja ‘*zero-padding*’ em tamanho suficiente para uma análise mais precisa, isto é, uma maior definição espectral.

O processo em AudioSculpt para a obtenção das análises desejadas é o ‘*partial tracking*’ que exportará, em formato texto, dados referentes aos tempos de início e de extinção de cada parcial, suas frequências médias e amplitudes médias em dB.

4. Modelagem e Criação de Dados para Síntese

Através do OpenMusic podemos fazer programações visuais (*patches*) de métodos e processos de manipulação de dados adequando-os para as necessidades musicais apresentadas na elaboração da obra mista. Assim, foram criados *patches* que permitem a exploração sonora a partir da alteração de parâmetros e fatores que irão dirigir as sensações de fusão e segregação sonoras e o distanciamento/aproximação de uma identidade sonora, ou seja, a criação de parâmetros sonoros que criem sons cujo modelo inicial seja o som instrumental. Ao contrário do que se poderia pensar inicialmente, os limites impostos pelo modelo não são estreitos, pois pode-se chegar a configurações totalmente distintas daquelas de origem com a vantagem de se ter uma referência e de se poder controlar o grau de dissimilaridade do modelo, ajustando-o estática ou dinamicamente.

Os *patches* criados foram, segundo as categorias dos parâmetros abordados, foram:

No campo frequencial

- 1) transformação de um espectro harmônico em um espectro inarmônico
- 2) transformação de um espectro inarmônico em um espectro harmônico
- 3) compressão e dilatação progressiva exponencial bipolar frequencial do espectro a partir de um âmbito central dado
- 4) redistribuição progressiva exponencial bipolar de frequências sem alteração do âmbito espectral

No campo temporal

- 5) micro-alterações dos tempos de início de cada parcial
- 6) relação variável de duração entre os segmentos do envelope dinâmico dos parciais (proporção interna do envelope)

No campo das amplitudes

7) redistribuição da energia contida no espectro

8) criação de uma relação variável de amplitude entre o pico máximo e a amplitude de sustentação do som

No que concerne às fases

9) criação de posições de fase individuais para os parciais em cinco configurações

- a. em fase (a mesma posição de fase para todos os parciais)
- b. fases opostas entre parciais consecutivos no âmbito freqüencial
- c. fases randômicas com distribuição uniforme
- d. fases com distribuição gaussiana
- e. fases com distribuição beta

No que concerne ao espaço

10) distribuição de parciais no espaço estereofônico

Os *patches* executarão tarefas de adaptação, alteração e criação de dados segundo os algoritmos elaborados para cada parâmetro e exportarão os dados resultantes formatados para serem lidos como *scripts* de Csound (*scores*). Eles fornecerão listas dos novos parciais com as descrições necessárias para a posterior síntese aditiva executada em Csound - número de parciais, *onsets*, durações, amplitudes, freqüências, fases, posições no espaço estereofônico e envelope dinâmico dos parciais.

Segue uma breve descrição de algumas das funções listadas acima.

1) Neste *patch* toma-se como princípio que o som de origem, cujos parâmetros se queira modificar, ou para o qual se queira criar, seja harmônico. A lógica consiste em relacionar cada freqüência lida da análise a um harmônico e a partir da freqüência virtual desse harmônico, criar desvios de até 22% em freqüência acima ou abaixo da freqüência original, o que corresponde a aproximadamente três semitons mais um quarto de tom (≈ 344 cents) para cada lado. Com 'freqüência virtual' refiro-me à freqüência obtida a partir da multiplicação da freqüência fundamental (dado extraído diretamente do AudioSculpt em um processo paralelo e inserido no *patch*) pelo número do harmônico correspondente (calculado dentro do *patch*). O porquê ela é virtual e não 'real' deve-se ao fato de que os parciais harmônicos de um som instrumental nunca correspondem exatamente à freqüência calculada a partir da série harmônica.

2) A lista de freqüências extraídas da análise é comparada à lista de freqüências harmônicas virtuais. O arredondamento é essencial, pois a simples razão entre as freqüências fornecerá a razão real entre elas, seja esta harmônica ou inarmônica. A razão arredondada, fornecendo um número inteiro, assegura a harmonicidade da relação. Depois de comparadas as listas, se for verificado que as freqüências das análises são pertencentes ao âmbito de um tom abaixo a um tom acima da freqüência virtual, a freqüência virtual é adotada no lugar da primeira, se não, não haverá alteração, garantindo que parte dos parciais continuem inarmônicos e mantendo, dessa forma, uma riqueza do espectro freqüencial maior que se todo o espectro fosse totalmente harmônico.

3) A idéia contida neste *patch* é a compressão ou dilatação do espectro de frequências de maneira progressiva e exponencial com fatores de progressão independentes para o grave e para o agudo excluindo deste processo o âmbito especificado. As alterações acontecerão para além desse âmbito central segundo dois fatores fornecidos: o fator para modificações abaixo do âmbito (nomeado como *fator_inf*) e o fator para modificações acima do âmbito (nomeado como *fator_sup*). Os dois têm funcionamento similar e independente, podendo mesmo não haver alteração em um dos ‘lados’.

4) Neste caso, diferentemente do anterior, o âmbito de frequências do espectro original é preservado. Em alguns casos pode-se querer, por vários motivos, preservar os limites de frequência. Assim, há uma redistribuição das frequências do espectro, mas com um reescalonamento das novas frequências a fim de manter o âmbito fixo.

7) O mascaramento espectral (discutido no corpo da dissertação) impede a percepção, em condições muito específicas, de uma componente do som pela proximidade frequencial de outras componentes espectrais com maior intensidade. É sobre este ponto especificamente que se situa o campo de atuação do *patch* de alteração de amplitude. A idéia desenvolvida aqui é trazer à tona uma série de componentes do espectro que não poderiam ser percebidas antes devido ao mascaramento espectral. A esse processo chamei desvelamento tímbrico, pois revela uma parte do timbre antes encoberta (mascarada). Mas, antes de apenas elevar as amplitudes das componentes imperceptíveis (ou menos perceptíveis que outras), aumentando a energia sonora global, foi realizado um deslocamento ou redistribuição de determinadas ‘quantidades de amplitude’ com valores fornecidos pelo usuário. Dessa maneira, pode-se, em parte, manter o contorno de amplitude e a soma de energia do espectro do som original. O que poderá mudar, além da alteração de regiões frequenciais percebidas, é a sensação de intensidade resultante devido a um grande número de fatores psicoacústicos em jogo.

9) Por questões de dificuldade de gerenciamento de grandes quantidades de dados, não foram lidas as fases originais das componentes espectrais, as leituras não seriam possíveis através das análises de parciais via *partial tracking*. Foi proposta então a criação de cinco diferentes configurações de fase para os parciais, cada uma delas com arranjos de valores bem diversificados. As aplicações das distribuições de fases randômica uniforme, gaussiana e beta se deram no eixo das frequências das componentes e não no eixo temporal.

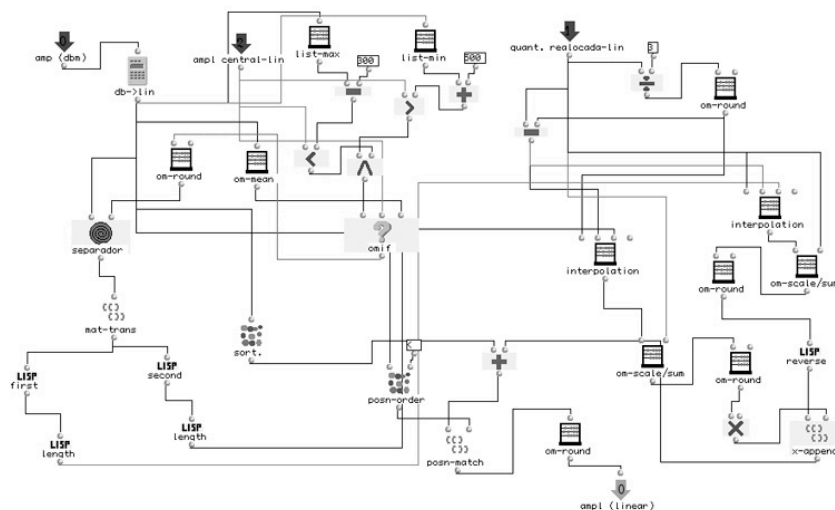


Figura 1. Patch de fornecimento de dados para a realocação da energia do espectro.

5. A Síntese

O modelo de síntese adotado foi o modelo espectral por ser este, entre todos, o mais detalhado e maleável e o que se ajusta perfeitamente à proposta de trabalho. O *software* escolhido foi o Csound na versão MacCsound de Matt Ingalls que possibilita, além da síntese, processamentos e programações de novas funções.

As implementações são de três categorias - implementação de modelos psicoacústicos, manipulação de dados para a síntese e técnicas de preparação e endereçamento de dados – que agrupam as seguintes propostas:

1) Modelos psicoacústicos

- limiar de audibilidade (*Audible Threshold of Hearing*)
- *jitter*
- *shimmer*
- distribuição espacial

2) Manipulação de dados para a síntese

- senóides + ruído
- hibridização

3) Técnicas de preparação e endereçamento de dados

- criação do arquivo de análise de *phase vocoder*
- integração dos processos para a síntese final

A aplicação desses tópicos em Csound se valeu, em parte, pelo uso de funções préprogramadas - os *opcodes*, e em parte pelo uso de expressões matemáticas, como foi o caso da implementação filtro criado a partir do limiar de audibilidade:

```

iampdbm = dbamp(p4) ;conversão para dBm
iampspl = (iampdb*120)/90.308 ;conversão para dB SPL
iamplin = p4 ;amplitude linear
ifrq = p5 ;constante de freq.

ithres = (3.64*(ifrq/1000)^(-0.8)) - (6.5*2.71828^(-0.6*((ifrq/1000)-3.3)^2)) + (10^(-3)*(ifrq/1000)^4)

iampf = (iampspl < ithres + 4.99 ? 0 : iamplin) ;teste/decisão

```

Figura 2. Expressão para aplicação de filtro em Csound baseado no limiar de audibilidade (ithres).

Outros parâmetros empregados provenientes de estudos psicoacústicos foram o *jitter* e o *shimmer* (flutuações nas frequências e amplitudes das componentes de um som, respectivamente), ambos responsáveis pela sensação de riqueza e naturalidade dos sons instrumentais. Dessa forma, dá-se prosseguimento às etapas de modelização do som de origem. O Csound já possui *opcodes* apropriados para implementação de *jitter* e *shimmer*, bastando escolher o tipo de algoritmo dentre os disponíveis e os parâmetros adequados a cada situação, isto é, a cada tipo particular de som.

Por fim, a parte mais trabalhosa foi devido ao acréscimo da parte ruidosa do som, não-determinística, eliminada antes da análise de FFT. Assim, em vez de adotarmos a síntese aditiva como única fonte de geração de som, optou-se por ‘hibridizar’ o som final acrescentando ruídos extraídos do som original à síntese. O processo inclui a importação do áudio original para o Csound, a análise de *phase vocoder* com o utilitário PVANAL, a leitura da frequência e amplitude de cada um dos canais resultantes da análise e suas filtragens através de uma função de filtragem recursiva estabelecida no processo de programação de funções (chamada também *opcode*). Obtido o ruído resultante da subtração de todos os componentes analisados pelo *phase vocoder* do áudio original, mixamos à síntese obtida como encerramento de todo o processo. A mixagem evidentemente pode ser ajustável e pode conferir diferentes caracteres sonoros, de modo a aproximar ou distanciar os sons eletrônicos obtidos daqueles sons instrumentais de origem.

```

opcode FFTfilter, a, akkpp

asig, ktime, kq, idep, icnt xin

if (icnt >= idep) goto next

asig FFTfilter asig, ktime, kq, idep, icnt+1
kfrq, kamp pvread ktime, "d.pvc", icnt
kamp = (kamp > 1 ? 1/kamp : 1)
asig pareq asig, kfrq, kamp, kq

next:
xout asig
endop

```

Figura 3. Programação da filtragem recursiva em Csound para extração da parte não-determinística do som.

6. Conclusão

Há as conclusões técnicas, relativas à eficiência e pertinência dos procedimentos envolvidos de acordo com o que foi proposto e há as conclusões, situadas mais no campo subjetivo, relativas à qualificação das sonoridades resultantes voltadas para o uso

composicional na música eletroacústica mista. O grande âmbito de associações percebidas, entre a verossimilhança com o timbre original e a ausência completa de qualquer referência perceptiva, nos conduz a possibilidades inumeráveis, assim como suas classificações. Reduzir esse âmbito incomensurável a meia dúzia de passos de interação entre sons instrumentais, ditos ‘acústicos’, e sons eletrônicos seria desconsiderar totalmente as nuances e características de nossa percepção e da estrutura dos sons. Seriam necessários, na verdade, estudos exaustivos sobre as considerações a serem feitas na escolha dos processos, mesmo assim sem a intenção de esgotar as possibilidades de combinação de alteração conjunta de diversos parâmetros simultaneamente. O que se pôde perceber no decurso deste estudo é que variações contínuas e regulares de um ou outro parâmetro sonoro para a síntese não mostrou uniformidade perceptiva: pequenas alterações iniciais dos parâmetros de análise originais, principalmente no que tange ao campo das alturas e sua estrutura, mostraram distanciamentos perceptivos abruptos e vice-versa. Alterações de outros parâmetros, como fase, criaram situações sonoras divergentes quando a estrutura dos valores de fase também divergiam, mas pouquíssimas variações percebidas quando os valores mudavam mantendo-se as suas estruturas. Assim é porque cada parâmetro diz respeito a uma estrutura perceptiva diferente e suas mudanças só poderão ser entendidas se estudadas dentro de sistemas restritos e controlados. Como recurso de composição, vale mais a livre exploração sonora/musical das combinações fornecida pelos abertura e abrangência dos procedimentos criados aqui com esse intuito.

Referências

BATTIER, Marc. De la Phonographie à la Lutherie Numérique. L’Épiphanie du Son Artificiel. In: Journée d’Informatique Musicale – 9^a édition, 2002, Marseille.

Proceedings. Disponível em:

<http://perso.wanadoo.fr/gmem/evenements/jim2002/articles/L01_Battier.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2004.

BOULANGER, Richard (Ed.). *The CSound Book – Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing, and Programming*. Cambridge: The MIT Press, 2000, 740 p.

BREGMAN, Albert S. *Auditory Scene Analysis – The Perceptual Organization of Sound*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1990, 773 p.

CAMPOS, Ignacio de. *Interação Tímbrica na Música Eletroacústica Mista*, 2005. Dissertação, 205 f. (mestrado) - Pós-graduação do Instituto de Artes, Unicamp.

JENSEN, Kristoffer; MARENTAKIS, Georgious. *Hybrid Perception*. 1st Seminar on Auditory Models. Lyngby, Denmark, 2001.

MALT, Mikhail. *Les Mathématiques et la Composition Assistée par Ordinateur - Concepts, Outils et Modèles*, 2000. Tese, 874 f. (doutorado) - Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales. Recebido do próprio autor em 9 ago. 2003.