



Programa de Pós-Graduação em Música  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

# Anais do Congresso Nacional de Música e Matemática

*(edição 2016)*  
**2594-9128**

[m]

Rio de Janeiro, 2017

# Anais do Congresso Nacional de Música e Matemática

*(edição 2016)*  
**2594-9128**

---



Rio de Janeiro, 2017



-

Anais do I Congresso Nacional de Música e Matemática. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Música, Programa de Pós-Graduação em Música, 2016.

ISSN: 2594-9128

# **Universidade Federal do Rio de Janeiro**

## **Comissão Organizadora**

Carlos de Lemos Almada

Daniel Moreira de Sousa

Liduino Pitombeira

Pauxy Gentil-Nunes

## **Editor**

Daniel Moreira de Sousa

## **Comissão científica**

Alexandre Reche

Carlos de Lemos Almada

Gabriel Pareyon

Marcos Sampaio

Liduino Pitombeira

Pauxy Gentil-Nunes

Rodolfo Coelho de Souza

## APRESENTAÇÃO

O diálogo entre Música e Matemática, que ganhou forte impulso em meados do século XX, tem-se mostrado como uma das mais fortes tendências recentes da pesquisa acadêmica. Os dodecafonismos de Arnold Schoenberg e Joseph Hauer, a Teoriados Conjuntos de Classes de Alturas, de Milton Babbitt e Allen Forte, os princípios da Teoria Neorriemaniana formatados por David Lewin, a teorização sobre contorno musical, por Robert Morris e as formalizações das distâncias e tensões tonais, propostas por Fred Lerdahl representam alguns dos mais destacados marcos nesse sentido.

O que, entretanto, parece ser apenas uma tendência da atualidade, ainda que tão intensa, é, na verdade, a retomada de uma associação estreita que existe desde os primórdios da formação do conhecimento humano. Por volta do século V a.C., a concepção da Música das Esferas, compartilhada por Platão, Pitágoras e Aristoxeno, a partir da descoberta das relações entre sons harmônicos e pr oporções matemáticas, deu início à chamada música especulativa, uma categoria superior de pensamento (acima das “terrenas” funções do fazer musical) que se manteria pelos séculos seguintes. Sob essa égide, ambas as áreas se irmanaram no Quadrivium, que congregava as quatro Artes Liberais (Música, Aritmética, Geometria e Astronomia), fundamentais, juntamente com as disciplinas do Trivium (Gramática, Retórica e Dialética), para a formação intelectual universitária durante a Idade Média.

Ainda dentro da tradição especulativa, concepções musicais foram empregadas como sustentação teórica de tratados com propósitos de estudos matemáticos, físicos e, sobretudo, astronômicos. Nomes mais conhecidos por suas contribuições nesses campos, como Galileu, Descartes, Kepler, Newton e Euler, utilizaram-se da música em vários trabalhos que ajudaram preparar e a alavancar a conhecida era da Revolução Científica, entre os séculos XV e XVII. O divórcio entre ambos os campos ocorreria apenas durante outra Revolução, a Francesa, em finais do século XVIII, com a fundação do Conservatório de Paris e a migração formal da Música para o grupo das Belas Artes. Embora, de modo algum, significando uma negação à natureza artística da Música, a busca pela sistematização do estudo de sua estrutura, envolvendo especialmente os campos da composição e da análise, veio de alguma

maneira resgatar sua força especulativa ancestral, desta vez profundamente apoiada em modelos e conceitos matemáticos.

O I Congresso Brasileiro de Música e Matemática, promovido pelo grupo de pesquisa MusMat, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, tem por principal finalidade contribuir para reforçar essa nova e bem vinda tendência e congregar pesquisadores em ambas as áreas que buscam vias de divulgação de seus trabalhos e pensamentos e, especialmente, de interlocução que possam conduzir a novas formulações, aperfeiçoamentos, ramificações e abordagens.

# SUMÁRIO

*Carlos De Lemos Almada*

**ANÁLISE DE GERMINATA III, PARA FLAUTA, FAGOTE E PIANO** \_\_\_\_\_ **6**

*Ciro Visconti*

*Paulo de Tarso Salles*

**AS FUNÇÕES DA SIMETRIA NOS GRAFOS DE TÉTRADES DA TEORIA NEORIEMANNIANA** \_\_\_\_\_ **15**

*Daniel Moreira de Sousa*

**VARIAÇÃO PROGRESSIVA TEXTURAL: PLANEJAMENTO COMPOSICIONAL DA OBRA SAGRAÇÃO DE UM FAUNO NA PRIMAVERA** \_\_\_\_\_ **26**

*Fábio Adour*

**TRANSFORMAÇÃO DE DISCURSO VERBAL EM MUSICAL: UM RELATO COMPOSICIONAL** \_\_\_\_\_ **35**

*Gabriel Rimoldi*

*Ivan E. Y. Simurra*

*Adriano Claro Monteiro*

**O USO DE DESCRITORES ACÚSTICOS COMO FERRAMENTA NA ANÁLISE, CRIAÇÃO E PERFORMANCE MUSICAL** \_\_\_\_\_ **49**

*Gean Pierre*

*Oscar Abdounur*

**A RACIONALIDADE MATEMÁTICA NA MÚSICA DE VILLA-LOBOS** \_\_\_\_ **62**

*Liduino Pitombeira*

**PLANEJAMENTO COMPOSICIONAL DO SEGUNDO MOVIMENTO DE PATRONO QUIETO A PARTIR DA MODELAGEM SISTÊMICA DO PONTEIO Nº 4 DE CAMARGO GUARNIERI** \_\_\_\_\_ **70**

*Marcelo Birck*

*João Lazzarin*

**DA NÃO REPETIÇÃO DE TRICORDES EM SÉRIES DODECAFÔNICAS:  
CONSTRUÇÃO, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES \_\_\_\_\_ 82**

*Nicolás Andrés Espinoza Santibáñez*

*Luiz Wagner Pereira Biscainho*

**HARMONIZAÇÃO MUSICAL AUTOMÁTICA: TENDÊNCIAS EM  
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL \_\_\_\_\_ 93**

*Pauxy Gentil-Nunes*

*Bernardo Ramos*

**COMPLEXOS PARTICIONAIS \_\_\_\_\_ 117**

*Silvio Moreira Barbosa Jr.*

**O TEOREMA DE NÃO REDUNDÂNCIA INTERVALAR \_\_\_\_\_ 127**

## **Análise de Germinata III, para flauta, fagote e piano**

Carlos Almada  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – carlosamada@musica.ufjr.br

**Resumo:** Este artigo apresenta, em linhas gerais, uma análise da obra *Germinata III*, composta pelo presente autor em 2016. Seu planejamento estrutural, envolvendo as dimensões melódica, rítmica, harmônica e formal, é resultante da combinação de dois sistemas composicionais, elaborados e desenvolvidos pelo presente autor em projetos de pesquisa vinculadas ao Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro: (a) o Sistema-Gauss, baseado em aplicações musicais da teoria dos números primos e (b) o Sistema-Gr, fundamentado nas teorias da variação progressiva e da *Grundgestalt*, de Arnold Schoenberg. A obra apresenta uma arquitetura básica tripartite e simetricamente espelhada, tendo seu conteúdo derivado de relações presentes em uma breve ideia melódica inicial (a *Grundgestalt* ou axioma). A integração de ambos os sistemas mostra-se consideravelmente promissora para ser usada na composição de novas obras musicais.

**Palavras-chave:** *Germinatas III*. Números primos. Variação progressiva e *Grundgestalt*. Simetria.

### **Analysis of *Germinata III*, for Flute, Bassoon and Piano**

**Abstract:** This article presents basically an analysis of *Germinata III*, composed by this author in 2016. Its structural planning, encompassing melodic, rhythmic, harmonic, and formal dimensions, results from the combination of two compositional systems, elaborated and developed by the present author in research projects associated to the Music Graduate Program of the Federal University of Rio de Janeiro, namely: (a) the Gauss-System, based on musical applications of the theory of prime numbers and (b) the Gr-System, grounded on the principles of developing variation and *Grundgestalt*, elaborated by Arnold Schoenberg. The piece presents a basic three-part and mirrored architecture and has its content derived from some relations present in a brief basic melodic idea (the *Grundgestalt* or axiom). The integration of the both systems is considerably promising for use in further compositions.

**Keywords:** *Germinatas III*. Prime Numbers. Developing Variation and *Grundgestalt*. Symmetry.

### **1. Introdução**

O planejamento composicional de *Germinata III* é baseado em duas fontes: (1) as teorias da *Grundgestalt* e da variação progressiva, criadas por Arnold Schoenberg, e (2) o conceito de números primos, ramo da teoria dos números naturais. A primeira associação advém dos desdobramentos de um abrangente projeto de pesquisa em andamento, voltado para o estudo sistemático da variação musical, sob as perspectivas analítica e composicional. Mais especificamente, o presente artigo tem como finalidade descrever um recente aperfeiçoamento da segunda perspectiva, envolvendo o Sistema Gr de composição, relacionado a uma sistemática e exaustiva produção de variantes a partir de uma ideia musical básica, denominada "axioma".

Um complexo de módulos computacionais complementares e sequenciais (denominado *geneMus*) foi desenvolvido como ferramenta auxiliar para o processo composicional dentro do Sistema.<sup>1</sup> Basicamente, os quatro módulos operam seguindo os etapas bem definidas:

- Entrada do axioma (configurado como um arquivo MIDI monofônico);
- Abstração das sequências intervalar e duracional do axioma;
- Produção separada de variantes intervalares e rítmicas através de aplicação de inúmeros algoritmos transformadores,<sup>2</sup> durante um número indefinido de gerações (processo denominado "variação progressiva de primeira ordem", ou VP1);<sup>3</sup>
- Recombinação das variantes abstratas (intervalares e rítmicas) em estruturas concretas, que se tornam blocos construtivos básicos, como motivos convencionais;
- Concatenação dos blocos, formando estruturas mais complexas (análogas a temas);
- Produção de variantes a partir das estruturas formadas, em um número indefinido de gerações, processo denominado "variação progressiva de segunda ordem", ou VP2.<sup>4</sup>

O segundo aspecto teórico considerado no planejamento da obra, a relação com os números primos, deriva de outro projeto composicional (o Sistema-Gauss), desenvolvido entre 2011 e 2012.<sup>5</sup> Tal sistema tem por objetivo a composição musical baseada em conexões isomórficas entre elementos estruturais musicais (alturas, forma, ritmo, harmonia) e números primos. Como se sabe, os números primos formam um subconjunto dos números naturais (inteiros positivos) e têm a propriedade de serem divisíveis apenas por 1 e por si próprios. Sua mais notável característica é a imprevisibilidade, ou seja, não é possível prever o sucessor de uma determinada série de primos, a partir do conhecimento dos elementos precedentes (o que não se aplica a qualquer outro tipo de sequência de números naturais, como, por exemplo, a dos

---

<sup>1</sup> Para descrições detalhadas do Sistema Gr e do complexo *geneMus*, ver ALMADA (2015).

<sup>2</sup> Por exemplo, as operações canônicas de inversão, aumentação etc.

<sup>3</sup> Durante a VP1 o compositor seleciona aquelas variantes que lhe mais interesse, de acordo com seus propósitos construtivos, mantendo-as como referências para novas variantes.

<sup>4</sup> Idem.

<sup>5</sup> Para uma descrição do Sistema-Gauss, ver SOUSA & ALMADA (2012).

números pares, a dos chamados números triangulares ou a série de Fibonacci etc.). Tal propriedade torna-se o principal atrativo para a busca de correspondência com atributos musicais. No presente caso, os primos são empregados nos domínios da construção cordal, das configurações intervalar e rítmica e na estruturação formal, em diversos níveis.

## 2. Forma

Em 2016 foi idealizado o projeto *Germinatas*, voltado para a composição de 16 obras de diferentes extensões e instrumentações, a partir da aplicação do Sistema-Gr.<sup>6</sup> *Germinata* III, para flauta, fagote e piano, foi composta durante os meses de abril e maio e estreada em novembro desse mesmo ano pelo trio de Aloyso Fagerlande, Eduardo Monteiro e Flávio Augusto, no Panorama da Música Brasileira Atual, organizado pela Escola de Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

A estrutura da obra é baseada em uma organização calcada em relações primas e simetria especular. A Fig.1 apresenta seu plano formal, subdividido em quatro níveis hierárquicos (0-4). Como se observa, trata-se de uma arquitetura básica ternária (A-B-A'), replicada recursivamente nos dois níveis seguintes. Todas as subseções componentes apresentam extensões em números primos de tempos, com a exceção de A e A' (nível 1), formadas igualmente por 49 tempos, um número composto.<sup>7</sup>

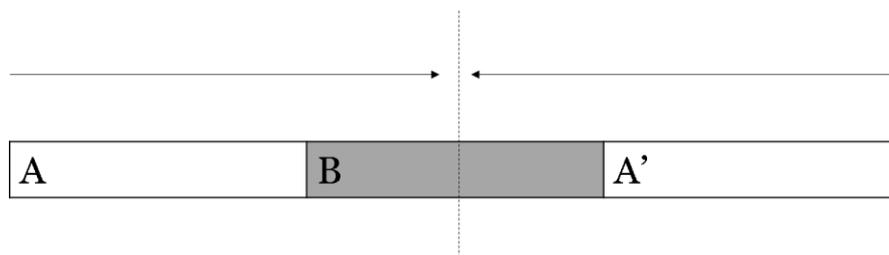
	A							B							A'																				
N3	5	3	5	5	11	3	5	5	7	7	3	7	7	11	5	5	3	11	7	5	5	3	11	5	5	3	5								
N2	13			19				17			17			23				19			17			19				13							
N1	49 (47+2)														59							49 (47+2)													
No	161																																		

**Figura 1:** Estrutura em formal quatro níveis de *Germinata* III.

Outra particularidade estrutural relevante é a a disposição espelhada da obra: a partir de um eixo de simetria, posicionado em ponto quase-central da seção contrastante B, todo o trecho precedente passa a ser retrogradado (Fig.2).

<sup>6</sup> Até o presente momento, quatro delas já foram concluídas: além daquela que é objeto de análise neste artigo, um duo de clarinetas, um *rock-trio* (guitarra, baixo e bateria) e um trio de madeiras (oboé, clarineta e fagote). Um dos movimentos desta última obra é descrito em ALMADA (2017).

<sup>7</sup> Entretanto, essa extensão é nos dois casos particionada em dois primos, 2 e 47, como será apresentado mais adiante.



**Figura 2:** Esquema de simetria espelhada em *Germinata* III.

Disso resulta que as seções A e A' são mutuamente retrogradadas. Como a primeira foi organizada na forma de tema e variações, sua recapitulação (A') mostra-se estruturada como variações precedendo o retorno do tema (que surge obviamente retrogradado em relação ao original). A Fig. 3 apresenta os trechos que concluem A e iniciam A', revelando suas configurações espelhadas.

**Figura 3:** Configurações espelhadas do final da seção A (c.47-49) e início da seção A' (c.109-111).

### 3. O axioma

O axioma da obra (ou seja, a fonte básica de seu material, a ser extraído através de processos intensos derivativos) foi concebido igualmente a partir de relações isomórficas com números primos, considerando abstrações dos aspectos de alturas, intervalos e durações, como é mostrado na Fig.4. O axioma pode ser, portanto, ser considerado como apresentando uma organização prima tridimensional: uma das dimensões é inteiramente abstrata (classes de alturas), enquanto as outras duas (intervalos e durações) derivam de quantidades concretas de, respectivamente, semitons e semicolcheias.



**Figura 4:** Axioma de *Germinata III* (a) e suas relações primas com a abstração de alturas e intervalos (b) e duracionais (c).

O axioma serve de base para a produção do material que compõe a obra, bem como de diversas relações estruturais primas, sejam implícita ou explicitamente, como será apresentado a seguir.

#### 4. Harmonia

A estrutura harmônica é especialmente derivada de acordes construídos a partir de um processo de verticalização de variações intervalares abstratas (VP1). Um submódulo de gM é dedicado a tal produção. No caso de *Germinata III*, foram produzidos, ao longo de 5 gerações derivativas, 181 acordes (um número primo). Deste total, por uma decisão do plano composicional, foram selecionados para formar o *pool* harmônico todos os acordes cujos números de ordem fossem primos, seguindo rigorosamente a sequência  $\{2, 3, 5, 7, 11, 13, \dots, 181\}$ . Na peça tais harmonias foram dispostas com alguns graus de liberdade (considerando a possibilidade de transposição e mudança de registro de suas vozes), porém respeitando rigorosamente as relações intervalares internas. A Fig.5 exemplifica o emprego de acordes-primos pelo piano no trecho inicial da peça, justamente no acompanhamento harmônico do axioma, apresentado pela flauta (observe-se que as durações dos acordes são também controladas e correspondem a números primos de semicolcheias).

Moderato (♩ = c. 108)

Flauta

Fagote

Piano

acorde 2 (duração: 7)

acorde 3 (duração: 5)

acorde 5 (duração: 11)

**Figura 5:** *Germinata* III, c.1-2: Emprego dos acordes-primos 2,3 e 5 no acompanhamento harmônico.

## 5. Conteúdo melódico

A estrutura motívica e temática de *Germinata* III é inteiramente procedente de derivação, seja através de manipulação e desenvolvimento das relações primas presentes no axioma, seja por processos de variação progressiva de primeira e segunda ordens. Esta seção tem por objetivo detalhar o segundo tipo de procedimento, associado ao Sistema-Gr e, por extensão, às ferramentas computacionais gM.

O processo foi iniciado no primeiro dos módulos de gM, dedicado à produção de variantes abstratas (VP1), através de aplicação de diversas técnicas de variação ao longo de 4 gerações de transformações. Entre os resultados, foram selecionadas 44 formas melódicas e 26 rítmicas, introduzidas no segundo módulo para recombinação em estruturas musicais concretas. Através de procedimentos de seleção artificial, orientados por algumas *funções de aptidão*,<sup>8</sup> foram obtidos 961 (número primo) motivos básicos.

No estágio seguinte (módulo 3) se deu a concatenação de alguns blocos selecionados,<sup>9</sup> na formação de estruturas mais extensas e complexas (denominados "grupos axiomáticos", ou axGr's). Tais estruturas tornam-se no planejamento espécies de temas referenciais, a partir dos quais novas variantes são obtidas. Na concatenação

<sup>8</sup> Para maiores informações a respeito, ver ALMADA (2016).

<sup>9</sup> Por decisão composicional, todos os blocos escolhidos tinham números de ordem primos.

dos blocos, o programa faculta ao compositor três tipos de manipulação: transposição, deslocamento métrico e supressão de notas finais dos blocos, de modo a permitir maior fluidez e contornos melódicos adequados a intenções específicas. A Fig.6a detalha a formação do axGr1, a partir da combinação de dois blocos básicos. Dois outros axGr's empregados como referenciais na obra são apresentados em formatos definitivos nas seções *b* e *c* da figura.

(a) axGr 1

The diagram shows the construction of axGr 1. It consists of two staves. The top staff is a 4/4 measure containing a sequence of notes: C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F4, E4, D4, C4. Brackets below this staff indicate two operations: the first bracket covers the first six notes and is labeled  $T(0) / d.m.(0) / s.(1)$ ; the second bracket covers the last six notes and is labeled  $T(-2) / d.m.(.5) / s.(0)$ . An upward arrow points from the first note of the second staff to the first note of the first staff. The second staff is a 4/4 measure containing notes: C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F4, E4, D4, C4, with a sharp sign (#) and the number 541 to its right. A downward arrow points from the first note of the second staff to the first note of the first staff. Below the second staff, the number # 179 is written, followed by a 4/4 measure containing notes: C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F4, E4, D4, C4, with the text 'nota suprimida' below it.

(b) axGr 2

A single 4/4 measure of music with notes: C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F4, E4, D4, C4.

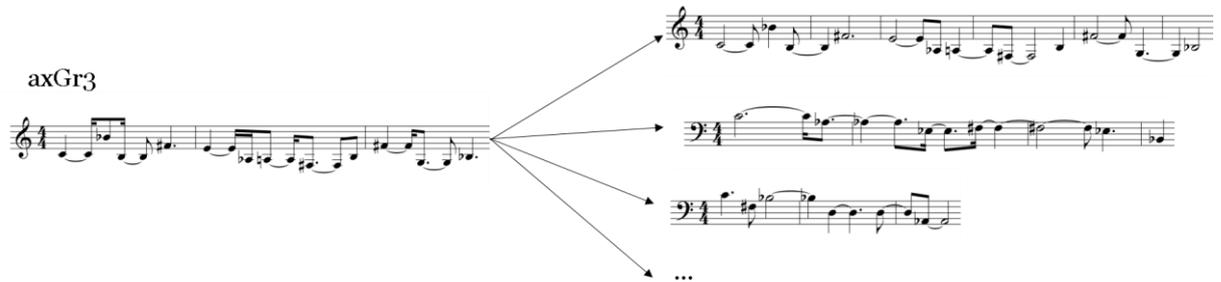
(c) axGr 3

A single 4/4 measure of music with notes: C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4, F4, E4, D4, C4.

**Figura 6:** *Germinata* III: construção de axGr1, a partir da concatenação de dois blocos, números 179 e 541, através de operações de transposição (T), deslocamento métrico (d.m.) e supressão de notas (s.) (a); axGr2 (b) axGr3 (c).

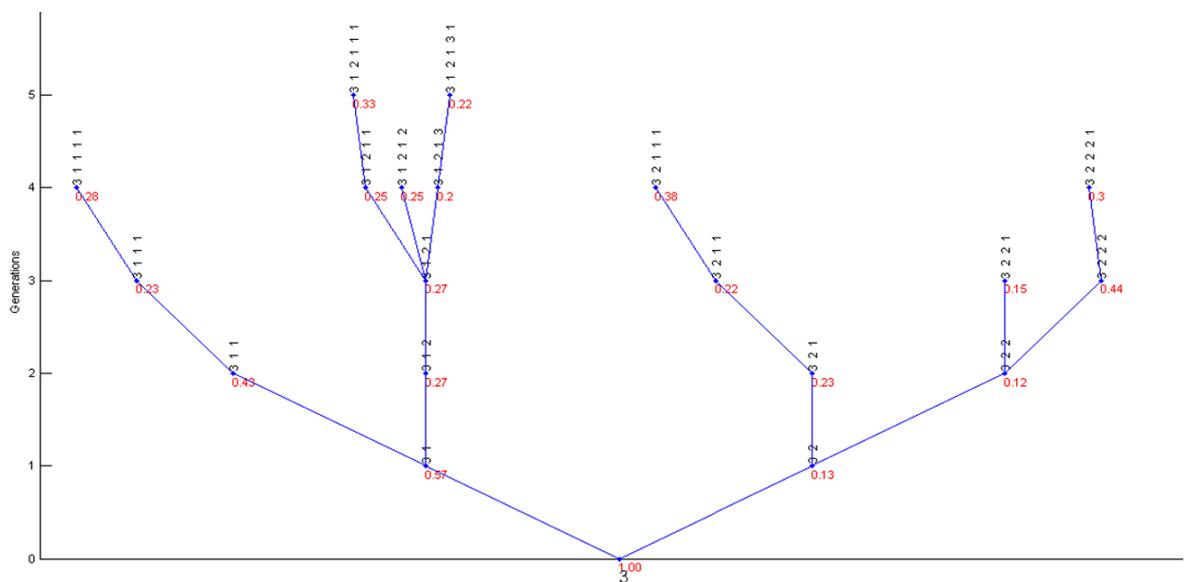
O quarto módulo é responsável pelo estágio do processo derivativo, no qual gerações de variantes de segunda ordem são produzidas a partir dos temas referenciais, por intermédio de procedimentos derivativos semelhantes àqueles de VP1. Espera-se que o compositor mantenha controle sobre a produção, selecionando entre as virtualmente infinitas possibilidades, as formas que mais se ajustam a seus propósitos criativos. No caso do planejamento de *Germinata* III, foram pré-selecionadas 47 variantes (considerando o conjunto dos três axGr's referenciais), das quais 17 se tornaram elementos temáticos para funções específicas dentro da obra. O processo

derivativo decorrente de aplicações transformacionais recursivas e gradualmente divergentes permite – a depender das "direções" e números de gerações consideradas – a obtenção de material em praticamente qualquer nível desejado de mútua afinidade ou contraste. A Fig.7 exemplifica este ponto apresentando três formas derivadas do axGr 3.



**Figura 7:** *Germinata III*: três variantes de axGr3, obtidas por VP2.

O programa ainda possibilita ao compositor uma visão abrangente da produção das variantes, associadas às diferentes ramificações possíveis, através de uma função de plotagem em configuração de árvore genealógica (ver Fig.8 para a árvore referente à linhagem de axGr3).<sup>10</sup>



**Figura 8:** *Germinata III*: árvore genealógica da linhagem de axGr3.

<sup>10</sup> Para as convenções de notação genealógica presente na árvore, ver ALMADA (2017, p. 8-9).

## 6. Considerações finais

Este artigo buscou descrever o processo composicional de *Germinata III*, realizado a partir da combinação de dois sistemas composicionais, baseados nas teorias do binômio variação progressiva/*Grundgestalt* e dos números primos. Enquanto que o primeiro sistema foi destinado basicamente à produção de material motívico-temático (destinado especialmente ao conteúdo da seção contrastante da peça) por meio de processos intensos de variação, o emprego do segundo sistema possibilitou a estruturação formal em macro escala (em diversos níveis hierárquicos), bem como sob uma perspectiva micro, a partir das relações primas presentes em três dimensões do axioma da obra. Os resultados obtidos em tal combinação foram largamente satisfatórios, especialmente pela natureza orgânica e multinivelada da estrutura final, o que estimula seu emprego em projetos composicionais futuros.

## Referências:

- ALMADA, Carlos de L. Evolutionary Variation Applied to the Composition of *CTG*, for Woodwind Trio. *MusMat: Brazilian Journal of Music and Mathematics*, v.1, n.1. p.1-14, 2017.
- ALMADA, Carlos de L. Artificial Selection Strategies Implementation in a Model for Musical Variation. *Musica Theorica*. Salvador: TeMA. p.1-15, 2016.
- ALMADA, Carlos de L. Genetic algorithms based on the principles of *Grundgestalt* and developing variation. In: BIENNIAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND COMPUTATION IN MUSIC (3.), 2015. Londres. *Anais ...* Londres: Queen Mary University, 2015.
- SOUSA, Daniel Moreira de & ALMADA, Carlos de L. Sistema Gauss: Os números primos e suas aplicações musicais. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPPOM (22.), 2012. João Pessoa. *Anais ...* João Pessoa: UFRN, 2012.

## As funções da simetria nos grafos de tétrades da teoria neoriemanniana

Ciro Visconti

Universidade do Estado de São Paulo – [cirovisconti@gmail.com](mailto:cirovisconti@gmail.com)

Paulo de Tarso Salles

Universidade do Estado de São Paulo – [ptsalles@usp.br](mailto:ptsalles@usp.br)

**Resumo:** Este artigo faz parte de uma pesquisa que investiga as diferentes funções que as classes de conjuntos assumem nos grafos da teoria neoriemanniana de acordo com seu grau de simetria. As 220 classes de conjuntos da tabela Forte foram divididas em grupos conforme a intensificação da simetria em sua estrutura e cada um deles desempenha um papel específico, tanto nos grafos de modo como nos modelos unificados da teoria neoriemanniana. No presente trabalho, investigaremos os grafos das tétrades.

**Palavras-chave:** Teoria neoriemanniana. Teoria dos conjuntos. Simetria. Grafos.

### The Symmetry Functions in Tertian Seventh Chords Graphs of Neo-Riemannian Theory

**Abstract:** This paper is part of a research that investigates the different functions assumed by the set classes in the neo-Riemannian graphs according to their degree of symmetry. The 220 set classes from Forte table were divided into groups according to the intensification of symmetry in their structure and each of them plays a specific role both in neo-Riemannian mode graphs as in unified models. In this work, we investigate the graphs of tetrads.

**Keywords:** Neo-Riemannian Theory. Set Theory. Symmetry. Graphs.

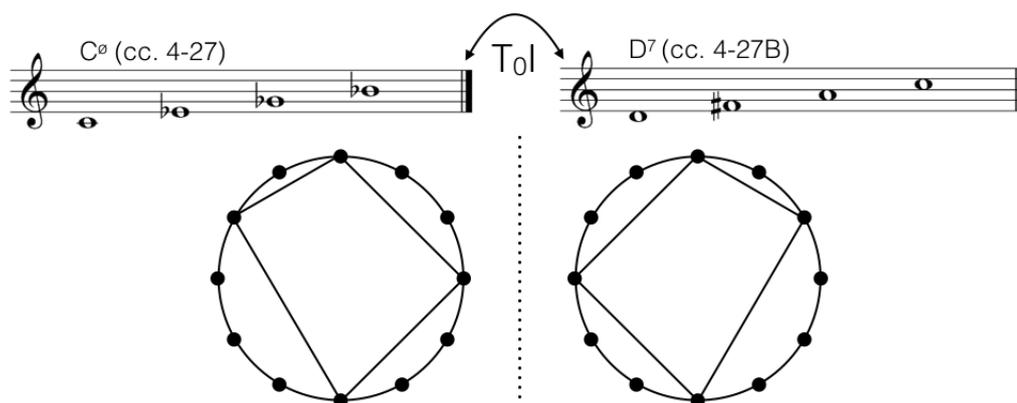
### 1. Grupos de classes de conjuntos divididos por grau de simetria

Em nosso artigo anterior (VISCONTI/SALLES, 2016), dividimos as 220 cc. da tabela Forte (entre tricordes e nonacordes) em três grupos (ver tabela 1 no final deste trabalho) utilizando como critério a intensificação da participação da simetria na construção dos conjuntos destas classes. Dmitry Tymoczko afirma que:

Como os músicos são sensíveis às distâncias entre as notas, temos razões para nos interessar nas transformações de preservação de distância do espaço musical. Existem apenas dois tipos delas - *transposição* e *inversão*, correspondentes as operações geométricas de *translação* e *reflexão* (TYMOCZKO, 2011, p. 33).

Levando em conta esta afirmação, podemos concluir que o próprio conceito de classe de conjunto é baseado na simetria, visto que uma classe de conjunto é formada por conjuntos que têm o mesmo conteúdo intervalar pois se relacionam por transposição e inversão. Assim, o primeiro grupo da nossa divisão das classes de conjunto será o mais numeroso, ele inclui todas as 141 cc. que são formadas por 24

conjuntos relacionados por transposição e inversão. Nestas classes de conjunto, as operações de translação e de inversão ocorrem entre os conjuntos que as constituem<sup>1</sup>, mas individualmente, estes conjuntos não apresentam nenhuma simetria intervalar. Este grupo 1) chamaremos de grupo  $T_n/T_nI$ , e entre suas classes de conjuntos estão a tríade menor (cc.3-11), a tríade maior (3-11B), o acorde meio-diminuto (c.4-27) e o acorde dominante (4-27B)<sup>2</sup>. Ao dispor as notas de dois conjuntos relacionados por inversão de uma destas classes de conjuntos em um mostrador de relógio, verifica-se dois polígonos irregulares refletidos:



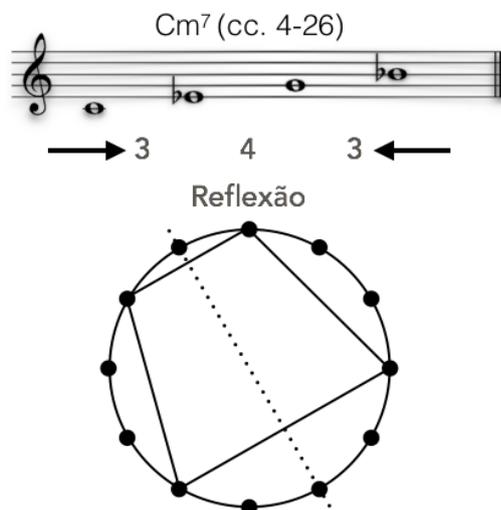
**Figura 1:** A inversão entre acordes meio-diminutos (cc. 4-27) e acordes dominantes (4-27B) pode ser verificada nos dois polígonos refletidos que suas classes de altura traçam no mostrador de relógio.

O segundo grupo da nossa divisão das classes de conjunto é formado por 67 cc. que possuem a simetria inversiva que segundo Joseph Straus são “classes de conjuntos que contêm conjuntos que podem mapear-se inteiramente neles próprios sob inversão” (STRAUS, 2013, p. 93). Por conta deste mapeamento, estas 67 cc. são constituídas por apenas 12 conjuntos que são transposições uns dos outros. Os conjuntos pertencentes a estas classes de conjunto apresentam um palíndromo (operação de reflexão) em sua relação intervalar. Em outras palavras, podemos dizer que as classes de conjunto deste grupo 2), chamado grupo da simetria inversiva, apresentam apenas 12 conjuntos porque a operação de translação ocorre entre seus conjuntos, mas a operação de reflexão ocorre internamente noexs intervalos de cada um deles, fazendo que se mapeiem em si próprios quando invertidos. Ao dispor as

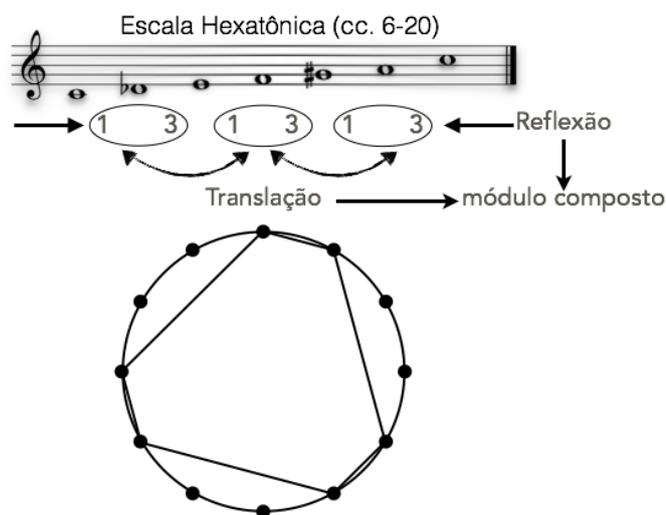
<sup>1</sup> Para maiores esclarecimentos sobre as operações de simetria aplicadas à música ver VISCONTI, 2016, p. 21-60.

<sup>2</sup> A versão da tabela Forte feita por Larry Solomon separa os conjuntos que são transposições de uma forma prima dos que são inversões em todas as cc. deste primeiro grupo. Assim, por exemplo, a tríade menor (037) é chamada de cc 3-11 enquanto a sua inversão (047) é chamada de 3-11B.

classes de altura de um dos conjuntos deste grupo no mostrador de relógio, verifica-se um polígono que, embora seja irregular, é dividido em duas partes idênticas por um eixo de simetria. Esse é o caso dos acordes menores com sétima, por exemplo:



**Figura 2:** A simetria inversiva do acorde menor com sétima menor (cc. 4-26) gera no mostrador de relógio um polígono irregular que pode ser dividido em duas partes **iguais**.



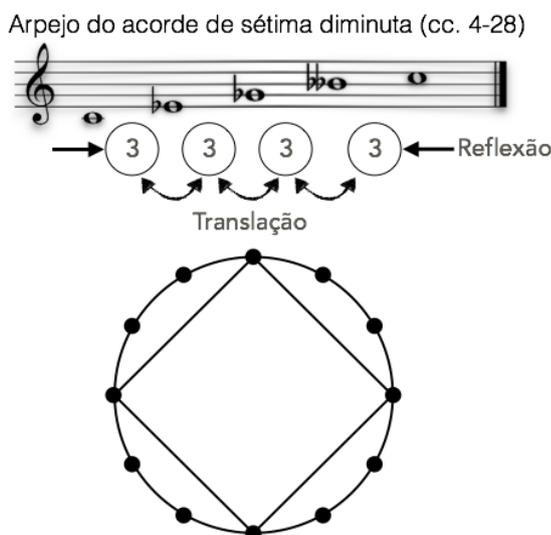
**Figura 3:** A simetria transpositiva da escala Hexatônica (cc. 6-20) gera um polígono equiangular no mostrador de relógio.

O grupo 3) de nossa divisão das classes de conjuntos é o menos numeroso, ele é formado apenas por 12 classes de conjuntos que possuem simetria transpositiva. Segundo Straus, conjuntos com simetria transpositiva “são capazes de mapearem-se inteiramente neles mesmos por transposição” (STRAUS, 2013, p. 89). Desta maneira, as 12 cc. deste grupo - chamado grupo da simetria transpositiva - são integradas por 6,

4, 3 ou 2 conjuntos<sup>3</sup>. Conjuntos pertencentes a estas classes combinam em seus intervalos o palíndromo (operação de reflexão) e a transposição, (operação de translação) sendo este o motivo de se mapearem tanto nas suas inversões quanto nas suas transposições.

Este grupo será subdividido em dois, o grupo 3a) é formado por 9 cc. em que a simetria transpositiva opera um modulo de simetria composto, ou seja, a reflexão e a translação ocorrem em dois ou mais intervalos. Ao dispor as classes de altura de um dos conjuntos deste grupo em um mostrador de relógio, verifica-se um polígono que, embora seja irregular, é equiangular. A escala Hexatônica (cc. 6-20) é um exemplo de classe de conjunto deste grupo (ver a figura 3).

O grupo 3b) é formado por 3 cc. (3-12, 4-28 e 6-35) em que a simetria transpositiva opera um módulo de simetria simples, ou seja, o palíndromo e a transposição ocorrem com um único intervalo. Ao dispor as classes de altura de um dos conjuntos deste grupo em um mostrador de relógio, verifica-se um polígono regular. O acorde de sétima diminuta (cc. 4-28) é um exemplo deste grupo:



**Figura 4:** A simetria transpositiva do acorde de sétima diminuta (cc. 4-28) resulta em um polígono regular no mostrador de relógio.

## 2. Função da simetria nos grafos de modo das tétrades

No artigo que publicamos anteriormente, observamos o comportamento e as funções que estes grupos de classes de conjuntos desempenham nos HexaCiclos e nos OctaCiclos, grafos que Jack Douthett e Peter Steinbach chamam de grafos de modo

<sup>3</sup> Todas as classes de conjuntos que possuem simetria transpositiva também possuem simetria inversiva.

(DOUTHETT/STEINBACH, 1998, p. 242), e nas regiões Weitzmann (VISCONTI/SALLES). Em todos estes grafos de tríades constatamos que: conjuntos do grupo 1) aparecem como os acordes que são operados pelas transformações **P**, **L**, **R** (HexaCiclos e OctaCiclos), **LP**, **PL**, **N** e **S** (regiões Weitzmann); conjuntos do grupo 3a) são escalas simétricas que desempenham o papel de superconjunto em cada um dos componentes destes grafos (cc. 6-20 nos ciclos hexatônicos, cc. 8-28 nos ciclos octatônicos e cc. 9-12 nos *waterbugs*) e por isso eles são chamados de grafos de modo; um conjunto do grupo 3b (cc. 3-12) aparece como pivô das transformações entre as tríades consonantes em cada um dos quatro *waterbugs* das regiões Weitzmann. Nos gráficos de tríades, não há nenhuma ocorrência de conjuntos do grupo 2.

Douthett e Steinbach destacam dois grafos de modos entre as tétrades, o primeiro deles chama OctaTorres, eles dão as seguintes orientações para montá-lo:

Tomemos a família  $S_1$  de todos os tetracordes cujas sequências de passos intervalares que separam suas classes de altura seja uma permutação de 2, 3, 3 e 4 semitons. Resulta que  $S_1$  é a família de todos os acordes de sétima de dominante, de todos os acordes meio-diminutos e de todos os acordes menores com sétima, o gráfico da família  $S_1$  induzido por  $P_{1,0^4}$ , chamado *OctaTorres*, consiste de três torres octatônicas componentes (ver Figura 4). Cada torre consiste de quatro quadriláteros conectados em um circuito (DOUTHETT/STEINBACH, 1998, p. 245).

Desta maneira, cada torre octatônica relaciona 4 acordes da cc.4-27, 4 acordes da cc. 4-27B e 4 acordes da cc. 4.26 através das transformações  $P^*$  e  $L^{*5}$ .

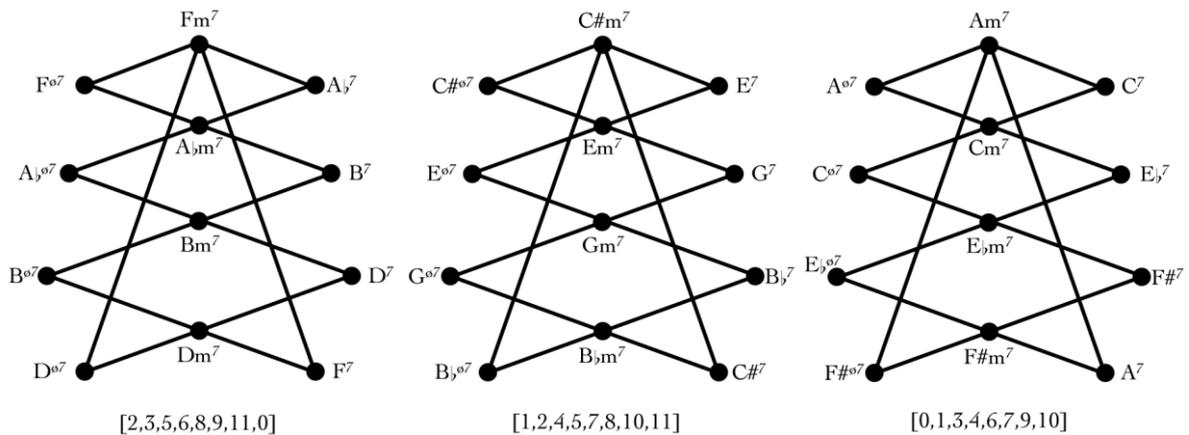
É notável como este grafo de tétrades se relaciona aos HexaCiclos pois os acordes se relacionam por máxima parcimônia. Contudo, cada ciclo hexatônico opera os conjuntos do grupo 1) - acordes maiores e menores - entre si, pois são acordes de uma mesma classe de conjunto relacionados por  $P_{1,0}$ . Esta possibilidade não ocorre entre as tétrades pertencentes a classes do grupo 1) - acordes meio-diminutos (4-27) e dominantes (4-27B) - pois elas se relacionam por  $P_{0,1}$ . Assim, os acordes menores com

---

<sup>4</sup> Os autores adotam a fórmula  $P_{m,n}$  para determinar o deslocamento total de notas entre dois acordes na condução de voz, na fórmula 'P' = parcimônia, 'm' = número de vozes que se deslocam por semitom e 'n' = número de vozes que se deslocam por um tom. Desta maneira,  $P_{1,0}$  é o conjunto de todas as transformações em que apenas uma voz se desloca por semitom enquanto as demais se mantêm.

<sup>5</sup> Estas duas transformações ocorrem entre tétrades induzidas por  $P_{1,0}$ . Transformações do tipo  $P^*$  ocorrem entre acordes meio-diminutos e menores com sétima com a mesma fundamental ( $P^*_{1,1}$ ) ou entre menores com sétima e dominantes com a mesma fundamental ( $P^*_{2,1}$ ); transformações do tipo  $L^*$  ocorrem entre acordes meio-diminutos e menores com sétima com fundamentais diferentes ( $L^*_{1,1}$ ) ou entre menores com sétima e dominantes com fundamentais diferentes ( $L^*_{2,1}$ ) (DOUTHETT/STEINBACH, 1998, p. 250).

sétima (4-26) entram no grafo como mediadores entre os acordes da cc. 4-27 e desempenham a função de manter a máxima parcimônia entre os acordes do grafo. Esta será sempre a função que conjuntos do grupo 2) desempenharão nos grafos da teoria neoriemanniana.

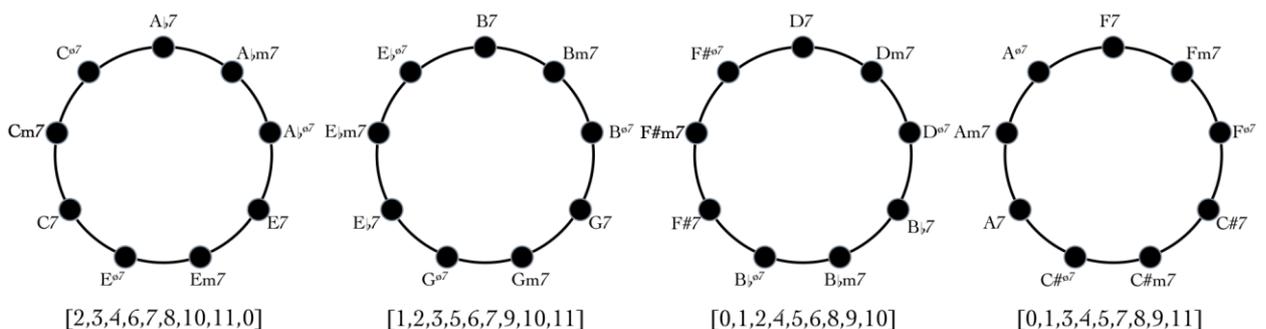


**Figura 5:** Grafo OctaTowers (DOUTHETT/STEINBACH, 1998, p. 246, fig. 4).

Como ocorreu nos grafos das tríades, as notas de todos os acordes de cada componente deste grafo, chamados de torres octatônicas, estão incorporadas em um conjunto do grupo 3a), neste caso a escala octatônica (cc. 8-28). Os acordes da torre à esquerda da figura 5 estão incorporados na  $OCT_{2,3}$ , os da torre do centro estão incorporados na  $OCT_{1,2}$  e os da torre à esquerda estão incorporados na  $OCT_{0,1}$  (na figura 5 a forma normal de cada um destes conjuntos está listada abaixo de cada torre).

Outro grafo de modo que utiliza as tétrades é chamado de EneaCiclos:

$S_1$  é subdividida entre quatro subfamílias  $S_{1,1}$ ,  $S_{1,2}$ ,  $S_{1,3}$  e  $S_{1,4}$ , em que cada subfamília consista dos acordes de sétima incorporados num certo conjunto eneatónico. (...) O gráfico *EneaCiclos* é a união dos gráficos de  $S_{1,k}$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ) induzido por  $P_{1,0}$  e  $P_{0,1}$  (DOUTHETT/STEINBACH, 1998, p. 246).



**Figura 6:** Grafo EneaCiclos (DOUTHETT/STEINBACH, 1998, p. 247, fig. 6).

Assim, temos neste grafo (figura 6), acordes que se relacionam pelas transformações  $P^*$  e  $R^*$ <sup>6</sup>. Neste caso, o acorde menor com sétima aparece novamente no grafo na função mediadora entre os acordes pertencentes a conjunto do grupo 1). Da mesma forma que no grafo OctaTorres, as notas de todos os acordes de cada componente do EneaCiclos, chamados ciclos eneatônicos, estão incorporadas em um conjunto do grupo 3a) que, neste caso, são as escalas octatônicas que estão listadas abaixo de cada ciclo na figura 6.

### 3. Função da simetria no modelo unificado das tétrades

Em sua abordagem grafo-teórica, Douthett e Steinbach apresentam grafos que fazem a interação de dois ou mais grafos de modos (DOUTHETT/STEINBACH, 1998, p. 253-257). Cohn se refere a estes modos como “modelos unificados” (COHN, 2012, p. 83). Em nosso artigo anterior, observamos a função que os grupos de classe de conjuntos desempenham no modelo unificado das tríades conhecido como *Cube Dance* (modelo que interage os ciclos hexatônicos aos *waterbugs*). Neste grafo, os acordes menores (cc. 3-11) e maiores (cc. 3-11B), pertencentes ao grupo 1), são operados pelas transformações **P** e **L**; os acordes aumentados, pertencentes ao grupo 3b), aparecem como pivôs que conectam um cubo ao outro; o superconjunto que incorpora as notas de todos os acordes de cada um dos cubos é uma escala hexatônica que pertence ao grupo 3a).

O *4-CubeTrio* é um grafo similar ao *Cube Dance* que, ao invés de operar tríades, opera as tétrades interagindo as torres octatônicas às aranhas de Boretz<sup>7</sup>. No *4-Cube Trio* as tétrades posicionadas em cada vértice podem se transformar parcimoniosamente em quatro outras. O resultado disto é a partir de cada vértice saem quatro hastes dispostas em ângulo de 90° uma das outras que representam as transformações. Assim, o grafo fica composto por três tesseratos (cubos de quatro dimensões)<sup>8</sup>. Neste grafo, os grupos de classes de conjuntos desempenham as mesmas funções que observamos nos grafos de modo: acordes meio-diminutos (cc. 4-27) e de

---

<sup>6</sup> Transformações entre acordes meio-diminuto e dominantes induzidos por  $P_{0,1}$ .

<sup>7</sup> Este grafo descrito por Cohn é dividido em três componentes que são representados por aranhas que tem em seu corpo um dos acordes de sétima que se conecta parcimoniosamente a quatro acordes meio-diminutos e quatro acordes de sétima de dominante (COHN, 2012, p. 154).

<sup>8</sup> A percepção dos tesseratos no *4-Cube Trio* (figura 7) fica prejudicada não só por se tratar de uma figura quadrimensional representada em duas dimensões, mas, principalmente, pelo fato de algumas hastes ficarem curvadas para que todo o grafo possa ser inserido em um mostrador de relógio.

sétima de dominante (cc. 4-27B), pertencentes ao grupo 1), são operados em cada tesserato; entre eles, são inseridos acordes menores com sétima (cc. 4-26) e acordes de sexta francesa (cc. 4-25, representados pelas estrelas na figura 5), o primeiro do grupo grupo 2) e o segundo do 3a), que desempenham uma função mediadora que garante a máxima parcimônia em todo o grafo; os acordes de sétima diminuta (cc. 4-28) que pertencem ao grupo 3b) desempenham o papel de pivô entre os tesseratos; as notas de todos os acordes de cada tesserato estão incorporadas em uma escala octatônica (cc. 8-28), classe de conjunto do grupo 3a). Veja o *4-Cube Trio* na figura 7:

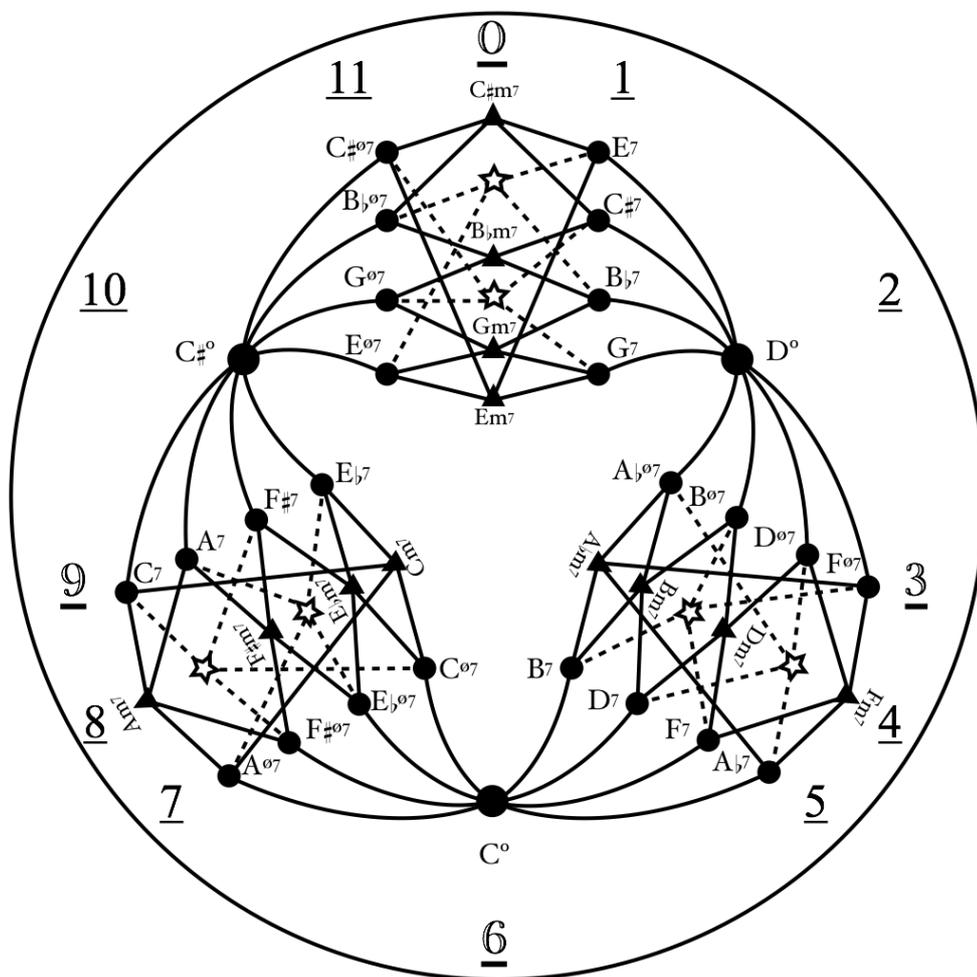


Figura 7: *4-Cube Trio*.

#### 4. Considerações finais

Observamos que os três grupos de classes de conjuntos que foram apresentados no tópico 1 deste trabalho possuem funções bastante definidas nos grafos de tétrade, tanto nos de modo como no modelo unificado. Em todos os grafos, observamos como acordes do grupo 1) -  $T_n/T_nI$  - são os conjuntos que sofrem as

operações em cada um dos componentes. Os acordes do grupo 2) - conjuntos com simetria inversiva - possuem uma função mediadora que permite o enlace parcimonioso entre todos os acordes conectados nos componentes. Escalas pertencentes ao grupo 3a - conjuntos de simetria transpositiva que opera um módulo composto - sempre são o superconjuntos em que as notas de todos os acordes dos componentes dos diversos grafos se incorporam. Por último, os acordes do grupo 3a) têm a função de ser pivô entre os grafos integrados do modelo unificado. Estas mesmas funções foram observadas nos mesmos grupos nos grafos das tríades em nosso trabalho anterior (um quadro completo destes grafos é mostrado na tabela 2 que está no final deste trabalho). Esse resultado aponta para a manutenção destas funções em novos grafos que esta pesquisa pretende desenvolver, em que sejam operados conjuntos de cardinalidade maior e/ou que utilizem transformações menos parcimoniosas entre os membros de seus componentes.

### Referências:

- COHN, Richard. "Weitzmann's regions, my cycles, and Douthett's dancing cubes". *Music Theory Spectrum*, Vol. 22, No. 1 (Spring, 2000). Oxford University Press, pp. 89-103.
- \_\_\_\_\_. *Audacious euphony*. New York: Oxford University Press, 2012.
- DOUTHETT, Jack; STEINBACH, PETER. "Parsimonious graphs: a study in parsimony, contextual transformations, and modes of limited transposition". *Journal of Music Theory*, Vol. 42, No. 2, Neo- Riemannian Theory. New Haven: Duke University Press, 1998. p. 241-263.
- ROHDE, Geraldo Mário. *Simetria*. São Paulo: Hemus, 1982.
- \_\_\_\_\_. *Simetria: rigor e imaginação*. Porto Alegre: Edipucrs, 1997.
- SOLOMON, Larry. The table of pitch classes. Disponível em: <<http://solomonsmusic.net/pcsets.htm>>. Acesso em 22/08/16.
- STRAUS, Joseph. *Introdução à teoria pós-tonal*. Tradução de Ricardo Mazzini Bordini. São Paulo: Unesp, 2013.
- TYMOCZKO Dmitri. *A geometry of music*. New York: Oxford University Press, 2011.
- VISCONTI, Ciro. *Simetria Nos Estudos para Violão de Villa-Lobos*. São Paulo: Paco Editorial, 2016.
- VISCONTI, Ciro; SALLES, Paulo de Tarso. "O papel da simetria na teoria neoriemanniana" XXVI Congresso da Anppom - Belo Horizonte/MG (2016): n. pág. Web. 1 Nov. 2016

**Anexos**

**Tabela 1:** Grupos de classes de conjuntos divididos pela simetria.

<b>Grupos</b>	<b>Nome</b>	<b>Figura no Mostrador de Relógio</b>	<b>Função nos Grafos</b>
Grupo 1)	Tn/TnI	Polígonos irregulares que se refletem na relação de inversão	Acordes operados
Grupo 2)	Simetria Inversiva	Polígonos irregulares que podem ser divididos em duas partes idênticas	Função mediadora que mantém a máxima parcimônia
Grupo 3a)	Simetria Transpositiva (módulo composto)	Polígonos equiangulares	Superconjuntos dos componentes de cada grafo
Grupo 3b)	Simetria Transpositiva (módulo simples)	Polígonos regulares	Pivôs entre os grafos integrados no modelo unificado

**Tabela 2:** Quadro completo dos grafos de tríades e tétrades da teoria neoriemanniana.

Grafos de Modo						
Tríades						
Nome	Acordes Operados	Acordes Mediadores	Transformações	Componentes	Superconjunto	Pivô
HexaCiclos	Menores (3-11) e Maiores (3-11B). Grupo 1)	_____	P e L	Ciclos Hexatônicos	Escala Hexatônica	_____
OctaCiclos	Menores (cc. 3-11) e Maiores (3-11B). Grupo 1)	_____	P e R	Ciclos Octatônicos	Escala Octatônica	_____
Regiões Weitzmann	Menores (cc. 3-11) e Maiores (3-11B). Grupo 1)	_____	LP, PL, R, N, S	Waterbugs	Escala Eneatônica	Tríades aumentadas (3-12). Grupo 3b)
Tétrades						
OctaTorres	Meio-diminutos (4-27) e Dominantes (4-27B). Grupo 1	Menores com sétima (4-26)	$P^*1, L^*_2, L^*_1$ e $P^*_2$	Torres Octatônicas	Escala Octatônica	_____
EneaCiclos	Meio-diminutos (4-27) e Dominantes (4-27B). Grupo 1	Menores com sétima (4-26)	$P^*1, P^*_2$ e $R^*$	Ciclos Eneatônicos	Escala Eneatônica	_____
Modelos Unificados						
Tríades						
Nome	Acordes Operados	Acordes Mediadores	Figuras	Subgrafos	Superconjunto	Pivô
<i>Cube Dance</i>	Menores (3-11) e Maiores (3-11B). Grupo 1)	_____	4 cubos interligados	Ciclos Hexatônicos e <i>Waterbugs</i>	Escala Hexatônica em cada cubo	Tríades aumentadas (3-12). Grupo 3b)
Tétrades						
<i>4-Cube Trio</i>	Meio-diminutos (4-27) e Dominantes (4-27B). Grupo 1	Menores com sétima (4-26) e Sexta Francesa (4-27)	3 tesseratos interligados	Torres Octatônicas e Aranhas de Boretz	Escala Octatônica em cada tesserato	Tétrades diminutas (4-28). Grupo 3b)

## Variação progressiva textural: planejamento composicional da obra *Sagração de um Fauno na Primavera*

Daniel Moreira de Sousa  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – danielspro@hotmail.com

**Resumo:** No presente artigo são apresentados os processos criativos empregados na obra *Sagração de um Fauno na Primavera*. O princípio construtivo da obra parte da expansão dos princípios de Variação Progressiva e *Grundgestalt*, elaborados por Arnold Schoenberg, para o campo da textura. A partir de um gesto textural inicial (*Grundgestalt*), o discurso textural foi previamente definido utilizando uma série de procedimentos de variação. A manipulação dos parâmetros texturais baseou-se nos conceitos e ferramentas da Análise Particional (GENTIL-NUNES, 2009) e do Contorno Textural (MOREIRA, 2015).

**Palavras-chave:** Variação Progressiva. Textura musical. Planejamento composicional. *Sagração da primavera*. L'après-midi d'un faune.

### **Textural Developing Variation: Compositional Planning of the work *Sagração de um Fauno na Primavera***

**Abstract:** This paper presents the creative processes involved in the work *Sagração de um Fauno na Primavera*. The constructive principle of the work departs from the expansion to textural domain of Developing Variation and *Grundgestalt's* principles, elaborated by Arnold Schoenberg. From an initial textural gesture (*Grundgestalt*), the textural discourse was previously defined using a series of variation procedures. The manipulation of textural parameters was based on concepts and tools from Partitional Analysis (GENTIL-NUNES, 2009) and Textural Contour (MOREIRA, 2015).

**Keywords:** Developing Variation. Musical Texture. Compositional Planning. Rite of Springs. L'après-midi d'un Faune.

### **1. Introdução**

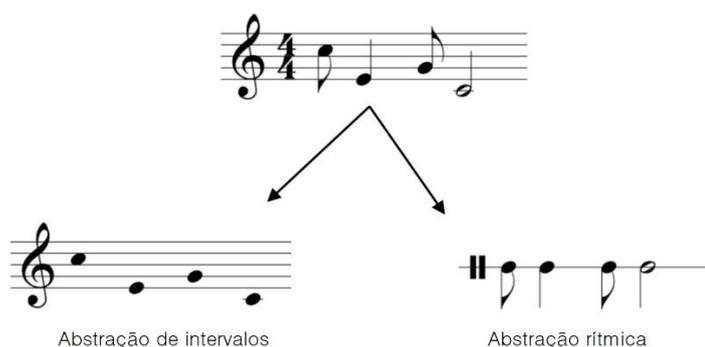
A obra *Sagração de um Fauno na Primavera* para flauta, fagote e piano, do presente autor, foi construída a partir dos princípios de *Variação Progressiva* e *Grundgestalt* aplicados na organização sequencial da textura. Referências intertextuais oriundas da *Sagração da Primavera* de Igor Stravinsky (1913) e do *Prélude à L'après-midi d'un faune* de Claude Debussy (1892), bem como alusões estilísticas aos referidos compositores, também nortearam a construção da peça.

### **2. Variação Progressiva e *Grundgestalt***

A Variação Progressiva (*Developing Variation*), termo original cunhado por Schoenberg, parte de uma concepção orgânica da criação musical, na qual, ao menos idealmente, todos os elementos musicais são gerados a partir da transformação contínua de uma ideia básica chamada de *Grundgestalt*. Tal conceito caracterizou

parte da obra de compositores clássicos e românticos austro-germânicos como Mozart, Beethoven e, especialmente, Brahms (HAIMO, 1997, p. 351)

Com base nos princípios de Variação Progressiva e *Grundgestalt*, Carlos Almada formalizou o Sistema-Gr<sup>1</sup>, cujo objetivo era sistematizar o processo de produção de variantes a partir de uma célula básica com ferramentas computacionais que facilitassem seu emprego em processo criativo. No Sistema-Gr, a *Grundgestalt*, renomeada como axioma, é definida como um pequeno segmento musical monofônico, que pode ser dividido em duas abstrações paramétricas: ritmo e intervalo (Fig. 1).



**Figura 1:** Processos de abstração intervalar e rítmica de uma *Grundgestalt* hipotética de acordo com o Sistema-Gr.

O processo criativo no Sistema-Gr parte da produção de um conjunto de variantes de cada abstração de forma independente através de procedimentos de transformação sequencial. As variantes são então combinadas para produzir estruturas reais a serem empregadas na composição propriamente dita.

### 3. Contornos Musicais

Robert Morris (1987, p. 283) descreve um contorno como “um conjunto de pontos em uma dimensão sequencial ordenados por outra dimensão sequencial.”, o que permite que diferentes parâmetros musicais possam ser organizados como contornos, sendo a relação entre as alturas em função do tempo (contorno melódico) o mais recorrente na literatura. Com o objetivo de compreender, comparar e manipular

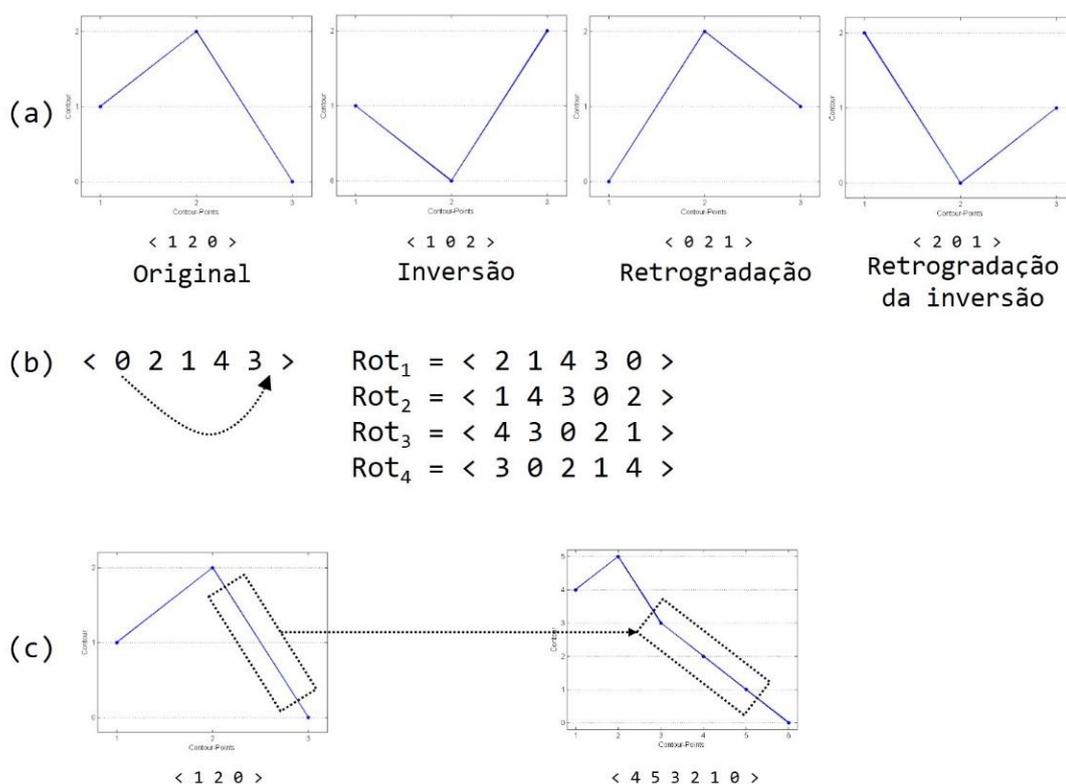
---

<sup>1</sup> O Sistema-Gr integra o projeto de pesquisa “Sistematização de processos composicionais fundamentados nos princípios da Variação Progressiva e da *Grundgestalt*”, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sendo coordenado pelo Prof. Dr. Carlos Almada. A descrição do projeto está disponível em: <https://musmat.org/wp-content/uploads/2014/01/sistema-gr.pdf>

os contornos formalizou-se a Teoria dos Contornos, inicialmente centrada no domínio das alturas e atualmente com aplicações a diferentes parâmetros musicais.<sup>2</sup>

A Teoria dos Contornos parte da abstração dos parâmetros envolvidos, bem como a relativização dos valores absolutos, o que viabiliza o emprego de uma notação numérica capaz de expressar a organização hierárquica de seus elementos constituintes. Os parâmetros são ordenados do menor (ou mais simples) notado como zero até  $n-1$ , no qual  $n$  refere-se à quantidade total de elementos diferentes no contorno. Assim, um dado contorno  $\langle 1\ 2\ 0 \rangle$ , por exemplo, descreve uma estrutura organizada de maneira que o primeiro elemento é o intermediário, o segundo o maior e o terceiro o menor, o que pode orientar diferentes parâmetros musicais.

Os contornos podem ser manipulados através de ferramentas de transformação que alteram suas características internas originando uma nova versão. Na composição da *Sagração de um Fauno na Primavera* foram empregadas operações canônicas tradicionais (inversão e retrogradação – Fig. 2a), a rotação (Fig. 2b), cujo princípio deriva da permutação cíclica dos elementos do contorno, e a expansão de contornos decorrentes da inserção de pontos intermediários entre segmentos (Fig. 2c).



**Figura 2:** Ferramentas de manipulação de contornos: a) operações canônicas; b) rotação e c) expansão de contorno.

<sup>2</sup> Para uma revisão das diferentes abordagens da teoria, ver SAMPAIO, 2012 e MOREIRA, 2015.

#### 4. Análise Particional e Contorno Textural

A Análise Particional (AP – GENTIL-NUNES e CARVALHO, 2003; GENTIL-NUNES, 2009) é uma metodologia original constituída a partir da metodologia analítica proposta por Wallace Berry (1976) e a Teoria das Partições de Inteiros de EULER (ver, ANDREWS, 1984). A concepção textural parte da observação das relações de dependência e interdependência das vozes que compõem a trama musical, de acordo com um critério pré-determinado como, por exemplo, as coincidências rítmicas.

Para expressar essas relações, Berry empregou uma notação numérica, cuja soma indica o aspecto quantitativo, no qual se considera o total de partes atuantes, e cada algarismo, chamado de componente real, expressa a espessura da parte de maneira que a combinação numérica explicita a organização textural. Por exemplo, uma configuração textural notada como [1 2] expressa uma organização de três partes, sendo uma delas uma linha independente e a outra um bloco a duas partes. Na AP, a notação numérica de Berry é entendida como uma partição<sup>3</sup>, o que viabiliza a formulação de uma taxonomia exaustiva das configurações texturais, bem como sua topologia relacional, a partir da representação transformacional entre partições expressa nos operadores particionais.

Os operadores particionais explicitam os processos de transformação envolvido entre duas partições, sendo classificados como positivos ou negativos, de acordo com a característica progressiva ou recessiva. Na composição da *Sagração de um Fauno na Primavera* foram empregados três operadores:

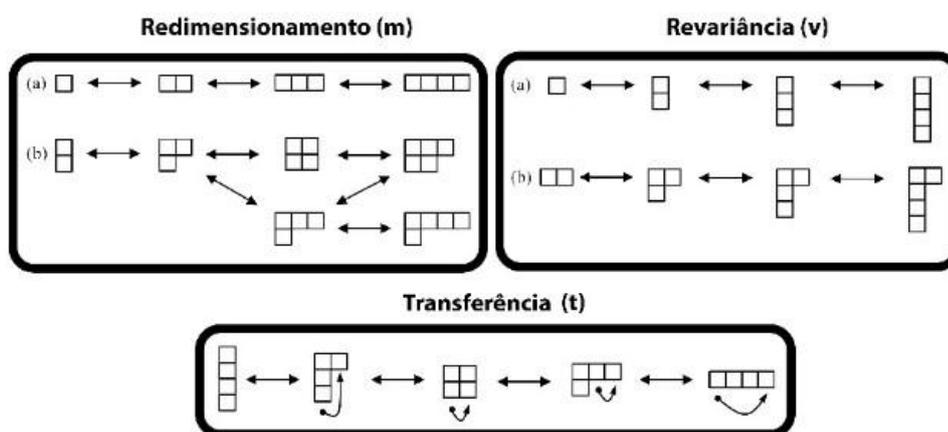
- a) *Redimensionamento* (**m**), cuja aplicação diz respeito à alteração simples da espessura de um dos elementos da partição.
- b) *Revariância* (**v**), que consiste na mudança do grau de polifonia a partir do acréscimo ou decréscimo de um novo componente real simples.
- c) *Transferência* (**t**), que resulta da combinação compensatória do *redimensionamento* e *revariância*, o que implica na reorganização da disposição dos componentes sonoros mantendo constante a quantidade total de componentes simultâneos.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Segundo Andrews (1984, p. 149) uma partição é a representação de um número inteiro não negativo através da soma de outros números inteiros.

<sup>4</sup> Como não há alteração da quantidade de elementos envolvidos, a noção direcional da *transferência* está relacionada à mudança do índice de dispersão, que reflete maior complexidade. Assim, caso a

A figura 3 apresenta um exemplo de aplicação dos três operadores empregando os diagramas de Young<sup>5</sup> para uma melhor visualização do princípio transformacional de cada um.



**Figura 3:** Representações dos operadores particionais simples com diagramas de Young. In: GENTIL-NUNES, 2009, p. 45-8.

A ordenação das partições da mais simples à mais complexa, segundo critérios da AP<sup>6</sup>, viabiliza a elaboração do *Contorno Textural* (MOREIRA, 2015), que expressa o comportamento da textura em função do tempo, fornecendo uma nova ferramenta analítica. O Contorno Textural permite que duas progressões texturais distintas compartilhem um mesmo perfil de contorno. Além disso, por se tratar de um contorno, torna-se possível a comparação com contornos de outros parâmetros, como, por exemplo, contornos melódicos ou rítmicos. Como o conjunto das partições é parcialmente ordenado, não é possível realizar uma ordenação linear, uma vez que algumas partições são incomparáveis, isto é, não é possível definir qual delas é a mais complexa. Essas partições incomparáveis são notadas com o mesmo nível no Contorno Textural, sendo sinalizadas com um subnível que indicava a quantidade de componentes reais<sup>7</sup>.

*transferência* ocorra em direção a uma partição mais polifônica, será positiva, e em direção a partição mais massiva, negativa.

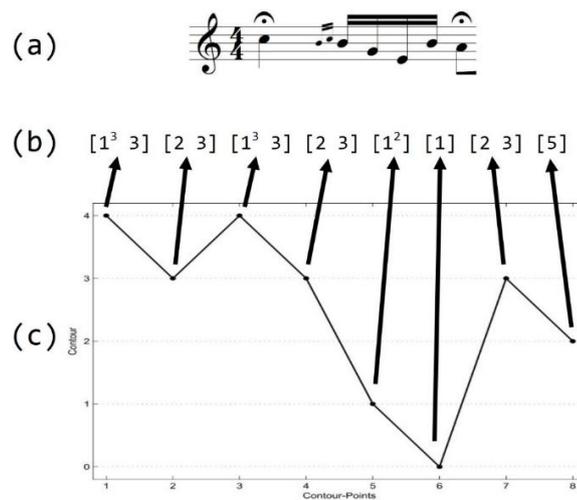
<sup>5</sup> Forma de representar as partições proposta pelo matemático Alfred Young (1873-1940) no qual a horizontalidade corresponde à espessura dos elementos e a verticalidade à simultaneidade (GENTIL-NUNES, 2009, p. 12).

<sup>6</sup> Para uma explicação detalhada do processo de ordenação das partições, ver MOREIRA (2015).

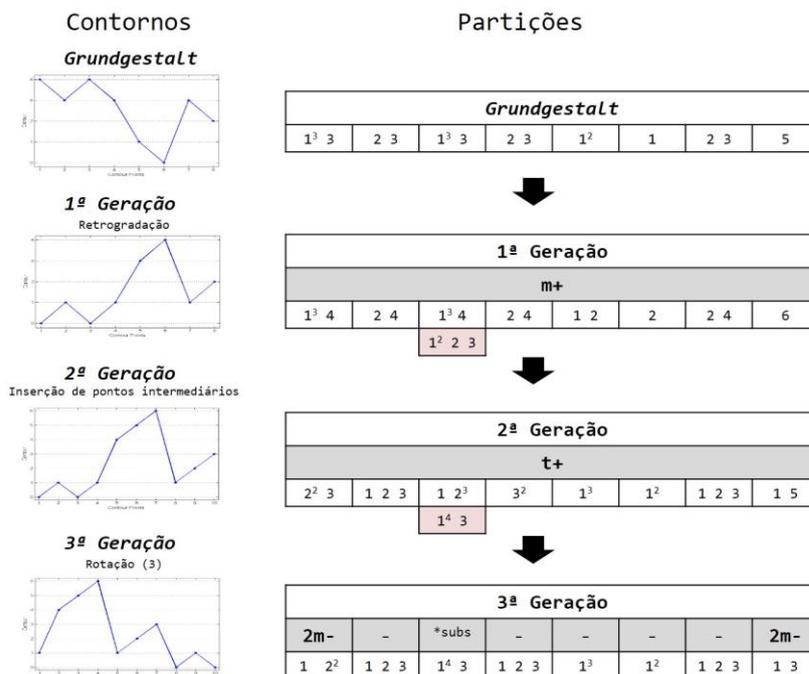
<sup>7</sup> O objetivo do subnível é estabelecer uma mínima diferenciação, além de explicitar a ocorrência de partições incomparáveis na progressão textural. Ainda assim, algumas partições incomparáveis também compartilham a quantidade de componentes reais.

### 5. Sagração de um Fauno na Primavera

A elaboração da *Grundgestalt* textural empregada na composição da obra *Sagração de um Fauno na Primavera* se deu a partir da tradução de contornos de domínios diferentes. A partir do contorno melódico do gesto inicial do Fagote da Introdução da *Sagração da Primavera* de Stravinsky (Fig. 4a), selecionou-se uma seqüência de configurações texturais (Fig. 3b), no qual o mesmo perfil de contorno fosse delineado (Fig. 4c).



**Figura 4:** Construção da *Grundgestalt* Textural: a) fragmento do contorno melódico do fagote da *Sagração da Primavera* de Stravinsky, b) seqüência de partições selecionada e c) contorno referente a ambos os domínios.



**Figura 5:** Processo de geração de variantes do contorno melódico e das partições da obra *Sagração de um Fauno na Primavera*.

Para a produção de variantes considerou-se a metodologia do Sistema-Gr, com a subdivisão da *Grundgestalt* em dois domínios diferentes: o conteúdo textural (partições) e o perfil do contorno que as ordena. A Figura 5 demonstra o processo derivativo empregado, com a exemplificação de uma das gerações de cada domínio e as respectivas ferramentas de manipulação empregadas. Observa-se que a aplicação de alguns operadores produz múltiplos resultados, o que permite não só uma maior variedade de transformações, como também a possibilidade de ampliação do número de partições da sequência. Na 2ª geração, por exemplo, a aplicação do operador **t+** na partição [2 4] resulta tanto em [3<sup>2</sup>] quanto em [1 2 3] e ambas foram utilizadas. Além disso, na 1ª geração ambos os resultados da aplicação do operador **m+** na partição [1<sup>3</sup> 3] foram submetidos a **t+** na terceira geração, gerando 3 resultados possíveis, o que amplia a cardinalidade da sequência. Na 3ª geração, o operador **2m-** foi aplicado em apenas em duas partições e há uma substituição de uma das multiplicidades da geração anterior<sup>8</sup>.

The image displays a musical score for three instruments: Flute, Bassoon, and Piano. The score is divided into two systems. The first system (measures 1-4) is marked 'Calmamente' with a tempo of 40. The Flute and Bassoon parts are marked 'p espress.' and 'pp'. The Piano part has a 'p' marking. The second system (measures 5-8) shows more complex textures with dynamic markings 'mf', 'p', 'sfz', and 'f'. Below the staves, partitions are labeled with numbers in brackets, indicating the sequence of parts used in each measure. The labels are: [1<sup>2</sup>] (measures 1-2), [1<sup>3</sup>] (measures 3-4), [1<sup>2</sup>] (measures 5-6), [1<sup>3</sup>] (measures 7-8), [1<sup>2</sup>] (measures 9-10), [1 2 3] (measures 11-12), [2<sup>2</sup> 3] (measures 13-14), [1 2<sup>3</sup>] (measures 15-16), [1<sup>3</sup>] (measures 17-18), [1 5] (measures 19-20), and [3<sup>2</sup>] (measures 21-22).

**Figura 6:** Realização musical de uma das sequências texturais nos Compassos iniciais da obra *Sagração de um Fauno na Primavera*.

<sup>8</sup> As partições em vermelho não fazem parte da geração e estão na tabela para ilustrar os processos derivativos.

Após a produção das variantes, elas foram combinadas de acordo com a cardinalidade formando um conjunto de sequências particionais diferentes empregados na construção do discurso textural da obra. O preenchimento dos demais parâmetros musicais (alturas, ritmo, dinâmica, articulação, etc.) também se baseou na intertextualidade da *Sagração da Primavera* de Igor Stravinsky (1913) e do *Prélude à L'après-midi d'un faune* de Claude Debussy (1892). Por exemplo, nos compassos iniciais da obra, empregou-se a sequência textural  $\langle [1^2] [1^3] [1^2] [1^3][1^2] [1\ 2\ 3] [2^2\ 3] [1\ 2^3] [1^3] [1\ 5] [3^2] \rangle$  que delinea o contorno  $\langle 01010456123 \rangle$ , oriundo da inversão com expansões. A polifonia inicial é construída a partir da sobreposição de fragmentos dos temas das obras referência, com ritmo livre e as alturas pertencem ao nonacorde (0134789AB), que oriunda da concatenação das alturas de ambos os temas (Figura 6).

## 6. Conclusões

Neste artigo foram descritos os procedimentos composicionais da obra *Sagração de um Fauno na Primavera*, a partir da expansão dos princípios de Variação Progressiva e Grundgestalt à textura. A concepção musical calcada na organização da textura mostrou-se promissora por possibilitar o uso de gestos e padrões pouco usuais não alicerçados nos parâmetros rítmico-melódicos, o que também viabilizou um maior controle da macroestrutura da obra. As reflexões acerca da relação entre os gestos texturais e a segmentação formal, bem como a organização das alturas, será um dos desdobramentos futuros, bem como um maior refinamento dos processos, com a formalização das etapas e ferramentas de variação, com possível desenvolvimento de aplicativos computacionais para facilitar e automatizar sua aplicação.

## Referências

- ANDREWS, George. *The theory of partitions*. Cambridge: Cambridge University, 1984.
- BERRY, Wallace: *Structural functions in Music*. New York: Dover Publications, 1987.
- MOREIRA, Daniel. *Perspectivas para a análise textural a partir da mediação entre a Teoria dos Contornos e a Análise Particional*. Dissertação (Mestrado em Música). Programa de Pós-Graduação em Música, Centro de Letras e Artes, Escola de Música, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- MORRIS, Robert D. *Composition with pitch-classes: a theory of compositional design*. New Hasen: Yale University Press, 1987.

GENTIL-NUNES, Pauxy. *Análise particional: uma mediação entre análise textural e a teoria das partições*. Tese (Doutorado em Música). Centro de Letras e Artes, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

GENTIL-NUNES, Pauxy e CARVALHO, Alexandre. *Densidade e linearidade na configuração de texturas musicais*. Anais do IV Colóquio de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Música da UFRJ. Centro de Letras e Artes, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

HAIMO, Ethan: Developing variation and Schoenberg's serial music. *Musical Analysis*, vol. 16, n 3, pp. 349-365, 1997.

SAMPAIO, Marcos da Silva. *A Teoria de Relações de Contornos Musicais: Inconsistências, Soluções e Ferramentas*. Tese (Doutorado em Música). Escola de Música, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2012.

## Transformação de discurso verbal em musical: um relato composicional

Fabio Adour  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – fabioadour@yahoo.com.br

**Resumo:** Esse artigo se trata de um relato composicional relativo à peça *Suíte “O Planeta dos Macacos”*, para flauta, fagote e piano, de minha autoria. A composição se baseia essencialmente na transformação do discurso verbal em musical e uma investigação preliminar sobre a relação “texto e música” é apresentada com o auxílio de autores como Quaranta (2013) e Basseto (2000). A noção de modelagem sistêmica, como proposta por Moraes e Pitombeira (2013), também permeia as discussões e a conclusão do trabalho. Uma análise detalhada do primeiro movimento da peça é realizada.

**Palavras-chave:** Sistema Composicional; Modelagem Sistêmica. Música e Discurso Verbal.

### Transformation of Verbal into Musical Discourse: a Compositional Report

**Abstract:** This article is about a compositional report related to the piece *"The Planet of the Apes" Suite*, for flute, bassoon and piano, of my own. The composition is based essentially on the transformation of verbal discourse into musical and a preliminary investigation on the relation "text and music" is presented with the help of authors such as Quaranta (2013) and Basseto (2000). The notion of systemic modeling, as proposed by Moraes and Pitombeira (2013), also permeates the discussions and the conclusion of the paper. A detailed analysis of the first movement of the piece is carried out.

**Keywords:** Compositional System. Systemic Modeling. Music and Verbal Discourse.

### 1. Introdução

Este trabalho é, em essência, um relato composicional. Ele foi primeiramente apresentado em forma de comunicação no I Congresso Nacional de Música e Matemática em novembro de 2016, realizado pelo Grupo de Pesquisa MusMat e pelo Programa de Pós-Graduação em Música da UFRJ. A composição investigada é a peça *Suíte “O Planeta dos Macacos”*, para flauta, fagote e piano, que compus para o XXVIII Panorama da Música Brasileira Atual<sup>1</sup>, promovido pela Escola de Música da UFRJ.

A peça é constituída por 7 Miniaturas inspiradas na obra *La planète des singes (O Planeta dos Macacos)*, do escritor francês Pierre Boulle (1912 – 1994). Apesar de ter se tornado famosa pelos diversos filmes lançados, a história original ainda é muito pouco conhecida. O livro, naturalmente mais profundo que os filmes, tem várias passagens marcantes. O trecho que mais me chamou a atenção foi o

---

<sup>1</sup> A peça não foi estreada na ocasião e continua inédita.

momento em que macacos cientistas, aliados ao herói, Ulysse Mérou, lhe mostram um experimento realizado nos cérebros de duas cobaias humanas. Eles conseguem ativar a fala involuntária de uma mulher desacordada – vale comentar que, no *Planeta dos Macacos*, os humanos não sabem falar –, revelando uma série de memórias da espécie: “São lembranças de uma remotíssima linhagem de ancestrais que, sob estímulos elétricos, renascem em sua linguagem, lembranças atávicas ressuscitando um passado com milhares de anos de idade” (BOULLE, 2015, p. 160). E assim é contada, de modo resumido e contundente, a maneira pela qual os símios sobrepujaram os humanos!

O transe da cobaia humana se desenvolve em 7 segmentos, que inspiraram os movimentos dessa suíte. Baseando-me na tradução para o português de André Telles, mas sem nunca citar o texto diretamente, elaborei 7 esquemas composicionais de transformação do texto em música: no primeiro movimento, cada sílaba dos verbos foi transformada em acorde e os substantivos geraram os contrapontos melódicos; já no quarto e quinto movimentos, os substantivos se transformaram em clusters e os materiais periféricos vieram dos outros elementos textuais; no segundo movimento, o ritmo foi composto a partir da declamação do texto em voz alta; no terceiro, a semelhança semântica entre certas palavras determinou a articulação em duas ou três notas repetidas das melodias; nos dois movimentos finais, a transformação mecânica das letras em notas passou por um filtro que extraiu, no sexto, tríades maiores e menores, e no sétimo, intervalos harmônicos específicos para cada sessão. Pouco disso tudo é perceptível pela pura audição, mas esses procedimentos conferiram, a cada movimento, tanto uma unidade textural como uma identidade expressiva próprias.

Por questões de espaço, apenas o primeiro movimento será aqui pormenorizadamente investigado; foi durante a composição do mesmo que se estabeleceu o cerne dos processos composicionais empregados em toda a peça.

## **2. Música e Linguagem verbal: uma breve investigação inicial**

A composição em questão explora a relação entre música e linguagem verbal, mas de modo algum este trabalho pretende ser uma pesquisa sobre essa dicotomia e nem mesmo uma introdução resumida ao assunto.

Não obstante, fiz uma primeira aproximação ao tema, procurando verificar se o tipo de transposição que realizei já foi investigado. Busquei trabalhos que

propusessem uma relação mais direta entre texto e música, como, por exemplo, a transformação das letras do alfabeto em notas – classes de alturas. A grande maioria dos trabalhos – principalmente internacionais – investiga a utilização da notação musical para o registro do discurso verbal, o que não é o foco pretendido .

Encontrei, por outro lado, dois trabalhos em português que tangenciam o tema: Quaranta (2013) e Basseto (2000). O primeiro é o artigo *Composição Musical e Intersemiose: processos composicionais em ação*, de Daniel Quaranta (2013), que parte do conceito de intersemiose, assim definido por Jakobson: “A tradução intersemiótica ou transmutação é uma interpretação dos signos verbais mediante os signos de um sistema não verbal” (JAKOBSON, 1984, p. 69, apud QUARANTA, 2013, p. 165). Quaranta complementa:

Um processo composicional pode ter a sua base estrutural não somente nas relações harmônicas, motivicas e/ou estruturais, etc., mas da transposição de parâmetros (signos) oriundos da “leitura” de sistemas semióticos qualitativamente diferentes ou como “representação” de uma cena referencial qualquer.[...] Dessa forma, qualquer sistema de produção de sentido pode ser a base para um processo composicional e vice-versa (QUARANTA, 2013, p. 165).

É importante observar que o autor não se refere à invocação imagética ou emocional, típica do século XIX, propagada principalmente pela noção do poema sinfônico e outras estruturas musicais do período:

O conceito de tradução, ao que fazemos referência, se insere em um contexto no qual a representação (ou a transmutação de um meio a outro) é concebida a partir de um sistema de significação que descarta os pressupostos realistas e/ou miméticos da literalidade “ponto a ponto” (QUARANTA, 2013, p. 164).

Ele parece querer ressaltar, sem negligenciar a produção de significados, as possibilidades de elaboração de processos composicionais por meio desses trânsitos:

Os processos composicionais, comumente, são atravessados (mesmo que de forma inconsciente) por processo de tradução. Do ponto de vista do compositor, são inúmeras as situações nas quais são aplicados processos de geração de material sonoro (musical), seja a partir de algoritmos, de visualidades, de gestos, de estatísticas, da física, da matemática, ou quando se executa um simples movimento evolutivo do material composicional entre dois pontos. Todo material gerado por intermediação de um processo de transformação do mesmo (sonoro ou de qualquer outra índole), tendo origem em um contexto externo a seu domínio, é fruto de um processo no qual o som está “interpretando” algo externo a ele. Esse “algo” é um processo de significação, de ida e volta, entre dois sistemas semióticos distintos (QUARANTA, 2013, p. 166)

Não obstante à consonância que sinto com as ideias de Quaranta, os exemplos que ele propõe não tocam diretamente no tipo de transposição que em primeira mão mais me interessava, a saber, o alinhamento entre alturas musicais e letras do alfabeto.

O outro autor a que fiz referência, Bruno Abrantes Basseto, em sua dissertação *Um sistema de composição musical automatizada, baseado em gramáticas sensíveis ao contexto, implementado com formalismos adaptativos* (2000), propõe uma comparação que reflete bem o que eu buscava quando compus a peça:

A memória tem um papel fundamental na percepção e cognição musical. Observando que a música é uma seqüência temporal de eventos, apenas uma associação a elementos passados pode assegurar alguma compreensão [...] Assim, é freqüente a analogia entre o decurso de uma obra musical e a narrativa verbal. Da mesma forma que, na narrativa, elementos são apresentados segundo uma ordem lógica para assegurar a compreensão do ouvinte visando a uma conclusão, o discurso musical apresenta uma seqüência de eventos, de forma recorrente ou redundante, para que a obra tenha sentido; tal seqüência de eventos permite levar o ouvinte ao análogo da conclusão no discurso usual (BASSETO, 2000, p. 6).

Ou seja, me interessava o fato de que a lógica do discurso verbal, com suas caleidoscópicas possibilidades de combinação, também possui uma série de maneirismos, repetições e variações que poderiam ser diretamente transpostas ao discurso musical. Ou seja, me interessava espelhar a coerência construtiva da linguagem verbal, mas sem referência, pelo menos a princípio, à semântica das palavras, frases e orações. Me interessava o fato de que letras se repetem; e as sílabas, palavras e orações também se repetem e sofrem variações facilmente perceptíveis, mas de um modo completamente alheio a maneira como essas operações costumam acontecer no discurso musical. Ao transpor pormenorizadamente o discurso verbal para o âmbito da música, eu tinha a intenção de gerar um novo modo de utilização das repetições e variações, mas aproveitando a lógica construtiva do discurso verbal, que em minha opinião, possui um sentido eminentemente musical, para além ou aquém de qualquer conotação semântica.

### **3. Modelagem sistêmica ou função de mapeamento?**

Toda essa busca de algum modo se relaciona com a noção de *modelagem sistêmica*, como proposta por Moraes e Pitombeira (2013). O contato que tive com esse

e outros trabalhos de Pitombeira – o que engendrou a produção do artigo *Análise Motívico-Fraseológica e Modelagem Sistêmica* (ADOUR, 2016) – acabou me levando a buscar modelos inclusive não musicais. Nas discussões que ocorreram no próprio I Congresso Nacional de Música e Matemática (2016) – evento fomentador do presente artigo –, me foi alertado que o tipo de transposição que fiz não se tratava, contudo, de modelagem sistêmica, pois não produzi sistemas composicionais a partir do discurso verbal, mas sim um mapeamento das letras em notas. Com efeito, o acima já citado Basseto explica essa possibilidade:

De fato, um compositor por analogia é uma espécie de função de mapeamento de uma entidade qualquer, que contenha uma certa estruturação, em uma estrutura musical correspondente. Uma vez definidos os elementos da estrutura que devem ser **mapeados** na música, o estabelecimento de tal função é possível, de forma que qualquer objeto representável matematicamente pode ser devidamente transformado em música.” (BASSETO, 2000, p. 57, grifo meu)

Apesar de concordar com o fato de que uma boa parte do que realizei foi mapeamento, tendo os sistemas composicionais sido elaborados por mim mesmo, alguns deles foram criados a partir dos modelos verbais. Como é muito abstrato, nesse ponto do artigo, argumentar em favor dessa afirmação, retomarei esse assunto<sup>2</sup> no transcurso da análise que se segue.

#### **4. O desencontro entre classes de altura e letras do alfabeto**

Uma boa parte dos procedimentos técnicos que desenvolvi decorreu do problema de utilizarmos 12 classes de alturas e 26 letras do alfabeto. A solução que encontrei foi empregada nos 7 movimentos da peça<sup>3</sup>.

Uma simples abordagem seria a repetição das 12 notas temperadas e a eleição de mais duas classes de altura para uma segunda repetição, e assim obter, para as 26 letras do alfabeto, 26 notas correspondentes. Implicitamente influenciado pela noção de igualdade de pesos entre as alturas, típica do seralismo desde Schönberg, decidi que esse método fatalmente geraria desequilíbrio, favorecendo certas notas em detrimento de outras. Tive a ideia de transferir essa “responsabilidade” para o próprio

---

<sup>2</sup> Essa argumentação não fazia parte da comunicação original e decorreu justamente das discussões que ela suscitou.

<sup>3</sup> Naturalmente, é possível a elaboração de diferentes funções de mapeamento do mesmo tipo (letras → notas).

texto de referência e, para tanto, optei por fazer um prévio levantamento das letras mais e menos utilizadas. Pensando na manutenção do equilíbrio, decidi atribuir notas repetidas justamente às letras que aparecem menos vezes no texto.

Como esse tipo de levantamento é trabalhoso, decidi usar mais ou menos o parágrafo como recorte. Na verdade, seis dos sete segmentos do texto que deram origem aos sete movimentos da peça (ver Introdução) tem o tamanho de um parágrafo, com exceção do segundo, que possui três parágrafos por ter um pouco de diálogo. Mesmo com esse limite, a tarefa ficou laboriosa; acabei, por fim, optando por contar as letras utilizadas apenas nos substantivos de cada um desses segmentos. Copio, a seguir, o primeiro deles com os substantivos sublinhados:

- Esses macacos, todos esses macacos – ~~dizia a voz num tom preocupado~~ –, proliferam incessantemente de uns tempos para cá, enquanto tudo indicava que sua espécie deveria se extinguir numa determinada época. Se isso continuar, irão se tornar quase tão numerosos quanto nós... E não é só isso. Estão ficando arrogantes. Desafiam nosso olhar. Erramos em domesticá-los e em dar certa liberdade àqueles que utilizamos como criados. São estes os mais insolentes. Outro dia, na rua, um chimpanzé esbarrou em mim. Quando levantei a mão, ele me fitou com uma expressão tão ameaçadora que não me atrevi a espancá-lo. Anna, que trabalha no laboratório, me disse que muita coisa havia mudado. Ela não ousa mais entrar sozinha nas jaulas. Declarou que, à noite, ouvem-se como que cochichos e até mesmo risadinhas. Um dos gorilas zomba do patrão imitando um de seus cacoetes (BOULLE, 2015, p.161, grifos meus).

O trecho acima cortado o foi por ser a voz do narrador e não da fala involuntária das cobaias. A seguir, na Fig. 1, apresento o quadro com o resultado dessa quantificação. Observa-se que seis letras não foram empregadas (em negrito), ou seja, bastava distribuir 12 notas e depois repetir 8 delas. As notas eleitas para as letras mais utilizadas – a, c, o, s – foram as escolhidas para não se repetirem.

a = 26	b = 2	c = 14	d = 5
e = 13	<b>f</b> ---	g = 1	h = 4
i = 12	j = 1	<b>k</b> ---	l = 4
m = 5	n = 5	o = 18	p = 6
<b>q</b> ---	r = 9	s = 14	t = 5
u = 2	<b>v</b> ---	<b>w</b> ---	x = 1
<b>y</b> ---	z = 1		

**Figura 1:** Quadro com a quantificação das letras dos substantivos do primeiro segmento do texto de referência, extraído de Boulle (2015).

Ainda faltava elaborar um método de distribuição das notas. Primeiro dispus as 20 letras encontradas nos substantivos do segmento e atribui as 12 notas cromáticas – numeradas segundo a teoria dos conjuntos – às 12 primeiras letras (Fig. 2). Das quatro letras mais empregadas – a, c, o, s –, duas já receberam notas e foram sublinhadas.

<u>a</u>	b	<u>c</u>	d	e	g	h	i	j	l	m	n	o	p	r	s	t	u	x	z
<u>0</u>	1	<u>2</u>	3	4	5	6	7	8	9	10	11								

**Figura 2:** Quadro com a distribuição inicial das 12 notas cromáticas às letras dos substantivos do primeiro segmento do texto de referência, extraído de Boulle (2015).

Em seguida, retomei a distribuição das notas cromáticas, mas agora sem as classes de altura Dó e Ré, números 0 e 2, que já se encontravam vinculadas às letras **a** e **c**. Ao fazê-lo, observa-se (ver Fig. 3) que as outras duas letras mais frequentes, **o** e **s**, recebem alturas anteriormente distribuídas:

																			continuação da distribuição das notas cromáticas sem as alturas 0 e 2	
																			↘	
a	b	c	d	e	g	h	i	j	l	m	n	<u>o</u>	p	r	<u>s</u>	t	u	x	z	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	<u>1</u>	3	4	<u>5</u>	6	7	8	9	

**Figura 3:** Quadro (versão preliminar) que atribui notas a todas as letras dos substantivos do primeiro segmento do texto de referência, extraído de Boulle (2015); em destaque a atribuição repetida de notas às duas das letras mais empregadas no trecho (**o** e **s**).

Decidi, enfim, fixar essas 4 alturas das letras mais empregadas – a = 0, c = 2, o = 1, s = 5 – e redistribuir, duas vezes, as restantes 8 notas cromáticas – 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 –, engendrando o mapeamento final (ver. Fig 4):

<u>a</u>	b	<u>c</u>	d	e	g	h	i	j	l	m	n	<u>o</u>	p	r	<u>s</u>	t	u	x	z
<u>0</u>	3	<u>2</u>	4	6	7	8	9	10	11	3	4	<u>1</u>	6	7	<u>5</u>	8	9	10	11
3 4 6 7 8 9 10 11											3 4 6 7 8 9 10 11								

**Figura 4:** Quadro (versão final) que atribui notas a todas as letras dos substantivos do primeiro segmento do texto de referência, extraído de Boulle (2015); letras mais empregadas sublinhadas; em destaque a dupla distribuição das alturas 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11.

### 5. O primeiro movimento: “A Ameaça”

De posse desse mapeamento, elaborei uma maneira de distribuir o texto pela textura musical. Primeiro, analisei o texto segundo 3 classes gramaticais, a saber, substantivos, verbos e o conjuntos de todas as outras classes: adjetivos, pronomes, artigos, numerais, advérbios, conjunções, preposições, etc. Esses três grupos serão designados com as letras S (substantivos), V (verbos) e O (outras classes).

O extenso grupo “O” ficou a cargo do fagote, como uma espécie de baixo contínuo. Verbos e substantivos foram transformados, respectivamente, em acordes – na mão direita do piano – e em intervenções melódicas, executadas pela flauta e pela mão esquerda do piano, duas oitavas abaixo. A argumentação em favor de se tratar de uma modelagem sistêmica aqui se explicita, pois essa textura musical foi totalmente modelada pelo texto. Abaixo (Fig. 5) segue o quadro que procura evidenciar essa modelagem:

	O	S	O	S	O	V	O	O	S	O	O
-	Esses macacos, todos esses macacos, proliferam incessantemente de uns tempos para cá,...										
S	7		7				6				
S	(4+3)		(3+4)				(3+3)				
O	6		5	6		15	2	3		4	3
O	(5+,)		(2+3+,)			(2+3+3+2+3+2)					
V			(3+2,			+	2+3)				
V			10 (4 sílabas = 4 acordes)								
S											
O	,			,							,
V			·-·-'			·-·-		·-		·-	
			·-·-'			·-		·-		·-	
			·-			·-		·-		·-	
Intervenções melódicas (fl / m.e.)											
"Baixo contínuo" (fg)			,	,	,	,	,	,	,	,	,
Acordes (m.d.)			·-·-'	·-·-		·-·-		·-		·-	
			·-·-'	·-		·-		·-		·-	
			·-			·-		·-		·-	

**Figura 5:** Quadro que explicita transformação da primeira oração do texto de referência, extraído de Boule (2015), em textura musical.

Primeiro vemos a classificação gramatical (S, V, O) aplicada à primeira oração do texto que deu origem a esse movimento. Nas seis linhas seguintes, as letras das palavras de cada uma das classes (indicadas à esquerda) foram contadas e algumas segmentações foram indicadas. As vírgulas foram computadas às palavras da classe “O” que as antecedem e geraram curtas pausas nessa linha contínua. Por essa razão, a palavra “esses” foi apontada como tendo 6 caracteres, “esses,”: “(5+,)” e “(2+3+,).”

Com relação às segmentações – as somas entre parênteses –, o substantivo “tempos”, por ter uma quantidade par de letras, foi dividido regularmente ao meio (3+3). Já os substantivos “macacos”, que possuem 7 letras, foram divididos de duas maneiras diferentes em acordo com o alinhamento com as palavras da classe “O” que os cercam: palavras maiores “atraíram” o segmento maior, 4, das 7 letras (3+4 ou 4+3) da palavra “macacos”. Assim, por exemplo, a segunda aparição de “macacos” foi dividida em 3+4, porque a palavra do tipo “O” seguinte, “incessantemente”, é bem maior do que a palavra do tipo “O” anterior, “esses,”. Tanto verbos quanto substantivos acontecem em contraponto com a contínua linha do fagote, ou seja, simultaneamente e não sequencialmente como no texto; daí a preocupação com o alinhamento.

O verbo dessa oração, “proliferam”, foi tradicionalmente dividido em sílabas e alinhado com as sílabas das palavras que o cercam da classe “O”: “esses” e “incessantemente”. Ele foi dividido “irmamente”, com duas sílabas sobrepostas a cada palavra. A pausa gerada pela vírgula após “esses” também gerou uma curta pausa na voz acordal. Os números indicativos da quantidade de letras por sílaba dessa palavra se transformaram na quantidade de notas de cada acorde, o que, no extrato seguinte do quadro, foi assinalado por pontos: um ponto para cada nota do acorde. Os subtraços após os pontos indicam a duração dos acordes: eles simulam a prolongação dos ataques representados pelos pontos.

Nesse segundo extrato da figura, os números de contagem dos caracteres das classificações “S” e “O” foram substituídos por traços verticais representativos da estrutura métrica, num formato gráfico bastante devedor ao estilo analítico propagado por Lerdahl e Jackendoff (1983). Eles se transformaram em semicolcheias na partitura final. Os traços relativos às palavras da categoria “O” foram alinhados precisamente<sup>4</sup> ao texto do primeiro extrato, entretanto as linhas representativas das intervenções programadas para os substantivos, bem como os pontos e subtraços dos acordes atribuídos aos verbos, foram sobrepostos à linha do fagote devido a intencionalidade de contraponto.

Uma adaptação se fez necessária quando, no estágio seguinte, as notas foram mapeadas às letras: a sílaba “fe” do verbo “proliferam” contém uma letra, **f**, que não havia recebido nenhuma classe de altura correspondente, porque simplesmente a

---

<sup>4</sup> Para obtenção dessa maior precisão na disposição dos caracteres, utilizei, na pré-montagem desses quadros, a fonte *Courier New*.

letra **f** não acontece em nenhum dos substantivos desse segmento. Esse bicerde então se transformou num som simples, relativo apenas à letra **e**. Considerei que esse som ficaria ritmicamente mais rico disposto sobre a segunda das duas semicolcheias da primeira sílaba da palavra “incessantemente”, o que foi assim indicado no quadro.

No terceiro extrato da figura, os traços/semicolcheias e os pontos e subtraços/acordes foram unidos como na textura final. Ao lado esquerdo, foi indicada a “orquestração”. É importante comentar que a métrica (ver figura 3 adiante) foi escolhida segundo dois fatores: pela coerência com a audição de cada oração ou frase, o que foi bastante determinado pela explicitação das sílabas por meio de acentos causados pela regisração das melodias; e pela decisão de evitar fórmulas de compasso muito longas e/ou complexas, assim facilitando o trabalho dos intérpretes.

Na atribuição de notas aos extratos melódicos – designados ao fagote e à flauta/mão esquerda –, além de respeitar o mapeamento construído no subcapítulo anterior, procurei evidenciar a separação de sílabas por meio de um simples recurso de regisração: a nota inicial de cada sílaba é a mais aguda e as seguintes formam perfil preferencialmente descendente. Exceção foi feita aos saltos descendentes de 7<sup>a</sup>, que foram interpretados como graus conjuntos ascendentes. No exemplo a seguir (figura 1), copio a função de mapeamento de letras em notas e indico a transformação do substantivo “macacos” em fragmento melódico com esse contorno:

a	b	c	d	e	g	h	i	j	l	m	n	o	p	r	s	t	u	x	z
0	3	2	4	6	7	8	9	10	11	3	4	1	6	7	5	8	9	10	11

m	a	c	a	c	o	s
3	0	2	0	2	1	5

**Exemplo 1:** Transformação da palavra “macacos” em fragmento melódico segundo a função de mapeamento (letras → notas) e o sistema de regisração por sílabas.

Por fim, os acordes foram escritos segundo um procedimento igualmente silábico e simples. As notas correspondentes às primeiras letras das sílabas foram dispostas como as mais agudas dos acordes e rigorosamente colocadas na oitava entre Dó<sub>4</sub> (Dó oitava acima do Dó central) e Si<sub>4</sub>. As outras notas de cada harmonia foram

distribuídas de modo a produzir um acorde em posição fechada, ou seja, com âmbito menor que uma oitava. O som simples decorrente do bicorde da sílaba “fe” de “proliferam” - como acima explicado – foi situado na oitava acima da que foi designada às notas mais agudas dos outros acordes, ou seja, entre Dó5 e Si5. Ver Exemplo 2:

The diagram shows a mapping of letters to notes for the word "proli-feram". A table below the word lists the letters and their corresponding note numbers (0-11):

a	b	c	d	e	g	h	i	j	l	m	n	o	p	r	s	t	u	x	z
0	3	2	4	6	7	8	9	10	11	3	4	1	6	7	5	8	9	10	11

Arrows indicate the mapping of letters to notes on a musical staff. The word "proli-feram" is written above the staff. A bracket labeled "f?" spans the notes for "proli-feram".

**Exemplo 2:** Transformação da palavra “proliferam” em 3 acordes e 1 som simples (4 sílabas) segundo a função de mapeamento (letras → notas) e o sistema de registo relativo à nota mais aguda (primeira letra da sílaba).

Segue a partitura completa do trecho, referente à oração analisada, com a adição das palavras correspondentes a cada extrato textural (figura 3):

**Vigoroso** ♩ = 140 a 150

**A** sempre articulado, mas não staccato

Flauta: *f* ma - ca - cos (2.3) ma - ca - cos (2.3)

Fagote: *f* Es - ses , to - dos es - ses , in - ces -

Piano: *f* ma - ca - cos pro - li - fe - ram ma - ca - cos

**Exemplo 3:** Compassos 1 a 8 do primeiro movimento, *A Ameaça*, da peça *Suíte “O Planeta dos Macacos”*, de Fabio Adour (2016), com adição do texto gerador correspondente, extraído de Boulle (2015).

**Exemplo 3:** continuação.

É importante frisar que, no decorrer do movimento, variações dessa disposição textural foram elaboradas. Por exemplo, a linha contínua gerada pela classe gramatical “O” (outras classes), inicialmente atribuída ao fagote, foi depois designada para a flauta e, em outras seções, para ambas as mãos do piano. As outras funções gramaticais – substantivos e verbos – também foram igualmente redistribuídas.

## 6. Conclusões

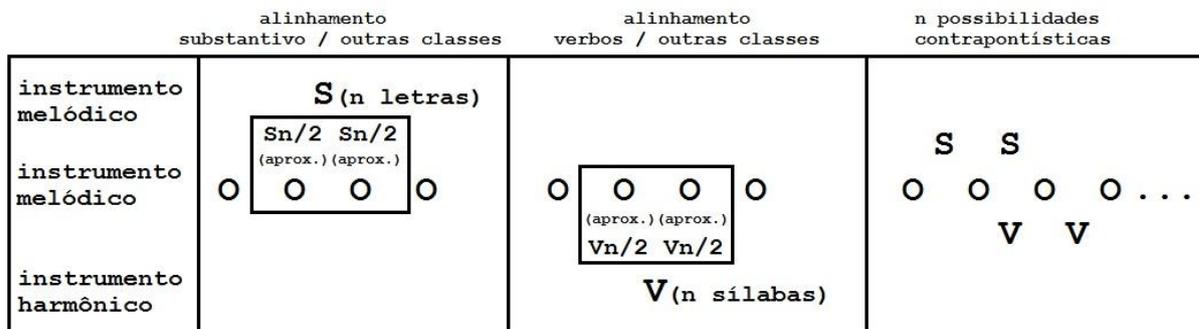
Como mencionado na introdução e no subcapítulo 4, foi na composição do primeiro movimento que estabeleci o método de mapeamento de classes de alturas para as letras do texto de referência, o qual foi aplicado do mesmo modo em todas as outras partes. Contudo, enquanto as classes, aqui, no início da peça, determinaram completamente a textura e o ritmo, nos outros seis movimentos elas engendraram diferentes situações musicais, algumas das quais foram brevemente descritas na introdução. Isso evidencia justamente a função de mapeamento desse procedimento, pois um sistema composicional precisou ser construído a cada vez.

Apesar disso, alguns sistemas foram elaborados a partir do texto, como procurei mostrar na análise, ou seja, o discurso verbal gerou duas coisas: mapeamento e o sistema composicional. O modelo abstrato produzido permite a elaboração de composições bem diferentes da que realizei. Moraes e Pitombeira nos auxiliam:

A modelagem sistêmica é aplicada na análise musical como uma analogia à modelagem matemática e tem por finalidade compreender os princípios estruturais observados em diversos parâmetros musicais de uma obra, bem como as relações entre os valores associados a esses parâmetros, em suas diversas dimensões. Mais especificamente com fins composicionais, o resultado da modelagem se concretiza pela definição de um sistema, que descreve, de forma generalizada, a aplicação desses parâmetros e suas relações internas. É importante salientar que, como no domínio

composicional o objetivo é criar obras originais, a generalização dessas relações se constitui em uma etapa fundamental na definição do sistema (MORAES e PITOMBEIRA, 2013, p. 9).

Se retomamos o quadro da Figura 5, vemos, principalmente no terceiro extrato, que um modelo rítmico textural genérico foi definido. Nada nele indica as alturas, os contornos, as intensidades ou a qualidade da harmonia. A principal diferença reside no fato de que não analisei um texto musical e sim um verbal. O modelo foi gerado – é verdade! – com grande precisão, como se observa, por exemplo, pela própria quantidade de notas de cada acorde ter sido determinada pelo número de letras das sílabas. Por outro lado, é possível pensar num sistema ainda mais genérico, subjacente ao do referido quadro, que, por exemplo, dispõe ainda mais abstratamente as três classes gramaticais numa textura musical (ver Fig. 6):



**Figura 6:** Variante mais generalizada do modelo apresentado no quadro da figura 5.

O mapeamento das notas pelas letras do texto é apenas um recurso adicional e não transforma esse modelo num mero mapa. Como tenho intenção de oportunamente relatar sobre o que foi realizado nos outros movimentos da peça, novos argumentos ainda poderão ser erigidos sobre conceitos como função de mapeamento, modelagem sistêmica, sistemas composicionais, etc.

A metodologia aqui explicitada me parece, enfim, promissora no sentido de estimular a elaboração de novos métodos, procedimentos e sistemas, trazendo contribuições não apenas para o trabalho dos compositores, mas instigando novas possibilidades de pesquisa tanto para o analista como para o musicólogo: a relação texto-música oferece uma infindável gama de possibilidades investigativas.

## Referências:

- ADOUR, Fabio. Análise Motívico-Fraseológica e Modelagem Sistêmica. In: Colóquio de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Música da UFRJ, (14.), 2015, Rio de Janeiro. *Anais do 14º Colóquio de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Música da UFRJ (vol. 2 – Processos Criativos)*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Música, Programa de Pós-Graduação em Música, 2016, p. 74-90.
- ADOUR, Fabio. *Suíte “O Planeta dos Macacos”*. Rio de Janeiro: obra digitalizada (Encore 5.0.1, 2009), 2016. Partitura manuscrita.
- BASSETO, Bruno Abrantes. *Um sistema de composição musical automatizada, baseado em gramáticas sensíveis ao contexto, implementado com formalismos adaptativos*. São Paulo, 2000. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- BOULLE, Pierre. *O Planeta dos Macacos*. Tradução de André Telles. São Paulo: Editora Aleph, 2015.
- LERDAHL, Fred; JACKENDOFF, Ray. *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge: The MIT Press, 1983.
- MORAES, Pedro Miguel de; PITOMBEIRA, Liduíno. Composição do Ponteio Nº 5 de Pedro Miguel a partir da Modelagem Sistêmica do Ponteio Nº 15 de Camargo Guarnieri. *Revista Música Hodie*, Goiânia, v.13, n.2, p. 8-33, 2013.
- QUARANTA, Daniel. Composição Musical e Intersemiose: processos composicionais em ação. *Revista Música Hodie*, Goiânia, v.13, n.1, p. 162-174, 2013.

## O uso de descritores acústicos como ferramenta na análise, criação e performance musical

*Gabriel Rimoldi*

*Universidade Estadual de Campinas – gabriel.rimoldi@gmail.com*

*Ivan E. Y. Simurra*

*Universidade Estadual de Campinas – ieysimurra@gmail.com*

*Adriano Claro Monteiro*

*Universidade Estadual de Campinas – monteiro.adc@gmail.com*

**Resumo:** Discutimos neste artigo sobre o uso de ferramentas computacionais de recuperação de informação musical (MIR) como proposta de sistematização à criação, análise e performance musicais. Apresentamos um panorama metodológico a partir de trabalhos desenvolvidos pelos autores nos últimos anos que abordam a sonoridade como um aspecto estrutural do discurso musical. As propostas discutidas confluem numa abordagem sistemática da sonoridade que, reduzida a um conjunto de dimensões mensuráveis, possibilite uma nova exploração metodológica nos mais diversos campos de pesquisa musical.

**Palavras-chave:** Recuperação de informação musical (MIR); Descritores acústicos; Análise musical; Criação musical; Performance musical;

### **The use of audio features as tool for musical analysis, composition and performance**

**Abstract:** We discuss in this paper the use of computational tools of Music Information Retrieval (MIR) as methodological approach to music analysis, composition and performance. We present an overview of works developed by the authors in recent years that conceive the sonority as structural aspect of musical discourse. These proposals converge to a systematic perspective of sonority that reduced to a set of measurable dimensions allows a new methodological exploration in various fields of music research.

**Keywords:** Music Information Retrieval (MIR); Audio Features; Music Analysis; Music Creation; Music Performance;

### **1. Introdução**

Descrever metodologicamente a sonoridade a partir de um conjunto de características capazes de circunscrevê-la num espaço observável e replicável é um aspecto desafiador à criação, análise e performance musical. Torna-se ainda mais preponderante quando tratamos de práticas musicais dos séculos XX e XXI, em que nota-se uma crescente preocupação na obtenção de resultados timbrísticos mais refinados e particulares. A progressiva expansão dos dispositivos de criação no campo da música instrumental, seja pela utilização de técnicas estendidas ou por modelos prescritivos não convencionais de acabo, bem como a produção e manipulação sonora através de suporte eletroacústico, reforçam a emergência da sonoridade em sua

natureza complexa e multifacetada como aspecto elementar na criação contemporânea. A ideia de sonoridade como uma “metadimensão” (GUIGUE, 1996) traduz, deste modo, o interesse de considerá-la não mais como uma simples “cor”, mas como um espaço para integrar os parâmetros musicais e, até mesmo, como categoria central do discurso sonoro. Seja no campo da escritura instrumental ou na criação com suporte eletroacústico, observa-se que as múltiplas dimensões que se interpõem podem alterar sensivelmente as características sonoras que, em consonância à ideia discutida por Solomos (2013), torna assim a sonoridade uma entidade global, um “artefato” articulado e construído a partir do “interior” do som, uma propriedade emergente da interação de uma diversidade de elementos em jogo.

No campo da engenharia, a área Recuperação de Informação Musical (com acrônimo MIR, do inglês, *Music Information Retrieval*) tem proposto a extração de características a partir do sinal de áudio com o objetivo de analisar e organizar arquivos digitais a partir de seus conteúdos musicais. Alguns dos principais objetivos específicos em MIR são: desenvolver métodos para transcrição automática de música (HERRERA-BOYER; KLAPURI; DAVY, 2006), organizar grandes bases de dados com arquivos musicais (TZANETAKIS; COOK, 2002), desenvolver tecnologia musical, como automatização de processamento computacional de áudio e de equipamentos relacionado a música (RAFII; PARDO, 2009), interação homem-máquina ligada à música (BROSSIER, 2006), novas abordagens musicológicas (COLLINS, 2010), dentre outros.

Um dos aspectos que deve se ter em mente quando empregam-se técnicas de MIR é que boa parte dessas técnicas são orientadas para reconhecer no áudio padrões musicais pré-estabelecidos, de acordo com teorias musicais coerentes ao repertório analisado (*e.g.* harmonia tonal, contraponto tradicional, canções com repetição de refrão, etc.). A generalidade de algumas das ferramentas dessa área permite-nos, entretanto, ampliar seu escopo às praticas musicais que exploram aspectos outros daqueles apontados pelo repertório tradicional, sobretudo àquelas que trazem a sonoridade como um aspecto estrutural do discurso sonoro. Assim, trataremos neste artigo de resultados de sete anos de pesquisa desenvolvida no Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora (NICS – UNICAMP)<sup>1</sup> sobre a utilização das ferramentas MIR nos campos da criação, análise e performance com suporte

---

<sup>1</sup> [www.nics.unicamp.br](http://www.nics.unicamp.br)

computacional. As propostas discutidas confluem numa abordagem sistemática da sonoridade que, reduzida a um conjunto de dimensões mensuráveis, possibilite uma nova exploração metodológica nos mais diversos campos de pesquisa musical.

## 2. A biblioteca PDescriptors

PDescriptors é um conjunto de algoritmos de análise de áudio usuais na pesquisa em MIR que foram implementados como abstrações no software Pure Data (PD) e tem como intuito fundamentar pesquisas em performance, criação e análise musical (MONTEIRO; MANZOLLI, 2011). Na configuração atual a biblioteca PDescriptors contem implementações de descritores de áudio de baixo nível divididos em três sub-grupos: a) descritores de características temporais, nos quais os procedimentos de extração são aplicados a representação temporal digitalizada do som; b) descritores de características espectrais, nos quais os procedimentos de extração são aplicados após a Transformada Discreta de Fourier (TDF) do sinal sonoro digitalizado; c) descritores de características psicoacústicas, nos quais as extrações são calculadas de acordo com modelos da percepção auditiva humana. Na T, descrevemos todas os descritores presente na biblioteca PDescriptors.

**Tabela 1:** Subgrupos da biblioteca PDescriptors de acordo com a tipologia de descritores.

<b>Características Temporais</b>	Centróide Temporal, Taxa de Cruzamento por Zero, Proporção de Quadros com Pouca Potência, Auto-correlação, Média Energética, Desvio Médio de energia, Variância de Energia, Desvio Padrão de Energia, Obliquidade de Energia, Curtose de Energia.
<b>Características Espectrais</b>	Média Energética, Desvio Médio de energia, Variância de Energia, Desvio Padrão de Energia, Obliquidade de Energia, Curtose de Energia, Centróide Espectral, Variância Espectral, Desvio Médio Espectral, Desvio Padrão Espectral, Obliquidade Espectral, Curtose Espectral, Largura de Banda, Medida de Crista Espectral, Fluxo Espectral, Irregularidade Espectral, Conteúdo de Altas Frequências, Desvio de Fase, Domínio Complexo, <i>Spectral Flatness</i> , <i>Spectral Noisiness</i> , <i>Spectra Decrease</i> , <i>Spectral Slope</i> , <i>Spectral Smoothness</i> , <i>Roll-off</i> , <i>Cesptrum</i> , <i>MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coeficients)</i> , <i>BFCC (Bark-Frequency Cepstral Coeficients)</i> .
<b>Características Psicoacústicas</b>	Curva de <i>Loudness</i> , Energia por Banda da Escala <i>Bark</i> , Energia por Banda da Escala MEL.

## 3. Análise, criação e performance via descritores acústicos

### 3.1 Análise da sonoridade no repertório instrumental e eletroacústico

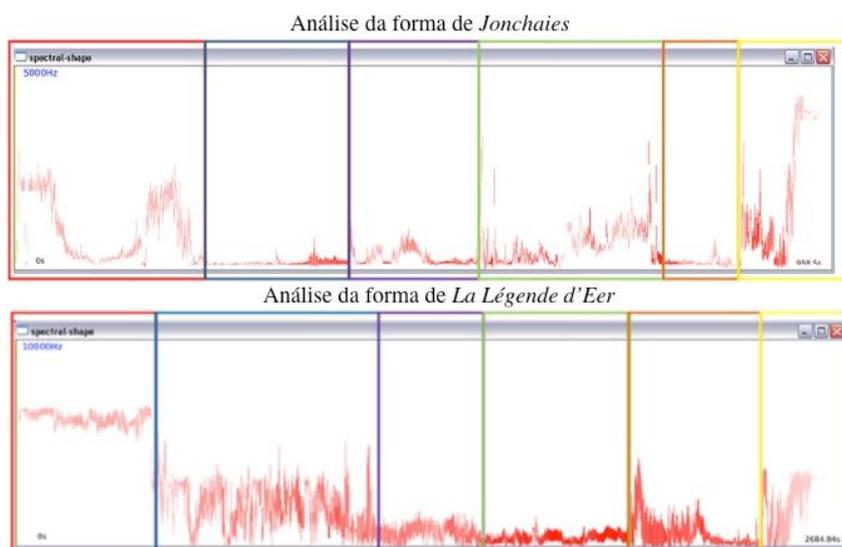
No âmbito da musicologia, a “estética da sonoridade” apresenta peculiaridades em relação a outros repertórios, visto que os registros gráficos remanescentes dos processos criativos musicais, ou das partituras, não representam diretamente as qualidades sonoras apreensíveis na audição musical, mas representam os procedimentos físicos para a geração do resultado sonoro desejado pelo músico. Tal aspecto pode ser observado, por exemplo, pelo uso de técnicas estendidas, que expandem os preceitos da técnica instrumental historicamente consolidados, no intuito de se obter sonoridades de natureza complexa e que dão destaque a outros aspectos do som que não aqueles privilegiados pela escritura tradicional; ou ainda, nos resultados de técnicas de síntese sonora instrumental em que o percepto musical é emergente da interação entre os componentes espectrais dos sons instrumentais que são anotados na partitura muitas vezes de maneira convencional, ou em conjunto a notações prescritivas de ações. A problemática torna-se ainda mais incisiva quando se trata da análise de material musical gerado por meios eletroacústicos, pois nesses casos os suportes de criação e de performance convergem reduzindo significativamente a necessidade de representações gráficas das obras, salvo rascunhos e registro de planejamento dos processos composicionais, alguns casos de partituras de difusão sonora, e partituras de escuta.

A cisura entre notação e percepto auditivo coloca, assim, à musicologia uma relação diferente daquela antes estabelecida na musicologia dedicada ao repertório tradicional da música de concerto quanto à análise do chamado nível neutro da obra (NATTIEZ, 1990), isto é, de um estágio da análise musical voltada à descrição das características da obra de acordo com uma lógica de construção musical intrínseca e extraída de relações observáveis apenas no material de registro. A aplicação de tecnologia MIR provê à pesquisa musicológica informações objetivas concernentes às características sonoras e às possíveis estruturas musicais salientes no áudio das obras analisadas que podem ser confrontadas às análises dos demais registros gráficos, bem como às análises auditivas (KLIEN; GRILL; FLEXER, 2012).

Em linha com as pesquisas de aplicação de tecnologia MIR para a musicologia de obras recentes de concerto, desenvolvemos trabalhos de utilização da biblioteca *PDescriptors* para esse propósito. Um deles trata de uma análise comparativa entre as peças *Jonchais*, para orquestra, e *La Légende d'Eer*, para meios eletroacústicos, ambas do compositor Iannis Xenakis. No texto introdutório da

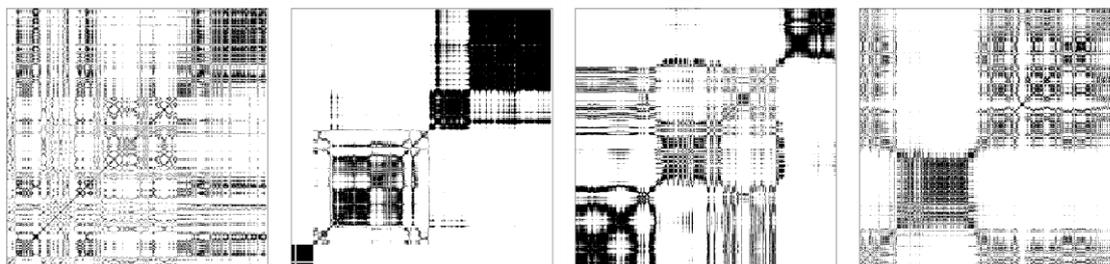
partitura de Jonchaies, Xenakis relata que a peça orquestral é baseada em resultados obtidos com a criação de *La Légende d'Eer*. Em nosso trabalho (BONDUKI; MONTERIO, 2015), utilizamos gráficos gerados a partir de dados numéricos extraídos por três descritores de áudio: centróide espectral, desvio padrão espectral, e RMS (a média quadrática da energia do sinal), como meio de identificar padrões de similaridade dos resultados sonoros nas gravações das duas peças, e que foram investigados como indícios das relações composicionais compartilhadas entre as peças.

O desenvolvimento do trabalho fez-se no reconhecimento visual de características semelhantes desses gráficos (vide figura 1), tomadas como indícios, que dirigiam o foco de investigações mais aprofundadas sobre as similaridades entre as peças, que por sua vez foram realizadas através de comparações dos espectrogramas em regiões localizadas, ou ainda recorrendo à análise da partitura de Jonchaies em comparação a estruturas identificadas nos espectrogramas. Dessa maneira, o uso dos descritores propiciou a comparação das duas obras sobre uma mesma base de representação visual, salientando características globais e livre de interpretações subjetivas do fenômeno sonoro (auditivo), que vieram apenas em uma etapa seguinte de identificação de estruturas de semelhança nas representações. Outra característica importante foi a possibilidade de redução integral do fenômeno sonoro a uma única representação estática, que ajudou os analistas à identificar e relacionar elementos de difícil apreensão pela escuta, devido à longa duração das peças, principalmente de *La Légende d'Eer*, bem como às diferenças significativas em suas proporções (*Jonchaies* com aproximadamente 15' ; e *La Légende d'Eer* com 45'31").



**Figura 1:** Comparação formal entre as obras *Jonchaies* e *La Légende d'Eer*, ambas de I. Xenakis via descritores acústicos.

Em outro trabalho, utilizamos o *PDescriptors* aplicado à análise à série *Audible Ecosystems*, do compositor Agostino di Scipio, também para suporte eletroacústico (RIMOLDI; MANZOLLI, 2016). A abordagem composicional tratada em *Audible Ecosystems* coloca a sonoridade como um aspecto emergente das interações locais e de menor complexidade entre os componentes colocados em jogo pelo compositor. Para isto, utilizamos a extração de características do sinal de áudio que dialogam com as parametrizações apontadas pelo próprio compositor (DI SCIPIO, 2003), a dizer: energia quadrática média (RMS), centroide espectral e fluxo espectral. No intuito de observar a formação de padrões globais e a dinâmica de comportamento entre estados subsequentes do sistema, que sugerissem um certo design composicional da obra, utilizamos então gráficos de recorrência e medidas de quantificação de recorrência a partir dos vetores de características extraídos do áudio das obras. A utilização de tais ferramentas propiciou o delineamento de características mais globais da série de obras analisadas que, como instâncias de um mesmo processo criativo, permitiu-nos observar aspectos de parametrização apontados pelo compositor. Na Figura 2 demonstramos a presença de diferentes estados intermediários na obra *Audible Ecosystems n. 2* através dos mapas de recorrência extraídos a partir dos descritores acústicos.



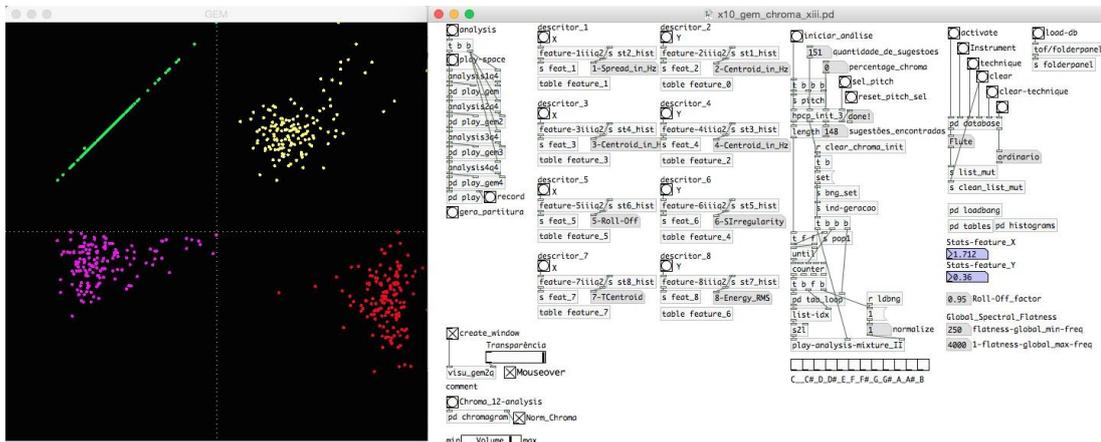
**Figura 2:** Estados Intermediários na obra *Audible Ecosystems n.2*, de Agostino di Scipio, através de Mapas de Recorrência.

### **3.2 Composição musical de sonoridades orquestrais**

As ferramentas computacionais são recursos tecnológicos que amplificam e expandem as possibilidades e as escolhas do material composicional sem, entretanto, substituir o trabalho particular do próprio compositor. O planejamento composicional aqui apresentado, foca em sonoridades musicais que possuem dois universos distintos, mas não disjuntos dos quais a) representa as técnicas de execução instrumental estendidas e b) representa as ferramentas computacionais para analisar e descrever estatisticamente o conteúdo espectral do material gerado por essas técnicas. Para tanto, desenvolvemos um ambiente computacional, denominado *Sound Shizuku Composition – SSC*, para analisar sonoridades do ponto de vista de seu conteúdo espectral. Em nosso protótipo, as sonoridades resultam da interação das análises dos descritores de áudio com a própria percepção de suas características espectrais. O escopo do desenvolvimento do nosso ambiente de orquestração assistida por computador centra-se nas particularidades contrastantes de variações de sonoridades, a partir da análise sonora via descritores de áudio. A Figura 3 ilustra o ambiente de pesquisa e exploração das misturas sonoras, que estão dispostas em quatro espaços bidimensionais, representando o conjunto de descritores de áudio. O primeiro espaço é representado pelos eventos de cor amarela. O segundo espaço é representado pelos eventos de cor verde. O terceiro espaço é representado pelos eventos de cor roxa. Por último, o quarto espaço é representado pelos eventos de cor vermelha. Todos os pontos representam as mesmas sonoridades dispostas em espaços de análise distintos pelos descritores de áudio.

Composição e análise são as duas frentes de trabalho fundamentais neste estudo. Construímos espaços colaborativos de trabalho entre os dados objetivos da análise sonora junto ao processo de escrita composicional para ampliar a reflexão artística, estética e composicional. Num escopo mais generalizado, o processo criativo

aqui reportado objetiva a composição musical associada ao controle e à manipulação do timbre musical. De maneira intuitiva, pode-se afirmar que a orquestração com a qual trabalhamos na nossa pesquisa compreende uma mistura dos mais variados timbres e técnicas de execução instrumental.

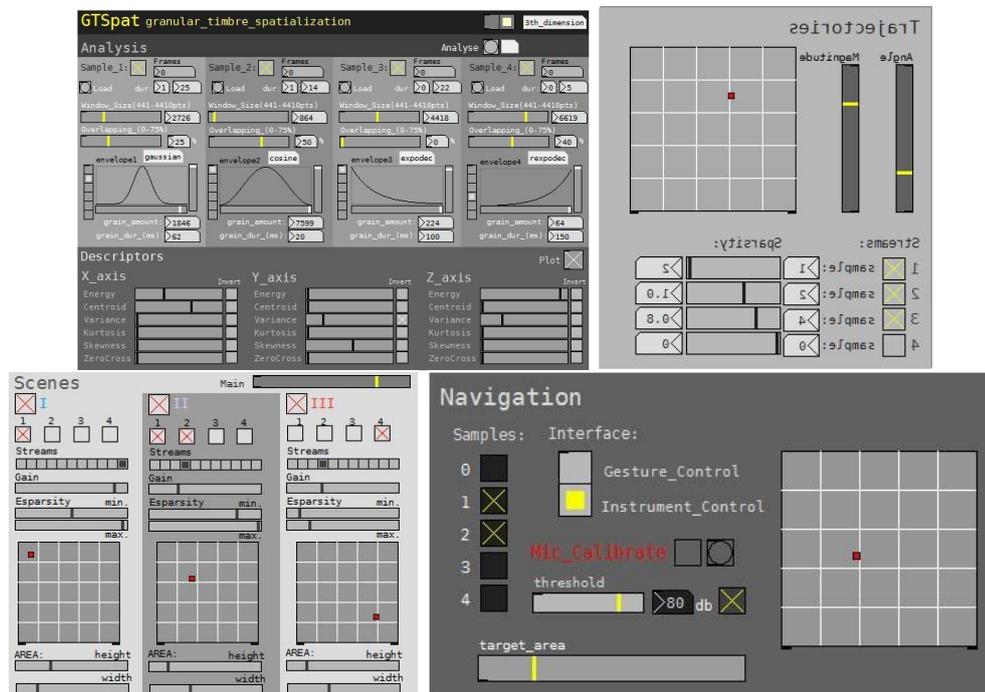


**Figura 3:** Ambiente de pesquisa e exploração das misturas sonoras *Sound Shizuku Composition-SSC*.

### 3.3 Modelos de síntese e espacialização sonora baseados em medidas de similaridade

A extração de características do sinal de áudio tem trazido, nas últimas décadas, uma nova vitalidade também ao campo de pesquisa em síntese sonora. Ao considerarmos os modelos de síntese em que uma enorme quantidade informacional torna-se necessária à produção de poucos segundos de som, tal qual se propõe as diversas técnicas de síntese granular e síntese concatenativa, por exemplo, torna-se imprescindível o emprego de mecanismos de controle macroestrutural que possibilitem uma maior aproximação dos domínios do percepto humano, sobretudo relacionados ao sequenciamento temporal e disposição espacial do som. Neste contexto, desenvolvemos estratégias de controle de síntese sonora em domínio microtemporal, baseando-se em medidas de similaridade entre os segmentos sonoros obtidos pela extração de características temporais e espectrais de baixo nível (RIMOLDI; MAIA JR, 2011). Em nosso protótipo, intitulado *Granular Timbre Spatialisation - GTSpat*, procuramos então relacionar as medidas de similaridade entre os segmentos sonoros como estratégia para concatenação e posicionamento dos mesmos em sistemas de difusão multicanal (Figura 4).

Nosso intuito foi estabelecer uma função entre qualidades timbrísticas, que são representadas pelo espaço dos descritores, e a posição aural e ordenamento temporal dos grãos sonoros no espaço de difusão em suporte eletroacústico. A posição de cada grão é determinada por uma combinação ponderada dos descritores associados pelo próprio usuário do sistema a cada dimensão do espaço de difusão sonora (bi ou tridimensional). A partir da seleção de um conjunto de amostras de áudio previamente selecionadas, o usuário pode controlar então o sequenciamento e espacialização dos segmentos sonoros pela manipulação de trajetórias no espaço paramétrico dos descritores.



**Figura 4:** Interface do sistema GTSpAt - Granular Timbre Spatialization, que associa informações obtidas via descritores acústicos para o sequenciamento e espacialização de síntese sonora.

### 3.4 Estratégias de controle em instrumentos aumentados via descritores

O uso de descritores acústicos tem se configurado também como uma ferramenta útil na captura gestual indireta de instrumentos acústicos (TRAUBE; DEPALLE; WANDERLEY, 2003). Tal metodologia baseia-se na extração de características de baixo nível a partir do sinal de áudio e na utilização de modelos que associem estes dados a informações relacionadas à gestualidade do instrumentista. Em nossa pesquisa, temos investigado a utilização de modelos híbridos de captura gestual associado à flauta transversal em ambientes de improvisação. Nosso protótipo de

instrumento aumentado, o qual denominado *Metaflauta*, emprega tanto a aquisição direta de movimentos do instrumentista através de sensores acoplados ao instrumento, bem como a aquisição indireta via descritores de áudio (RIMOLDI; MANZOLLI, 2015). A aquisição indireta relaciona-se a informações gestuais efetivas, ou seja, ações diretamente à produção do som. Em nosso modelo, temos sobretudo empregado o uso dessas ferramentas na detecção de técnicas estendidas para flauta e nas possibilidades de controle e interação através do mapeamento das mesmas. A recuperação de informações gestuais efetivas foi realizada a partir da extração de descritores temporais e espectrais do próprio som do instrumento. A partir do vetor de características extraído, aplicamos um conjunto de técnicas de aprendizado não supervisionado que tem como propósito a redução de dimensionalidade dos dados. O processamento dos dados obtidos via descritores permiti-nos explorar aspectos da sonoridade do instrumento, sobretudo pelo uso de técnicas estendidas, no controle de processamento de imagens e sons em ambientes de improvisação assistida por computadores.

#### **4. Discussão e Projeções Futuras**

Neste artigo apresentamos um conjunto de pesquisas desenvolvidas no Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora que estudam a aplicação de tecnologias MIR como metodologias sistemáticas para a pesquisa em música que exploram a sonoridade como elemento central do discurso musical. Os trabalhos expostos abordam os temas: musicologia e análise musical; composição; e performance e desenvolvimento de novos instrumentos. Todos eles foram realizados com a biblioteca de descritores acústicos PDescriptors, implementada na plataforma Pure Data como subproduto e suporte metodológico da pesquisa aqui reportada. No campo da musicologia, recapitulamos dois trabalhos que utilizaram os dados obtidos de descritores acústicos para a criação de representações gráficas que ressaltaram propriedades acústicas específicas das gravações das obras analisadas. No primeiro desses dois trabalhos os gráficos serviram como intermediação visual comum para comparação das obras *Jonchaies* e *La Légende d'Eer* ambas de Iannis Xenakis. No segundo trabalho, que analisa a obra *Audible Ecosystems* de Agostino Di Scipio, houve o acréscimo de uma etapa de mensuração de propriedades dos gráficos (medidas de quantificação de recorrência extraídas das séries temporais resultantes da aplicação

dos descritores acústicos) que salientaram aspectos formais macroestruturais da obra musical analisada. No âmbito da composição musical, apresentamos uma estratégia de composição para explorar o universo sonoro das técnicas estendidas de execução musical, a partir das sonoridades orquestrais cujas características espectrais são analisadas pelos descritores de áudio. O trabalho de pesquisa relacionou a análise musical do ponto de vista objetivo, utilizando ferramentas computacionais e estatísticas, com o próprio planejamento conceitual, estético e particular do compositor. Desenvolvemos diversos experimentos composicionais utilizando os procedimentos metodológicos, tanto aplicado à escritura instrumental, como para o controle de síntese e espacialização sonora. Por fim, aplicamos essas ferramentas como potencial de expansão de instrumentos acústicos aplicada a contextos de improvisação com suporte computacional.

Como se nota nos trabalhos apresentados, uma importante característica das técnicas MIR é seu potencial de integração da representação das características sonoras micro-temporais (da ordem dos milissegundos) em elementos sonoro/musical médio ou macro-temporais (respectivamente da ordem de segundos e minutos), o que é confluyente com o ideário técnico-musical de obras que têm a sonoridade como elemento de integração do discurso, pois nelas a construção e variação de objetos perceptivos é fundamentada pela manipulação de características micro-temporais do som. Em relação a esse aspecto, umas das projeções de desenvolvimento futuro da pesquisa aqui reportada está justamente a possibilidade de integração metodológica entre esses domínios temporais do fenômeno sonoro/musical. Reportamos apenas em um dos trabalhos, especificamente na análise da obra *Audible Ecosystems* de Agostino Di Scipio, metodologias de uma mesma natureza (sistemática e objetiva) para a extração de características micro-temporais e posterior análise de padrões macro-temporais; enquanto que nos demais trabalhos esse salto se deu por uma mudança de paradigma metodológico em que a subjetividade do analista, compositor ou performer, visa a integração dos dados micro-temporais em elementos musicais de níveis médio ou macro-temporais.

Entretanto, é importante notar que esse tipo de desenvolvimento metodológico não é trivial. A definição de um arcabouço metodológico universal e generalista, pois se trata de um repertório musical em que os estilos e abordagens divergem em grande medida na qual a inovação e diferenciação em relação ao

repertório existente é um dos valores de juízo artístico. O que se tem na prática são ferramentas desenvolvidas para um grupo bem definido de obras ou, muitas vezes, para casos particulares. Sendo assim, a análise e a interpretação computacional dos dados extraídos via descritores acústicos, com intuito de identificar e representar de elementos musicais, é o principal aspecto de continuidade da pesquisa aqui reportada.

## Referências

- BONDUKI, S. A.; MONTERIO, A. Compositional Influences in Jonchaies from La Légende d'Eer1. *Iannis Xenakis, la musique électroacoustique: The electroacoustic music*, p. 53, 2015.
- BROSSIER, P. M. The aubio library at mirex 2006. *MIREX 2006*, p. 1, 2006.
- COLLINS, N. *Computational Analysis of Musical Influence: A Musicological Case Study Using MIR Tools*. ISMIR. Anais...2010
- DI SCIPIO, A. "Sound is the interface": from interactive to ecosystemic signal processing. *Organised Sound*, v. 8, n. 3, p. 269–277, 2003.
- GUIGUE, D. Une étude "pour les sonorités opposées". *Villeneuve d'Asq: Presses Universitaires du Septentrion*, 1996.
- HERRERA-BOYER, P.; KLAPURI, A.; DAVY, M. Automatic classification of pitched musical instrument sounds. In: *Signal processing methods for music transcription*. [s.l.] Springer, 2006. p. 163–200.
- KLIEN, V.; GRILL, T.; FLEXER, A. On automated annotation of acousmatic music. *Journal of New Music Research*, v. 41, n. 2, p. 153–173, 2012.
- MONTEIRO, A.; MANZOLLI, J. *A Framework for Real-time Instrumental Sound Segmentation and Labeling*. Proceedings of IV International Conference of Pure data-Weimar. Anais...2011
- NATTIEZ, J.-J. *Music and discourse: Toward a semiology of music*. [s.l.] Princeton University Press, 1990.
- RAFII, Z.; PARDO, B. *Learning to Control a Reverberator Using Subjective Perceptual Descriptors*. ISMIR. Anais...2009
- RIMOLDI, G.; MAIA JR, A. *GTSpat: um sistema interativo de síntese e espacialização sonora*. Anais do 13º Simpósio Brasileiro de Computação Musical. **Anais...**Brasília: 2011
- RIMOLDI, G.; MANZOLLI, J. *Metaflauta : design e performance de instrumento aumentado via suporte computacional*. Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Computer Music. Anais...Campinas: 2015
- RIMOLDI, G.; MANZOLLI, J. *Medidas de quantificação recorrência: uma proposta de análise para Audible Ecosystems de Agostino Di Scipio*. XXVI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música - Belo Horizonte. Anais...2016
- SOLOMOS, M. *De la musique au son: l'émergence du son dans la musique des XXe-XXIe siècles*. [s.l.] Presses universitaires de Rennes, 2013.
- TRAUBE, C.; DEPALLE, P.; WANDERLEY, M. M. Indirect Acquisition of Instrumental Gesture Based on Signal, Physical and Perceptual Information. *Proceedings of the 2003 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-*

03), p. 42–47, 2003.

TZANETAKIS, G.; COOK, P. Musical genre classification of audio signals. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, v. 10, n. 5, p. 293–302, 2002.

## **A racionalidade matemática na música de Villa-Lobos**

*Gean Pierre*  
*Universidade Federal do Espírito Santo – geanpierre@gmail.com*

*Oscar Abdounur*  
*Universidade do Estado de São Paulo – abdounur@gmail.com*

**Resumo:** Esse trabalho tem como foco principal explorar como obras musicais de Villa-Lobos são passíveis de serem analisadas por meio de uma racionalidade matemática. Baseamo-nos em estudos de Allen Forte e a Teoria dos Conjuntos aplicada à Música. Uma das principais contribuições deste trabalho é estabelecer relações didáticas de analogia entre conteúdos do currículo da matemática e aspectos da área musical.

**Palavras-chave:** Heitor Villa-Lobos. Teoria dos Conjuntos. Racionalidade Matemática.

### **Mathematical Rationality in the works by Villa-Lobos**

**Abstract:** This research is mainly focused on exploring how musical works by Villa-Lobos are likely to be read or analyzed by a mathematical rationality. Based on studies by Allen Forte and the Set Theory applied to Music. A major contribution of this work is to establish educational relations of analogy between the mathematics curriculum and aspects of Music.

**Keywords:** Heitor Villa-Lobos. Set Theory. Mathematical Rationality.

### **1. Introdução**

Nesse artigo iremos nos concentrar em técnicas que, de algum modo, mostram um procedimento composicional em que a racionalidade matemática esteja presente em obras musicais de Villa-Lobos. Chamaremos esses processos composicionais – ou mesmo estruturas composicionais – de Categorias de Análise, e, para fins de delimitação, destacaremos (1) conjuntos e subconjuntos; (2) simetrias; (3) invariâncias; (4) complementaridade. Importante ressaltar que poderíamos incluir diversas categorias nessa análise, como matrizes, determinantes, vetores, permutações, entre outras. Nos exemplos de obras de Villa-Lobos dialogaremos com pesquisas já realizadas nessa perspectiva.

### **2. Conjuntos e Subconjuntos**

O termo conjunto, utilizado em contextos musicais de análise, significa

grupamentos de classes de notas<sup>1</sup> e se refere a motivos que sustentam algumas composições – principalmente aquelas com características pós-tonais. Um conjunto pode aparecer melodicamente (notas em sequência), harmonicamente (notas tocadas simultaneamente), conter ou estar contido em superconjuntos, conter entre 0 e 12 classes de alturas<sup>2</sup>, etc. Os conjuntos são, na maioria das vezes, utilizados com as terminologias tricorde, tetracorde, pentacorde, hexacorde, heptacorde e octacorde em sua classificação de acordo com o número de elementos que apresentam. Já o termo “classe de conjuntos” refere-se aos conjuntos equivalentes, tanto pela transposição quanto pela inversão. Os conjuntos podem ser relacionados pelo número de classes de alturas que contêm ou por seu conteúdo intervalar (KOSTKA, 1999). Para compreender as possibilidades finitas do universo da escala cromática, os subconjuntos possíveis são reduzidos à sua ordem normal e à sua forma primária. Obtemos assim uma representação numérica dos subconjuntos de 3 a 9 elementos da escala cromática, dispostos em uma tabela ordenada, sistematizada por Allen Forte<sup>3</sup> (FORTE, 1973) em uma tabela com 220 formas primas às quais atribuiu números de classificação, chamados FN (*Forte Numbers*). Cada uma das formas primas é designada pela cardinalidade.

O artigo “Organização harmônica no movimento final do *Quarteto de Cordas* n° 15 de Villa-Lobos”, de Paulo de Tarso Salles (SALLES, 2008) mostra conjuntos e subconjuntos no trecho inicial do quarto movimento. Para o autor,

a escolha desse movimento deveu-se à curiosidade despertada pela forma inusitada como o material harmônico parece se integrar à textura: o movimento inicia como um *fugato*, mas as relações intervalares entre a entrada das vozes não segue o padrão tradicional de alternância de intervalos de 5J (Quinta Justa); além disso, salvo poucas exceções, não se observa a formação de elementos triádicos, ou seja, a harmonia assume uma feição nitidamente não-tonal (SALLES, 2008, p. 98).

O autor advoga (p. 99) que o problema inicial para o emprego analítico da

---

<sup>1</sup> Classes de notas – ou em inglês *pitch-class* (pc) – é um grupo de notas com o mesmo nome. Por exemplo, a classe de notas Lá contém todas as notas chamadas Lá. Com outras palavras, qualquer nota chamada Lá é um membro da classe de notas Lá (STRAUS, 2013, p. 2-3).

<sup>2</sup> Tais limites são apenas teóricos, já que na prática os conjuntos têm de 3 a 9 elementos.

<sup>3</sup> Forte (1973) elencou todas as classes de conjuntos possíveis, a *Lista de formas primas dos conjuntos de classes de notas*, criando também uma nomenclatura numérica para distingui-las, onde o primeiro número indica a *cardinalidade*, ou seja, quantas classes de notas distintas formam o conjunto e o segundo número, a *ordem* do conjunto na lista de formas primas. Por exemplo, o conjunto 4-3 possui cardinalidade 4, ou seja, é formado por quatro classes de notas e é o terceiro conjunto de cardinalidade 4 que aparece na lista de Forte, que poderá ser consultada em um dos anexos desse trabalho.

Teoria dos Conjuntos é a segmentação do material musical em unidades significativas pois se trata de um recorte arbitrário que requer certo bom senso e não está livre de imperfeições. Nesses casos, o emprego de conjuntos e subconjuntos de alturas é feito para segmentar o material musical que vai ser analisado, procurando seguir, por exemplo, frases melódicas em planos definidos como melodia principal inicial – tocadas pelo violoncelo – e imitações pelos outros instrumentos. Salles observa que a superposição progressiva das melodias secundárias gera formações de acordes (conjuntos), aparecendo principalmente nas partes de cello, viola e 2º violino nos compassos 10-12. Após a segmentação do material observamos que são formados vários subconjuntos todos originados do conjunto (4-7) mostrando uma quantidade de sons comuns entre esses subconjuntos.

**Figura 1:** Melodia principal segmentada em tetracordes 4-7. Os números utilizados imediatamente abaixo das notas na partitura são suas classes de alturas e os números entre parenteses são a forma normal de cada conjunto (SALLES, 2008).

### 3. Simetria

Um aspecto importante na obra de Villa-Lobos diz respeito à simetria<sup>4</sup>. O compositor evidencia esse conceito em diversas de suas composições em consonância com compositores que também utilizaram esse aspecto em suas obras, tais como Stravinsky, Webern, entre outros. Para Weyl (1952) simetria – termo originalmente vindo da geometria analítica – é uma ideia que, ao longo dos tempos, os homens têm tentado compreender e criar ordem, beleza e perfeição. Em música, esse conceito tem a noção de uma harmonia de proporções, associada a uma beleza ideal e clássica. Tal conceito relaciona-se ao aspecto geométrico e pode se apresentar nas formas bilateral, translacional, rotacional e ornamental.

A simetria bilateral ou simetria de reflexão acontece quando uma figura, quando refletida em relação a um eixo (eixo de simetria), corresponde ponto a ponto

<sup>4</sup> Nesse trabalho, iremos discutir simetria baseados nos estudos de Weyl (1997).

com a imagem original. Reflexão é a simetria bilateral obtida colocando-se um objeto diante de um espelho e considerando-se a forma e sua imagem. Outro exemplo de simetria de que nos fala Weyl é a rotação ao redor de um ponto, que e quando existe uma rotação diferente da identidade que preserve a figura. Pode-se dizer que ocorre simetria rotacional quando um objeto girado sob um eixo permanece inalterado.

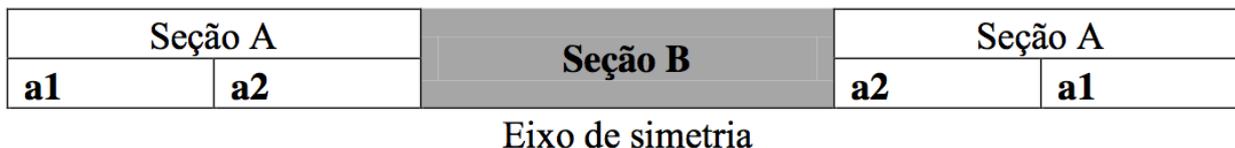
O artigo “Simetria na forma e no material harmônico da Ciranda nº 4 de Villa-Lobos”, de Ronaldo Alvez Penteado (2012) propõe uma análise de aspectos da simetria como elemento estrutural da obra. Essa peça relaciona a temática folclórica de superfície a uma tendência de composição pós-tonal da época, que consistia em recorrer à simetria para elaborar o material formal e harmônico da seção não tonal da peça. A seção A pode ser segmentada em duas partes: a1 que vai do começo da peça até a primeira parte do compasso 3, e a2, que vai do final do compasso 3 até o compasso 4. A linha tracejada (Fig. 2) indica a segmentação em a1 e a2 da seção A. Esta redução do segmento a1 na recorrência da seção A ressalta uma característica do processo composicional de Villa-Lobos: passagens com forte identidade simétrica, mas em que a segunda metade traz alguma seção que se apresenta desconstruída em relação à primeira.



**Figura 2:** Linha tracejada indicando a segmentação dos trechos a1 e a2 da seção A (PENTEADO, 2012).

No campo formal, a peça apresenta um padrão de simetria translacional: Ao falarmos em forma ternária do tipo A-B-A, por exemplo, reconhecemos um padrão que é translacional quanto há a repetição da seção A. Nenhum elemento novo exceto ao fato de, com a segmentação da seção A, verifica o padrão de simetria do tipo rotacional. Na representação da seção A, após o término da seção B, Villa-Lobos apresenta o segmento a2 e encerra a peça com o segmento a1 (Figura 3). Nesse sentido, tendo a

seção B como eixo, a simetria é do tipo rotacional:



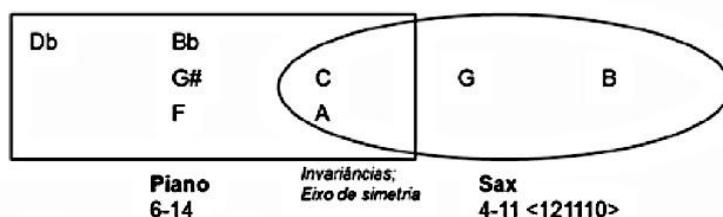
**Figura 3:** Padrão simétrico da forma da música (PENTEADO, 2012)

#### 4. Invariâncias

Quando um conjunto de classes de notas é transposto ou invertido, seu conteúdo muda inteiramente, parcialmente, ou não muda. Notas mantidas em comum entre dois membros diferentes da mesma classe de conjuntos podem prover uma continuidade musical. De modo inverso, uma ausência de notas em comum pode enfatizar o contraste entre dois membros diferentes da mesma classe de conjuntos. Dessa maneira, um termo consagrado pela teoria musical como som comum será renomeado como invariância. Essa terminologia empregada é tomada de empréstimo da Matemática<sup>5</sup>. As manipulações com os intervalos são chamadas de operadores, dos quais os principais são a transposição (T), a inversão (I) e a multiplicação (M). O número de invariâncias pode ser calculado a partir do vetor intervalar em relação ao fator de transposição. O vetor intervalar consiste em um conjunto de seis classes de intervalos, que expressa todas as relações de intervalo em um conjunto de classes de altura, neste caso, o cálculo das invariâncias é mais complicado.

O artigo “Análise do material harmônico nos compassos iniciais do *Noneto* de Villa-Lobos”, de Paulo de Tarso Salles (2010), mostra invariâncias no material harmônico da obra. Pode-se observar uma complexa organização de simetrias e uso de algumas invariâncias, e, para tratar alguns agrupamentos sonoros dentro do sistema temperado, Salles se apropria da Teoria dos Conjuntos desenvolvida por Forte (1973). Após segmentação da música com unidades discretas para evidenciar um contexto pós-tonal na peça, adotando a nomenclatura de Forte (1973) para designação dos conjuntos sonoros que atuam como acordes, melodias e elementos de texturas. O autor considera, em primeiro plano, a interação entre a melodia do saxofone e o primeiro acorde tocado pelo piano, em que o tetracorde do sax e o hexacorde do piano apresentam uma invariância que funciona com eixo de simetria (as notas Lá e Do), coordenando as interações harmônicas com as demais alturas:

<sup>5</sup> Em matemática usamos a terminologia intersecção, que é o conjunto formado com elementos que pertencem simultaneamente a dois ou mais conjuntos.



**Figura 4:** Diagrama de Venn mostrando a invariância – intersecção – entre dois conjuntos (SALLES, 2010).

## 5. Complementaridade

Em qualquer conjunto, as classes de notas não contempladas constituem seu complemento. Portanto, o complemento do conjunto  $[3,6,7]$  é  $[8,9,10,11,0,1,2,4,5]$ . Todo conjunto e seu complemento, quando tomados juntos, devem conter todas as doze classes de notas e para qualquer conjunto contendo  $n$  elementos, seu complemento irá conter  $12 - n$  elementos. Cabe observar que há uma semelhança intervalar entre um conjunto e seu complemento, que sempre possuem uma distribuição semelhante de intervalos. Para conjuntos complementares, a diferença no número de ocorrências de cada intervalo é igual à diferença entre as cardinalidades dos conjuntos.

Os cardinais, cuja soma é 12, são complementares. Dessa maneira, as coleções pentatônica (5-35) e diatônica (7-35) são complementares entre si, visto que a ordenação dos conjuntos de classes de altura na tabela de Forte dispõe os conjuntos de acordo com esse critério, e alguns hexacordes são complementares a si próprios. A complementaridade também acontece entre versões transpostas ou invertidas do mesmo conjunto de classes de altura, em que essas versões complementam-se para formar o total cromático. Outra propriedade também associada à noção de complemento chama-se similaridade, que pode ser observada em classe de alturas e em classe de intervalos.

A dissertação de mestrado *Concerto para Piano e Orquestra nº 1 de Villa-Lobos*: um estudo analítico-interpretativo de Raimundo Fortes (FORTES, 2004) mostra aspectos de complementaridade quando aborda o uso intencional por Villa-Lobos de padrões e combinações entre teclas brancas e pretas do piano. Nesse trabalho, Fortes caracteriza essa complementaridade no segundo capítulo “A Politonalidade<sup>6</sup> das Teclas Brancas e Pretas”, a partir de diversos exemplos. Em um dos exemplos evidencia a utilização estruturada melodicamente por teclas brancas na parte superior e pretas

<sup>6</sup> Termo que designa a superposição de melodias, cada qual com uma tonalidade diferente.

na parte inferior da partitura (mãos direita e esquerda) e ainda o acorde final deste trecho (Figura 5):



**Figura 5:** Notas nas teclas brancas na parte superior e teclas pretas na parte inferior (FORTES, 2004, p. 22).

## 6. Considerações finais

Neste trabalho procuramos buscar a presença da racionalidade matemática nas obras musicais de Villa-Lobos. Procurou-se estabelecer relações analógicas entre conteúdos do currículo da Matemática com aspectos da área da Música e usar uma linguagem sensível a ambas as áreas mostrando que é possível abordar conceitos matemáticos da Teoria dos Conjuntos através de uma análise da obra musical. Averiguamos trabalhos com obras musicais contendo simetrias, reflexões, transposições, inversões, cientes de que tais procedimentos permitiram concluir que as composições têm uma abordagem racional e calculada.

Pensamos que uma contribuição importante deste trabalho está na abordagem interdisciplinar ao procurar estabelecer relações analógicas entre conteúdos do currículo da Matemática com aspectos da área da Música. O professor pode reconfigurar o pensamento de alunos que apresentam dificuldades na aprendizagem através de uma possibilidade de construção sinestésica, valendo-se dos recursos auditivos da Música, para assimilação de conceitos matemáticos que podem parecer muito abstratos para alguns.

Do ponto de vista educacional, o presente trabalho traz contribuições para o licenciando e para o professor, na medida em que oferece uma prática de reflexão e de possível ressignificação dos conceitos mencionados, e que permite transgredir esses limites ampliando essa prática a outras categorias relacionadas (para um aspecto rítmico, matrizes, determinantes, vetores, etc) e plenamente possíveis de também serem contempladas numa perspectiva analógica, mas que não foram incluídas nesse recorte. Ao nosso ver, essa forma de apresentação pode auxiliar no ensino e

aprendizagem das duas áreas sendo possível utilizar essa forma de análise em uma aula de música ensinando, por exemplo, o conceito de complementaridade entre dois conjuntos.

### **Referências:**

- FORTE, Allen. *The Structure of Atonal Music*. New Haven: Yale UP, 1973.
- FORTES, Raimundo. *Concerto para Piano e Orquestra nº 1 de Villa-Lobos: um estudo analítico-interpretativo*. Bahia, 2004. 173f. Dissertação (Mestrado em Música). Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal da Bahia. 2004.
- KOSTKA, Stefan. *Materials and Techniques of Twentieth Century Music*. 3ª ed. New Jersey: Pearson, 2006.
- PENTEADO, Ronaldo Alves. Simetria na Forma e no Material Harmônico da Ciranda nº 4 de Villa-Lobos. *Anais do II Simpósio Brasileiro de Pós-Graduandos em Música (SIMPOM)*, São Paulo: USP – Escola de Comunicação e Artes, 2012. 1063-1073.
- SALLES, Paulo de Tarso. *Villa-Lobos: processos composicionais*. Campinas: Editora da Unicamp, 2009.
- SALLES, Paulo de Tarso. Análise do material harmônico nos compassos iniciais do Noneto de Villa-Lobos. *Anais do Congresso da ANPPOM, XX*. 2010. Florianópolis. Florianópolis: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010. 1600-1621.
- SALLES, Paulo de Tarso. Organização harmônica no movimento final do quarteto de cordas nº 15 de Villa-Lobos. *Anais do Congresso da ANPPOM, XVIII*. 2008, Salvador. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008. 98-103.
- WEYL, Hermann. *Symmetry*. New Jersey: Princeton University Press, 1952.

## **Planejamento composicional do segundo movimento de *Patrono Quiet* a partir da modelagem sistêmica do *Ponteio N° 4* de Camargo Guarnieri**

Liduíno Pitombeira

Universidade Federal do Rio de Janeiro – [pitombeira@musica.ufrj.br](mailto:pitombeira@musica.ufrj.br)

**Resumo:** Neste trabalho descrevemos os procedimentos metodológicos utilizados no planejamento composicional do segundo movimento de *Patrono Quiet*, para flauta, fagote e piano. Através da modelagem sistêmica do *Ponteio N° 4*, para piano, de Camargo Guarnieri, um sistema composicional hipotético, focalizado predominantemente no parâmetro altura, foi proposto e, a partir desse sistema, elaborou-se o planejamento composicional da nova obra. O trabalho de modelagem iniciou-se com o exame da macroestrutura da obra de Guarnieri, e, em seguida, realizou-se sua modelagem considerando-se uma perspectiva de duas camadas: uma melódica (mão direita) e um ostinato (mão esquerda). Como resultado da modelagem obtivemos um sistema composicional definido com base em uma série de diagramas e informações sobre os conjuntos de classes de alturas utilizados por Guarnieri, bem como sobre suas inter-relações.

**Palavras-chave:** Modelagem sistêmica. Camargo Guarnieri. Ponteios.

### **Compositional Planning of the second movement of *Patrono Quiet* from the Systemic Modeling of Camargo Guarnieri's *Ponteio No.4***

**Abstract:** This paper describes the methodological procedures used in the compositional planning of the second movement of *Patrono Quiet*, for flute, bassoon, and piano. Through the systemic modeling of Camargo Guarnieri's *Ponteio No. 4* for piano a hypothetical compositional system, focused mainly on the pitch parameter, was proposed and from this system the compositional planning of new work was elaborated. The modeling work began with the examination of the macrostructure Guarnieri's piece, and then its modeling was accomplished considering the perspective of two layers: a melodic (right hand) and an ostinato (left hand). As a result of the modeling we got a compositional system defined in the basis of a series of diagrams and information on the pitch-class sets used by Guarnieri, as well as on their interrelations.

**Keywords:** Systemic Modeling. Camargo Guarnieri. Ponteios.

## **1. Introdução**

Nosso objetivo neste trabalho é propor, através da metodologia da modelagem sistêmica<sup>1</sup>, um sistema composicional hipotético, ou seja, um modelo para o *Ponteio N° 4* de Camargo Guarnieri. Em seguida, a partir desse modelo, planejaremos o segundo movimento de uma nova obra para flauta, fagote e piano,

---

<sup>1</sup> Essa metodologia atualmente integra os projetos de pesquisa desenvolvidos no Programa de Pós-graduação em Música (PPGM), da Escola de Música (EM), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), pelo autor, intitulados "Produção de obras originais a partir da modelagem sistêmica do primeiro caderno de Ponteios de Camargo Guarnieri" e "Modelagem sistêmica a partir de gestos harmônico-melódicos de pequenas peças brasileiras" (Projeto de Iniciação Científica). Uma produção regular vem sendo publicada sobre esse assunto pelo autor e seus orientandos de mestrado e iniciação científica, desde 2011 (Moraes, Pitombeira, Lima, Castro-Lima, Mesquita, Oliveira, Silva, Usai e Kühn, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016).

intitulada *Patrono Quieto*. Essa nova obra, com perfil estético<sup>2</sup> diferenciado em relação à obra modelada, manterá com ela similaridades profundas, ainda que restritas às perspectivas propostas na análise.

A modelagem sistêmica de uma obra consiste de três fases. Na primeira fase, denominada seleção paramétrica, escolhe-se o parâmetro (ou os parâmetros) que será objeto da análise. Os demais parâmetros e particularidades serão desconsiderados. A segunda fase consiste na análise propriamente dita. É nessa fase que se identificam as relações entre os objetos, com base no parâmetro selecionado. A última fase, denominada generalização paramétrica, consiste em desprezar-se os valores particulares dos objetos e concentrar-se unicamente nas relações entre eles. O resultado dessa metodologia é um sistema composicional expresso em um quadro de definições, conjunto de diagramas ou por meio de um algoritmo computacional.

Proposto o sistema composicional, passa-se ao planejamento composicional, o qual também consiste de três fases distintas. Na primeira fase, particularizam-se os valores dos parâmetros, com base nas definições propostas no sistema composicional modelado. Determinados esses valores, a segunda fase consiste na aplicação desses valores no contexto musical de registro e extensão instrumental. Finalmente, procede-se à complementação paramétrica, na qual parâmetros não especificados no sistema composicional são livremente determinados pelo compositor. O resultado desse processo é o que se pode denominar de esqueleto bruto, que passa a ser refinado pelo compositor com elementos adicionais, agógica, ajustes idiomáticos etc. Na próxima seção realizaremos a modelagem sistêmica do *Ponteio N° 4*, de Guarneri.

## **2. Análise do Ponteio N° 4**

A obra de Guarneri, cujos gestos iniciais são mostrados na Fig. 1, pode ser compreendida como a justaposição de duas camadas. A primeira camada consiste em uma linha melódica, que, nos dois compassos iniciais nos remete à simplicidade lírica da toada paulista<sup>3</sup>. Nesse trecho inicial, a linha melódica se acomodaria

---

<sup>2</sup> Denominamos perfil estético o conjunto de características que nos permitem reconhecer uma obra musical em termos de suas sonoridades melódicas e harmônicas, ritmos e timbres.

<sup>3</sup> Ainda que as toadas brasileiras apresentem características musicais variadas, as toadas do centro-sul do Brasil podem ser identificadas pela melodia simples predominantemente em graus conjuntos com caráter dolente (MARCONDES, 1998:776).

satisfatoriamente na tonalidade de Lá bemol maior, para, logo em seguida, encetar um processo gradual de cromatização. A segunda camada consiste em um ostinato que somente cessa na coda. Esse ostinato, como veremos posteriormente pode, por sua vez, ser decomposto em outras duas subcamadas.

**PONTEIO Nº 4**

*à Anna Stella Schic*

Gingando (♩ = 100)

**Figura 1:** Gestos iniciais do *Ponteio Nº 4* de Camargo Guarnieri.

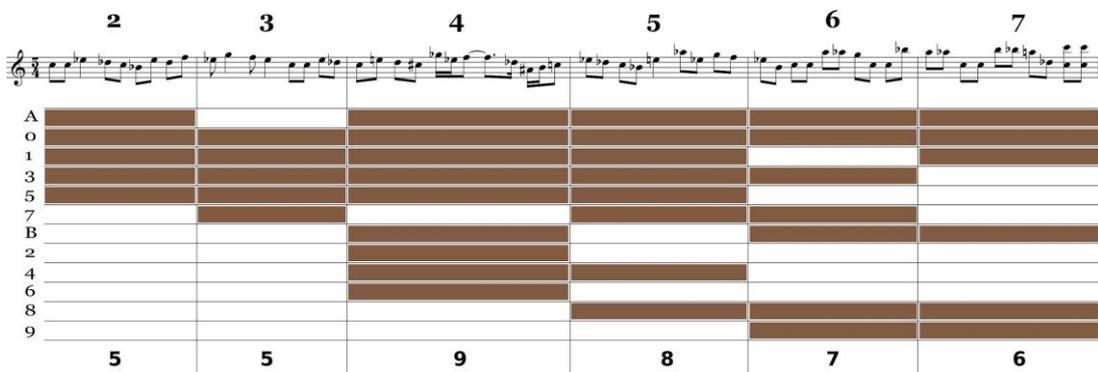
A forma da obra é ABA'+coda. Vale salientar que a seção B tem muita similaridade com a seção A, em termos de materiais. O que nos permite articular a obra em três seções distintas são as seguintes razões bastante sutis, uma vez que não há mudança drástica de centricidade, textura ou figurações rítmicas: 1) apresentação da linha melódica em oitavas na seção B; 2) expansão do impulso melódico (seção B); 3) apresentação de uma das camadas do ostinato em oitavas (seção B); e 4) adição de uma linha melódica contrapontística, na seção A'. A Tab. 1 indica resumidamente a estrutura do *Ponteio Nº 4*. Nas duas próximas seções examinaremos as características de cada camada—linha melódica e ostinato—com o propósito de identificar um modelo hipotético para a obra, com base unicamente no parâmetro altura.

**Tabela 1:** Estrutura do *Ponteio Nº 4* de Camargo Guarnieri.

Seção	Compassos
A	01—07
B	08—13
A'	14—19
Coda	20—22

### 2.1 Camada 1: linha melódica

O procedimento adotado para modelagem da camada melódica (mão direita do piano) é bastante simples. Ao considerar-se uma janela de observação por compasso, realizou-se um inventário das classes de alturas presentes. Assim, no primeiro compasso da linha melódica, que corresponde ao segundo compasso da obra, as únicas classes de altura presentes são <A01357><sup>4</sup>. No compasso seguinte, a classe de altura A é descartada e entra em cena a classe de altura 7, de tal forma que as classes de altura desse terceiro compasso é <01357>. Esse procedimento é realizado para toda a mão direita do *Ponteio N° 4* resultando em uma série de diagramas que serão mostrados durante a análise. Na Fig. 2 temos o diagrama para a linha melódica da seção A. Nesse diagrama temos a indicação do número de compasso no topo, a linha melódica em notação musical, abstraída do contexto da partitura, um gráfico de perfil indicando a entrada e saída das classes de altura, as quais são enumeradas na coluna vertical esquerda do diagrama, por ordem de aparição. Na linha inferior do diagrama, indica-se a quantidade de classes de altura presentes em cada compasso. Observa-se um incremento abrupto na densidade-número seguido de um decréscimo gradual (5 cresce para 9 e, em seguida, decresce para 8, 7 e 6).

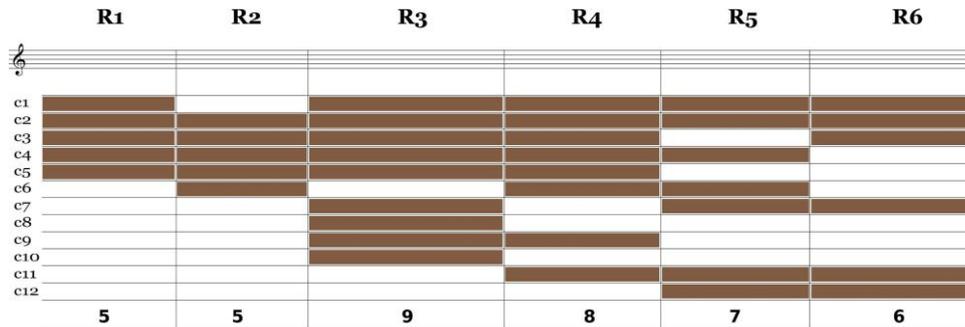


**Figura 2:** Análise da linha melódica da seção A do *Ponteio N° 4* de Camargo Guarnieri.

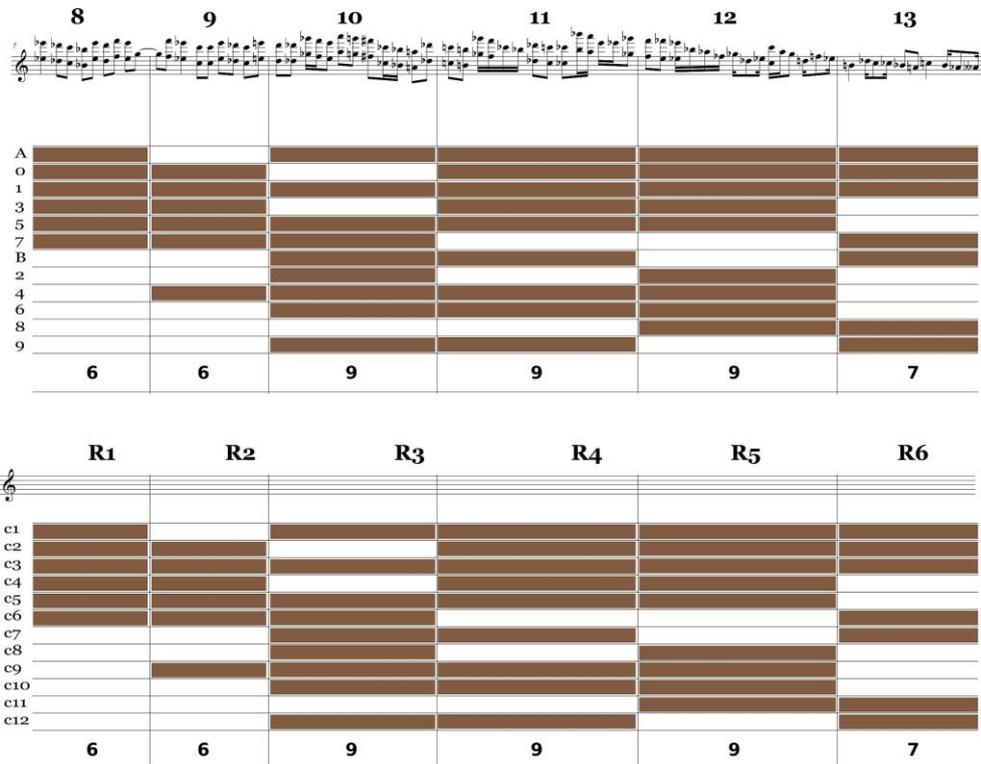
O modelo para a camada melódica da seção A é mostrado na Fig.3. Nesse modelo, os compassos, em termos quantitativos, foram generalizados em regiões (R1, R2 etc.), o que nos permitirá, durante a fase de planejamento composicional, expandir os trechos compostos, em vez de nos limitarmos a apenas um compasso por vez. As

<sup>4</sup> Neste trabalho utilizaremos as seguintes convenções: uma listagem desordenada de classes de alturas, sem preocupação em identificar forma normal ou prima será feita entre os símbolos < e >; as formas normais serão representadas entre parênteses e as formas primas entre colchetes. As classes de altura 10 e 11 serão representadas respectivamente pelas letras A e B.

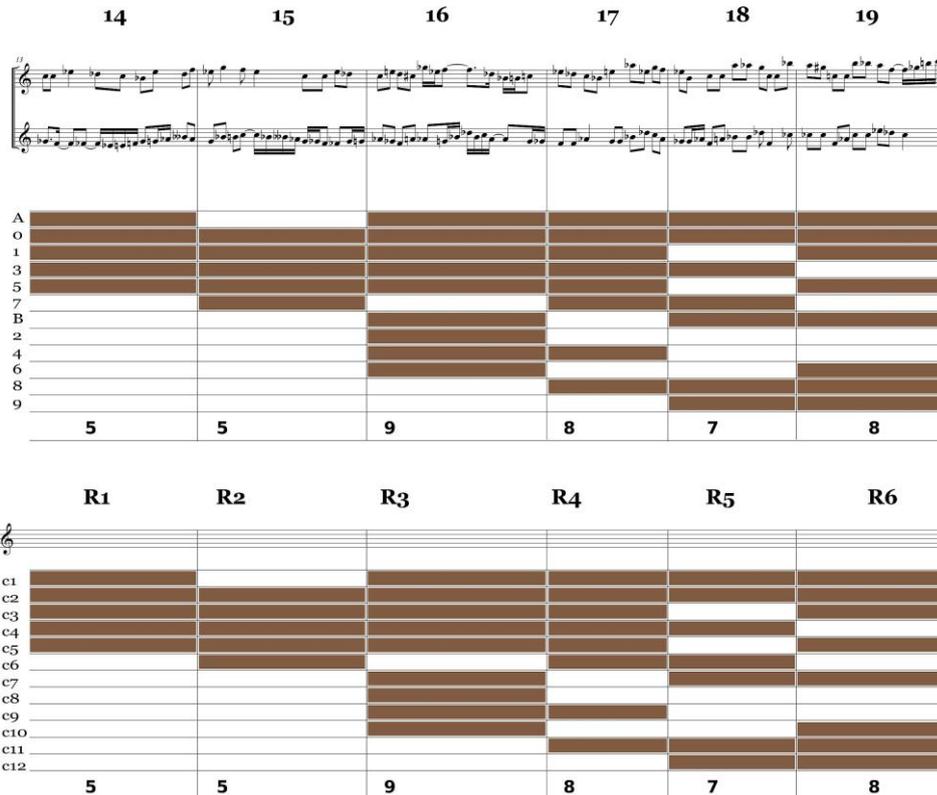
classes de altura também foram generalizadas (c1, c2 etc.). Manteve-se, entretanto, a mesma curva de densidade-número. Os diagramas das figuras 4, 5 e 6 mostram a análise e o modelo para as linhas melódicas das seções B e A'. Para a seção A' a mão direita apresenta uma nova linha melódica em contraponto. Em vista disso, apresentamos, para a seção A', modelos para a parte superior (Fig. 5) da linha melódica (melodia originalmente apresentada na seção A) e para a parte inferior (Fig. 6).



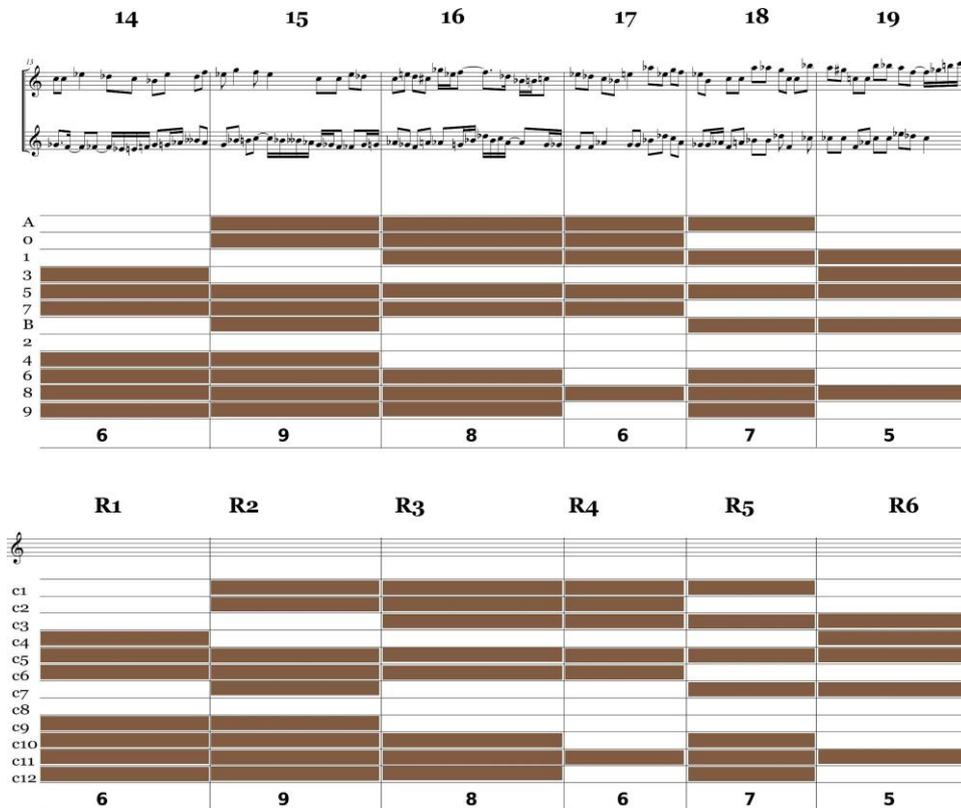
**Figura 3:** Modelo para a linha melódica da seção A do *Ponteio N<sup>o</sup> 4* de Camargo Guarnieri.



**Figura 4:** Análise e Modelo para a linha melódica da seção B do *Ponteio N<sup>o</sup> 4* de Camargo Guarnieri.



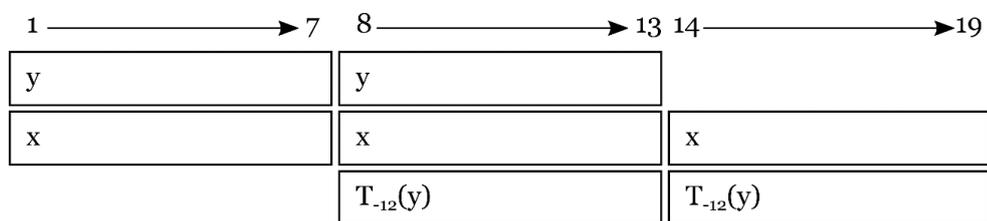
**Figura 5:** Análise e Modelo para a linha melódica superior da seção A' do Ponteio N° 4 de Camargo Guarnieri.



**Figura 6:** Análise e Modelo para a linha melódica inferior da seção A' do Ponteio N° 4 de Camargo Guarnieri.

## 2.2 Camada 2: Ostinato

Na seção anterior modelamos a linha melódica das três seções do *Ponteio* Nº 4, de Guarneri. A estrutura de alturas do ostinato, baseia-se no hexacorde (5689AB), cuja forma prima é [012356]. As três primeiras classes de alturas do hexacorde (5,6,8) formam uma linha melódica, pela ampliação de sua duração. Denominaremos essa linha de durações expandidas de *y*. As demais classes de alturas permanecem na parte grave em figurações rítmicas curtas, formando uma subcamada denominada *x*. As reiterações do ostinato seguem o esquema formal mostrado no diagrama da Fig. 7.



**Figura 7:** Esquema do ostinato do Ponteio Nº 4 de Camargo Guarneri.

Os diagramas propostos nas seções 2.1 e 2.2, bem como a estrutura mostrada na Tab. 1, constituem o sistema composicional do Ponteio Nº 4, de Camargo Guarneri. Com base nesses diagramas iniciaremos o planejamento composicional de uma nova obra.

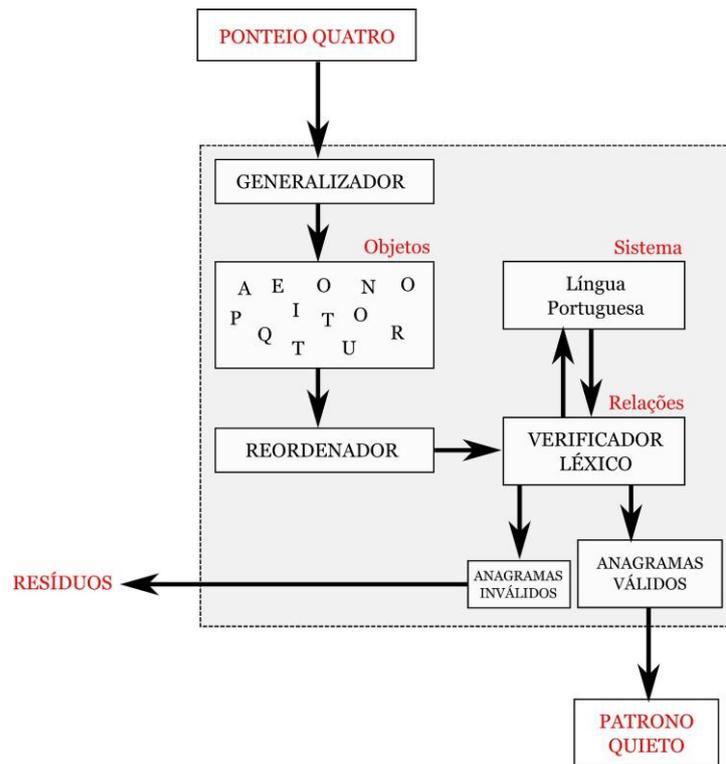
## 3. Planejamento composicional do 2º mov. de *Patrono Quieto*

Nesta seção, planejaremos o segundo movimento de uma obra para flauta, fagote e piano, utilizando como ponto de partida o sistema composicional do Ponteio Nº 4, de Guarneri, modelado na seção 2 deste trabalho. A obra terá dois movimentos denominados Noturno<sup>5</sup> e Perpétuo. Inicialmente, devemos mencionar que o próprio título da nova obra—*Patrono Quieto*—também foi gerado por modelagem. A expressão “ponteio quatro” foi submetida a um gerador de anagramas<sup>6</sup>, com algoritmo de verificação léxica em português. Um gerador de anagramas generaliza a ordem das letras constituintes de uma palavra, as reordena e verifica se a nova palavra resultante pertence ao léxico de determinada língua. Palavras não validades de acordo com as

<sup>5</sup> O primeiro movimento reutiliza materiais do segundo movimento e também citações deformadas do *Noturno* Op. 32, Nº 9 de Chopin.

<sup>6</sup> Disponível em <http://www.wordsmith.org/anagram/>, consultado em 17.06.2016

regras léxicas são eliminadas. Assim, as letras são os objetos, as palavras são os objetos concatenados por meios de relações léxicas válidas de acordo com um sistema linguístico. O sistema de um anagrama pode ser observado na Fig. 8. Dentre as dezenas de resultados fornecidas pelo gerador de anagramas<sup>7</sup>, selecionamos a expressão “patrono quieto”.



**Figura 8:** Modelo de um gerador de anagramas.

O primeiro passo no planejamento consistiu na elaboração do ostinato, de acordo com as restrições descritas no esquema da Fig. 7. Para isso, escolhemos um hexacorde inicial, (014589), e uma métrica (9/8). Também designamos três classes de altura desse conjunto para ser submetidas à expansão duracional (4,5,8)<sup>8</sup>. Em seguida definimos que o ostinato manterá a mesma forma prima, [014589], durante toda a duração da obra, mas as formas normais serão alteradas ascendentemente por transposição de classe intervalar 1 (T1). A distribuição desse ostinato seguiu o mesmo

<sup>7</sup> Quota Ponteio, Equipa No Torto, Quietar No Topo, Quietar Ponto O, Quaterno Tipo O, Tanque Pio Toro, Tanque Rio Topo, Era Quinto Topo, Ai Porque Tonto, Ai Troque Ponto, Ai Toque Pronto, Piano Que Torto, Tirano Que Topo, Rotina Que Topo, Titano Que Opor, Piora Que Tonto, Apito Que Trono, Aqui Tenor Topo etc.

<sup>8</sup> No *Ponteio N° 4* as classes de altura escolhidas para expansão foram as três primeiras. No caso do planejamento do segundo movimento de *Patrono Quietto*, generalizamos a restrição e escolhemos três classes quaisquer.

esquema do ostinato de Guarnieri, mostrado na Fig. 7. O diagrama da Fig. 10 mostra um quadro comparativo entre os ostinatos de Guarnieri para as três seções e como aplicamos em nossa obra.

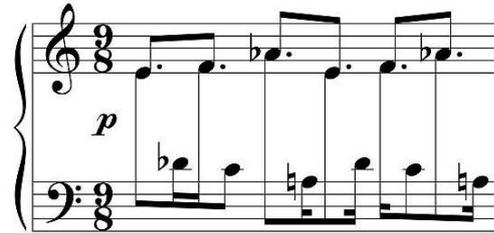


Figura 9: Ostinato do segundo movimento de *Patrono Quieto*.

*Ponteio N° 4* A B A'

Gingando (♩ = 100)

1	7	8	13	14	19
y		y			
x		x		x	
		$T_{-12}(y)$		$T_{-12}(y)$	

*Patrono Quieto*

Figura 10: Quadro comparativo entre os ostinatos do *Ponteio N° 4* e do segundo movimento de *Patrono Quieto*.

O segundo passo no planejamento consistiu na determinação das classes de alturas e da dimensão das regiões da camada melódica, considerando que a forma da nova obra será a mesma forma do *Ponteio N° 4*. Cada região na nova obra corresponderá a três compassos. As classes de altura escolhidas são: <3478B0569A12>. Cada hexacorde desse conjunto cromático pertence à classe de conjuntos [014589]. Esses dados são aplicados aos modelos da camada melódica do *Ponteio N° 4*, mostrados nas figuras 3, 4, 5 e 6. O diagrama da Fig. 11 mostra o

planejamento da linha melódica da seção A e a Fig. 12 mostra o trecho melódico criado a partir das restrições de planejamento<sup>9</sup>.

O mesmo procedimento foi realizado para as linhas melódicas das seções B e A', considerando que na seção A' temos duas linhas melódicas: uma recorrência da linha melódica da seção A e uma nova linha que realiza contraponto com a primeira.

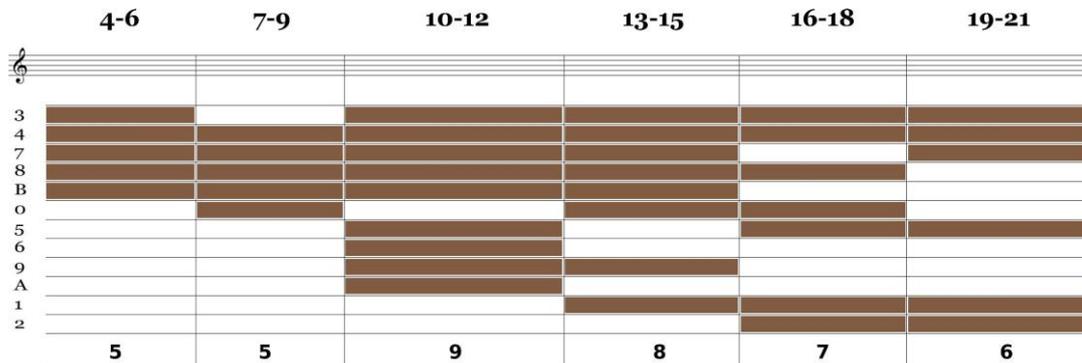


Figura 11: Planejamento da camada melódica da seção A do segundo movimento de *Patrono Quietto*.



Figura 12: Trecho melódico das três primeiras regiões da seção A do segundo movimento de *Patrono Quietto*.

<sup>9</sup> A primeira região se inicia no compasso 4 porque, assim como o *Ponteio N° 4*, o segundo movimento de *Patrono Quietto* apresenta uma introdução. No caso do *Ponteio* essa introdução é de um compasso; no caso de *Patrono*, de três, em virtude da dimensão da região ser três compassos.

## 2. Perpétuo

**Figura 13:** Gestos iniciais de *Perpétuo*, segundo movimento de *Patrono Quieto*.

## 4. Considerações finais

Descrevemos nesse trabalho os procedimentos de planejamento composicional de uma obra original a partir da metodologia de modelagem sistêmica, através da qual modelamos o *Ponteio N° 4*, de Guarnieri. A modelagem produziu como resultado um sistema composicional hipotético declarado através de um conjunto de diagramas. A partir desses diagramas, com informações generalizadas e esvaziadas de aspectos estéticos de superfície com relação à obra modelada, nos foi possível elaborar uma nova obra aparentada em nível profundo com o modelo. A solução apresentada aqui é apenas uma dentre as várias possibilidades e não pretende propor uma estrutura arquetípica para toda a produção guarnieriana; pelo contrário, é singular e diz respeito unicamente ao caso estudado. Essa metodologia é de utilidade especialmente no campo da pedagogia da composição, uma vez que, além de colocar o jovem compositor em contato íntimo com obras de outros compositores, encoraja o desenvolvimento de

estratégias de planejamento composicional, que podem ser muito úteis na vida profissional.

### **Referências:**

LIMA, F. F.; PITOMBEIRA, Liduino. *Desenvolvimento de Sistemas Composicionais a partir da Intertextualidade*. In: XX Congresso da ANPPOM, 2010, Florianópolis, SC. Anais do XX Congresso da ANPPOM, 2010.

MARCONDES, Marco Antônio. *Enciclopédia da Música Brasileira: Erudita, Folclórica e Popular*. 2ª Ed. São Paulo: Art Editora, 1998.

MORAES, P. M.; CASTRO, G.; PITOMBEIRA, Liduino. Procedimentos Composicionais utilizados no Ponteio Nº 2 de Pedro Miguel a partir da modelagem do Ponteio Nº 12 de Camargo Guarnieri. *Per Musi* (UFMG), v. 27, p. 61-74, 2013.

MORAES, P. M.; PITOMBEIRA, Liduino. Composição do Ponteio Nº 5 de Pedro Miguel a partir da Modelagem Sistêmica do Ponteio Nº 15 de Camargo Guarnieri. *Música Hodie*, v. 13, p. 8-33, 2013.

MORAES, P. M.; PITOMBEIRA, Liduino. Planejamento Composicional do Ponteio Nº 1 de Pedro Miguel a partir da Modelagem do Ponteio Nº 11 de Guarnieri. *Revista Música*, v. 13, p. 136-154-154, 2012.

PITOMBEIRA, Liduino. Modelagem sistêmica do Ponteio N.2 de Camargo Guarnieri segundo a teoria dos contornos. *Revista Brasileira de Música* (Rio de Janeiro. 1934), v. 28, p. 331-348, 2015.

PITOMBEIRA, Liduino; KÜHN, Max; USAI, Claudia. *Modelagem sistêmica do primeiro movimento de Brinquedo de Roda, de Heitor Villa-Lobos, como uma metodologia para o planejamento composicional de Villa*. Anais do XXVI Congresso da ANPPOM. Porto Alegre: ANPPOM, 2016. p. 1.

PITOMBEIRA, Liduino; LIMA, M. M. C.; MADDALENA, G. M. *Composição do primeiro movimento de Sonatina, para tuba e piano, de Marcel Castro-Lima, a partir da modelagem sistêmica do Ponteio 23 de Camargo Guarnieri*. Anais do XXVI Congresso da ANPPOM. Porto Alegre: ANPPOM, 2016. p. 1.

PITOMBEIRA, Liduino; LIMA, M. M. C. *Composition of Two Works for Woodwind Quintet based on the Systemic Modelling of Guarnieri's Ponteio No. 25*. Anais do XXV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música, 2015.

## Da não repetição de tricordes em séries dodecafônicas: construção, propriedades e aplicações

Marcelo Birck

*Universidade Federal de Santa Maria – eletrolas@gmail.com*

João Lazzarin

*Universidade Federal de Santa Maria – lazzarin@smail.ufsm.br*

**Resumo:** O artigo apresenta resultados parciais de uma investigação sobre séries de doze sons que contenham os 12 tricordes da classificação de Allen Forte, sem que nenhum deles se repita. Estão incluídas tabelas que demonstrem propriedades matemáticas, e breves exemplos musicais. Também são abordadas descobertas imprevistas surgidas ao longo da pesquisa, em afinidade com o fenômeno conhecido por serendipidade.

**Palavras-chave:** Teoria dos conjuntos. Serendipidade. Composição Musical.

### **Ordering of All 12 Forte's Trichords Inside a Single Twelve-Tone Row: Construction, Properties and Applications**

**Abstract:** This article presents a research in which dodecaphonic series are built in such a way that uses all 12 trichords of Allen Forte's set theory, without any repetition of the trichords along the series. The text also includes tables showing mathematical properties of these series, and some brief musical examples. Unexpected findings are also discussed, in affinity with the phenomenon known as serendipity.

**Keywords:** Set theory. Serendipity. Musical Composition.

### **1. Introdução**

Este artigo apresenta resultados parciais de uma pesquisa sobre séries dodecafônicas formadas pelo total dos doze tricordes da classificação de Allen Forte, sem que nenhum deles se repita. Para tanto, o método combinou testes baseados na tentativa e erro com a implementação de um algoritmo no ambiente Code::Blocks, que verificou todas as 479.001.600 permutações da escala cromática. Realizados em paralelo, cada um destes procedimentos favoreceu resultados específicos. Enquanto a tentativa e erro proporcionou descobertas inesperadas pelo fato de envolver etapas intermediárias, o algoritmo conduziu diretamente à identificação de 192 séries (excluídas as transposições), as quais se reduzem a quatro séries matriz por meio das operações de inversão, retrogradação, retrogradação da inversão e rotação (tab. 1)

**Tabela 1:** Listagem das séries matriz com indicação dos tricordes.

Série A	0	1	3	2	10	6	4	11	8	5	9	7	0	1
Conjuntos Rotação 0		[0 1 3]		[0 4 8]		[0 3 7]		[0 2 4]						
Conjuntos Rotação 1			[0 1 2]		[0 2 6]		[0 3 6]		[0 2 5]					
Conjuntos Rotação 2				[0 1 5]		[0 2 7]		[0 1 4]		[0 1 6]				

Série B	0	1	3	8	11	2	10	6	4	5	9	7	0	1
Conjuntos Rotação 0		[0 1 3]		[0 3 6]		[0 2 6]		[0 2 4]						
Conjuntos Rotação 1			[0 2 7]		[0 1 4]		[0 1 2]		[0 2 5]					
Conjuntos Rotação 2				[0 3 7]		[0 4 8]		[0 1 5]		[0 1 6]				

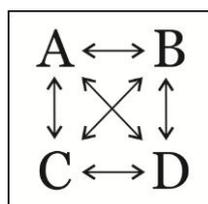
  

Série C	0	1	3	11	4	6	10	2	5	8	9	7	0	1
Conjuntos Rotação 0		[0 1 3]		[0 2 7]		[0 3 7]		[0 1 2]						
Conjuntos Rotação 1			[0 2 4]		[0 2 6]		[0 3 6]		[0 2 5]					
Conjuntos Rotação 2				[0 1 5]		[0 4 8]		[0 1 4]		[0 1 6]				

Série D	0	1	3	11	8	5	4	6	10	2	9	7	0	1
Conjuntos Rotação 0		[0 1 3]		[0 3 6]		[0 2 6]		[0 2 7]						
Conjuntos Rotação 1			[0 2 4]		[0 1 4]		[0 4 8]		[0 2 5]					
Conjuntos Rotação 2				[0 3 7]		[0 1 2]		[0 1 5]		[0 1 6]				

Ao abarcar o total das combinações de notas em grupos de três, tais séries se mostram consideravelmente versáteis. Quando comparadas, apresentam segmentações que revelam que o princípio construtivo assimétrico (a não repetição de tricordes) comporta várias recorrências estruturais não previstas. Por exemplo, enquanto as formas derivadas (inversão, retrogradação, retrogradação da inversão, e rotações) apontam diretamente para a forma original da série, a relação entre as quatro séries matriz é comparável a uma cadeia de remissões circulares e não hierárquicas. A está para B assim como C está para D; similarmente, A está para C assim como B está para D, e assim por diante, conforme o quadro a seguir:



**Figura 1:** Tétrade de relações entre as séries matriz.

As hipóteses que conduziram aos nossos resultados começaram a ser testadas tão logo ocorreram as intuições iniciais, sendo que a maior parte da pesquisa bibliográfica se deu após a identificação das séries e suas propriedades, e das descobertas inesperadas surgidas por tentativa e erro. Até o fechamento deste artigo, o caso mais próximo que encontramos foi o “*all-trichord set*” (DEMBSKI, BABBITT, STRAUS, 1987; MORRIS, 2007; MEAD, 1984; STARR, 1984), proposto pelo compositor norte-americano Milton Babbitt. Porém, tais séries diferem das séries matriz pela ausência de [0 3 6] e [0 4 8], conforme demonstra o caso abaixo (no qual se repetem [0 2 5] e [0 1 5]):

**Tabela 2:** Análise dos tricordes de um dos possíveis *all-trichord set*.

All-trichord set	0	1	11	3	8	10	4	9	7	6	2	5	0	1
Conjuntos Rotação 0		[0 1 2]		[0 2 7]		[0 2 5]		[0 1 4]						
Conjuntos Rotação 1			[0 2 4]		[0 2 6]		[0 1 3]		[0 2 5]					
Conjuntos Rotação 2				[0 3 7]		[0 1 6]		[0 1 5]		[0 1 5]				

Babbitt não considerou tais ausências como relevantes, por razões também salientadas por Mead (1984, p. 323-324). [0 3 6] é o único caso que não permite construir uma série a partir de um mesmo tricorde, e [0 4 8] é ambíguo em função da sua simetria. Segundo Babbitt, “*we could get them, too, by going around the corner, linking end to beginning, but who needs them?*” (BABBITT, 1987, p. 106). Encontramos ainda breves menções ao termo “*all-trichord ring*” (MEAD, 1985; BARBER, 2012), referente ao engate entre final e início da série (o que permite completar o total de tricordes). Como os autores não entram em maiores detalhes, qualquer contribuição no sentido de indicar fontes adequadas será muito bem-vinda.

Por fim, gostaríamos de agradecer o apoio dos professores Edson Sydney, do Departamento de Matemática da UFSM, e Lucius Motta, do Bacharelado em Oboé da mesma universidade, em cuja palestra sobre a Sonatina para Piano e Oboé de Cláudio Santoro ocorreu a intuição para nossa pesquisa.

## 2. Segmentação, simetrias e remissões

Visando salientar afinidades e simetrias, a tabela a seguir apresenta as séries ordenadas a partir do número 9:

**Tabela 3:** Séries dispostas de forma a salientar recorrências, simetrias e espelhamentos.

A	9	7	0	1	3	2	10	6	4	11	8	5
B	9	7	0	1	3	8	11	2	10	6	4	5
C	9	7	0	1	3	11	4	6	10	2	5	8
D	9	7	0	1	3	11	8	5	4	6	10	2

[0 1 3 7]
[0 1 4 6]

As sequências finais de 7 notas definem várias das relações entre as séries. Por exemplo, a segunda parte da série A é uma das rotações da retrogradação da segunda parte de C. E se considerarmos 5 e 11 como equivalentes (aspecto reforçado na redução ao módulo 6, que abordaremos mais adiante), a segunda parte de A surge como rotação da segunda parte de B, e também como retrogradação de D. Tais parentescos permitem organizar a parte final das séries como uma espiral espelhada:

**Tabela 4:** Disposição em espiral da segunda parte da tabela de séries matriz.

A	9	7	0	1	3	2	10	6	4	11	8	5
B	9	7	0	1	3	8	11	2	10	6	4	5
C	9	7	0	1	3	11	4	6	10	2	5	8
D	9	7	0	1	3	11	8	5	4	6	10	2

Nos exemplos seguintes, as duas partes de A estão distribuídas entre as linhas. Na figura 2, o acompanhamento incorpora as sequências finais de B, C e D:

**Exemplo 1**



**Exemplo 2**

Outras afinidades são reveladas com a contraposição das séries duas a duas, sugerindo segmentações que demonstram a remissão das séries umas às outras:

**Tabela 5:** Análise gráfica de afinidades entre as séries matriz.

A	5 9 7 0 1 3	2 10 6 4	(11 8)	A	9 7 0 1 3	2 10 6 4	(11 8 5)
B	5 9 7 0 1 3	(8 11)	2 10 6 4	D	9 7 0 1 3	(11 8 5)	4 6 10 2
C	9 7 0 1 3 11	4 6 10 2	(5 8)	B	9 7 0 1 3	(8 11)	2 10 6 4 (5)
D	9 7 0 1 3 11	(8 5)	4 6 10 2	C	9 7 0 1 3	(11 4 6 10 2)	(5 8)
A	9 7 0 1 3	2 10 (6) 4 11	(8 5)	B	(8 11)	2 10 (6) 4 5	9 7 0 1 3
C	9 7 0 1 3	11 4 (6) 10 2	(5 8)	D	(11 8)	5 4 (6) 10 2	9 7 0 1 3

Reforçando a ideia de remissão, a sequência 9 - 7 - 0 - 1 - 3 surge invertida ao longo das notas restantes: 8 - 10 - 5 - 4 - 2 nas séries A e B, e 2 - 4 - 11 - 10 - 8 em C e D (sendo 5 e 11 equivalentes, tais sequências são retrogradação uma da outra). A tabela abaixo demonstra tal aspecto, indicando também espelhamentos:

A	9 7 0 1 3	(2) 10 6 4 11 8 (5)	B	9 7 0 1 3	(8) 11 2 10 6 4 5
D	9 7 0 1 3	(11) 8 5 4 6 10 (2)	C	9 7 0 1 3	(11) 4 6 10 (2) 5 8

**Tab. 6:** Espelhamentos baseados na inversão da sequência inicial que surge ao longo da segunda parte.

Outra propriedade observada: aplicadas ao círculo das quintas, as séries A e C se transformam nas rotações 12 da retrogradação de D e B, respectivamente:

**Tabela 7:** Aplicação das séries ao círculo das 5<sup>as</sup>.

Escala cromática	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Círculo das 5 <sup>as</sup>	0	7	2	9	4	11	6	1	8	3	10	5
Série A	0	1	3	2	10	6	4	11	8	5	9	7
Série A aplicada ao círculo das 5 <sup>as</sup> = rotação 12 da retrogradação de D	0	7	9	2	10	6	4	5	8	11	3	1
Série C	0	1	3	11	4	6	10	2	5	8	9	7
Série C aplicada ao círculo das 5 <sup>as</sup> = rotação 12 da retrogradação de B	0	7	9	5	4	6	10	2	11	8	3	1

Note-se que 9 – 7 – 0 – 1 – 3 se transforma na sua retrogradação, enquanto que nas notas restantes a única mudança é a troca do 5 por 11, e vice-versa.

Nas tabelas a seguir as séries estão divididas em grupos de 6 notas, com as recorrências de grupos indicadas de forma a revelar espelhamentos entre as séries. Salientamos nas séries B e C o grupo [0 1 2 4 7 8], que contém todos os tricordes, e seu complementar [0 1 2 5 6 8], contido em todos os nonacordes (complementares dos tricordes):

**Tabela 8:** Segmentação das séries em hexacordes.

Série A: 9 7 0 1 3 2 10 6 4 11 8 5

NOTAS	CONJUNTOS	VETORES	CONJUNTOS	NOTAS
9 – 7 – 0 – 1 – 3 – 2	[0 1 2 3 6 8]	6 – z41	<332232>	10 – 6 – 4 – 11 – 8 – 5
7 – 0 – 1 – 3 – 2 – 10	[0 1 2 3 5 8]	6 – z40	<333231>	6 – 4 – 11 – 8 – 5 – 9
0 – 1 – 3 – 2 – 10 – 6	[0 2 3 4 5 8]	6 – z39	<333321>	4 – 11 – 8 – 5 – 9 – 7
1 – 3 – 2 – 10 – 6 – 4	[0 2 3 4 5 8]	6 – z39	<333321>	11 – 8 – 5 – 9 – 7 – 0
3 – 2 – 10 – 6 – 4 – 11	[0 1 4 5 6 8]	6 – 16	<322431>	8 – 5 – 9 – 7 – 0 – 1
2 – 10 – 6 – 4 – 11 – 8	[0 1 3 5 7 9]	6 – 34	<142422>	5 – 9 – 7 – 0 – 1 – 3

Série D: 9 7 0 1 3 11 8 5 4 6 10 2

NOTAS	CONJUNTOS	VETORES	CONJUNTOS	NOTAS
9 – 7 – 0 – 1 – 3 – 11	[0 2 3 4 6 8]	6 – 21	<242412>	8 – 5 – 4 – 6 – 10 – 2
7 – 0 – 1 – 3 – 11 – 8	[0 1 4 5 6 8]	6 – 16	<322431>	5 – 4 – 6 – 10 – 2 – 9
0 – 1 – 3 – 11 – 8 – 5	[0 1 2 4 6 9]	6 – z46	<233331>	4 – 6 – 10 – 2 – 9 – 7
1 – 3 – 11 – 8 – 5 – 4	[0 1 2 4 6 9]	6 – z46	<233331>	6 – 10 – 2 – 9 – 7 – 0
3 – 11 – 8 – 5 – 4 – 6	[0 1 2 3 5 8]	6 – z40	<333231>	10 – 2 – 9 – 7 – 0 – 1
11 – 8 – 5 – 4 – 6 – 10	[0 1 2 4 6 7]	6 – z12	<332232>	2 – 9 – 7 – 0 – 1 – 3



**Tabela 10**

Notas	Conjunto	Vetor
9 - 7 - 0 - 1	[ 0 1 4 6 ]	<1, 1, 1, 1, 1, 1>
7 - 0 - 1 - 3	[ 0 1 3 7 ]	<1, 1, 1, 1, 1, 1>

### 3. Descobertas paralelas

Conforme já apontado, a tentativa e erro conduziu a algumas ocorrências de serendipidade, gerando toda uma reflexão sobre a eficácia relativa de métodos que priorizam resultados pré-concebidos com base na eliminação de etapas. Mesmo que sem relação direta com o propósito original, apresentamos a seguir um possível sistema de hierarquização de tricordes inseridos em um contexto cromático.

Visando eliminar possibilidades e facilitar cálculos, nas etapas iniciais da pesquisa testou-se a combinação dos grupos de forma a não repetir notas. No quadro abaixo, vemos três encaixes de [0 1 2] a partir de uma única ocorrência de [0 4 8]:

**Tabela 11**

<i>Escala Cromática</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Grupo Referência</i>	0				4				8			
<i>Transposições possíveis grupo [0 1 2]</i>		1	2	3								
						5	6	7				
										9	10	11

Nesta fase, levantou-se a hipótese de que nas séries matriz [0 4 8] e [0 1 2] necessariamente estariam relacionados de alguma das maneiras acima expostas. Ainda que para outras combinações tal suposição seja válida, neste caso específico ela não se confirmou: os resultados fornecidos pelo algoritmo viriam a demonstrar que nas séries A, B e D tricordes [0 4 8] e [0 1 2] apresentam elementos em comum. Porém, a visualização da tabela foi suficiente para sugerir que o [0 4 8], construído de maneira distinta dos demais, poderia atuar como um polo de atração, de forma similar a um centro tonal:



**Exemplo 4**

Nove combinações com outros tricordes mantêm esta característica: além do [0 1 2], também [0 1 3], [0 1 4], [0 1 5], [0 1 6], [0 2 5], [0 2 7], [0 3 6] e [0 3 7] permitem apenas uma transposição de [0 4 8]. Salientamos a peculiaridade da combinação com [0 1 3], na qual surgem dois grupos de acordes secundários:

**Tabela 12**

<i>Escala Cromática</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Grupo Referência</i>	0				4				8			
<i>Possibilidades grupo [0,1,3]</i>			2	3	5							
				3	5	6						
							6	7	9			
								7	9	10		
		1									10	11
		1	2									

Tais características apontaram a possibilidade de construção de séries com partes móveis, a partir da transposição de grupos de forma a manter inalterado um grupo de referência. Na tabela abaixo, vemos o [0 4 8] conectado às três possíveis transposições de [0 1 2]. Por sua vez, cada uma destas conduz a seis outras possibilidades, que também apresentam a sua sequência específica de conjuntos. Em outras palavras, enquanto [0 4 8] possui sempre as mesmas notas, os demais grupos

mantêm o conteúdo intervalar, porém podem variar as alturas. Temos assim 18 bifurcações possíveis a partir de um grupo central:

**Tabela 13**

12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
[0, 4, 8]	[0, 1, 2]	[0, 1, 3]	[0, 1, 4]	[0, 1, 5]	[0, 1, 6]	[0, 2, 4]	[0, 2, 5]	[0, 2, 6]	[0, 2, 7]	[0, 3, 6]	[0, 3, 7]	
0, 4, 8	1, 2, 3	6, 7, 9			5, 10, 11							
		7, 9, 10			5, 6, 11							
			6, 9, 10						5, 7, 11			
			6, 7, 10						5, 9, 11			
				5, 6, 10				7, 9, 11				
				6, 10, 11				5, 7, 9				
	5, 6, 7	1, 10, 11				2, 3, 9						
		1, 2, 11				3, 9, 10						
			1, 2, 10						3, 9, 11			
			2, 10, 11						9, 1, 3			
				2, 9, 10				1, 3, 11				
				2, 3, 10				1, 9, 11				
	9, 10, 11	2, 3, 5				1, 6, 7						
		3, 5, 6				1, 2, 7						
			2, 5, 6						1, 3, 7			
			2, 3, 6						1, 5, 7			
				1, 2, 6				3, 5, 7				
				2, 6, 7				1, 3, 5				

#### 4. Considerações Finais

Conforme salientado, o que aqui apresentamos são resultados parciais de uma pesquisa cuja maior complexidade é justamente o trabalho integrado de músicos e matemáticos: o que para um ramo se apresenta como óbvio, para o outro pode parecer hermético. Indo além dos objetivos inicialmente propostos, a abordagem não-linear para identificação das séries matriz tem se mostrado capaz de oportunizar possibilidades criativas imprevistas, algumas delas descritas de forma resumida neste artigo.

#### Referências:

FORTE, Allen; *The Structure of Atonal Music*. London: Yale University Press, 1977.  
 BABBITT, Milton; DEMBSKI, Stephen; STRAUS, Joseph N.; *Milton Babbitt: Words about Music*. Wisconsin: University of Wisconsin Press, 1987.

- MORRIS, Robert; *Mathematics and the Twelve-Tone System: Past, Present, and Future*. Perspectives of New Music, Vol. 45, No. 2, p. 76-107, 2007
- MEAD, Andrew; *Twelve-Tone Composition and the Music of Elliot Carter*. In: MARVIN, Elizabeth West; HERMANN, Richard; *Concert Music, Rock, and Jazz Since 1945: Essays and Analytical Studies*. Rochester: University of Rochester Press, 1995.
- STARR, Daniel; *Derivation and Polyphony*. Perspectives of New Music, Vol. 23, nº 1, p. 180-257, 1984.
- MEAD, Andrew; *Recent Developments in the Music of Milton Babbitt*. The Musical Quarterly, Oxford, Vol. 70, No. 3, p. 310-331, 1984.
- BARBER, Matthew; *Call It What You Will (2012) - In Memoriam Milton Babbitt*. Disponível em: [http://ecmc.rochester.edu/mbarb/web/notes/notes.php?piece=call\\_it\\_what\\_you\\_will](http://ecmc.rochester.edu/mbarb/web/notes/notes.php?piece=call_it_what_you_will) Acesso em: 04 nov. 2016.

## Harmonização musical automática: tendências em inteligência computacional

*Nicolás Andrés Espinoza Santibáñez*  
*Universidade Federal do Rio de Janeiro – nicolas.espinoza@smt.ufrj.br*

*Luiz Wagner Pereira Biscainho*  
*Universidade Federal do Rio de Janeiro – wagner@smt.ufrj.br*

**Resumo:** Este trabalho apresenta um breve levantamento das estratégias mais representativas da inteligência computacional aplicadas à harmonização musical automática nas últimas três décadas, procurando contextualizar o desenvolvimento atual deste campo de pesquisa, as suas preocupações e para onde ele se dirige. Um resumo com essa abrangência não está disponível na literatura, e sua elaboração foi motivada pelas necessidades da pesquisa dos autores no tema.

**Palavras-chave:** Harmonização automática. Inteligência computacional. Inteligência artificial simbólica. Métodos de otimização. Aprendizado de máquina.

### **Automatic Musical Harmonization: Trends on Computational Intelligence**

**Abstract:** This work presents a brief survey on the most representative computational intelligence strategies applied to automatic musical harmonization of the last three decades, in order to contextualize the current development and concerns of this research field, and where it is headed. Such an encompassing overview is not available in the literature, and its elaboration was motivated by the authors' research needs.

**Keywords:** Automatic harmonization. Computational intelligence. Symbolic artificial intelligence. Optimization methods. Machine learning.

### **1. Introdução**

A harmonização musical automática é um subcampo da computação musical no qual várias técnicas da inteligência computacional têm sido exploradas para a criação automática de acompanhamento polifônico para uma determinada linha melódica de entrada, incluindo representações gramaticais, sistemas baseados em regras, algoritmos evolutivos, problemas de satisfação de restrições, redes neurais e métodos probabilísticos.

Uma categorização hierárquica da literatura existente não é uma tarefa fácil ou simples, existindo sobreposições entre as definições de alguns métodos e considerável hibridização entre eles. Por exemplo, pode-se formular máquinas de Boltzmann, autômatos finitos e gramáticas estocásticas como modelos de Markov, assim como se pode categorizar sistemas de autossimilaridade como gramáticas de sistemas Lindenmayer. Exemplos de métodos híbridos são algoritmos evolutivos com sistemas baseados em regras e cadeias de Markov com satisfação de restrições.

Excelentes análises exaustivas são apresentadas por Nierhaus (2009) e Fernández e Vico (2013).

A abordagem básica tem sido a de capturar as regras necessárias para a formação adequada de estruturas musicais, e gerar notas que satisfazem estas regras. Mas essas regras não constituem um algoritmo de composição completo, sendo apenas especificações de combinações proibidas consideradas dissonantes ou desagradáveis para o ouvido, e o cumprimento destas regras não garante resultados significativos ou interessantes; analogamente à linguagem, essas regras são apenas sintaxe.

Wiggins (1999) revisa algumas estratégias de harmonização automática, levantando a questão sobre o que falta na geração automática de harmonia para fazer uma peça digna de ser ouvida, afirmando que a harmonização não é apenas colocar as notas em acordo com um conjunto de regras harmônicas, mas também a criação de uma estrutura musical que estabelece uma intenção, sugerindo a necessidade de considerar estruturas musicais em diferentes níveis. Ele introduz o conceito de estrutura musical como o que distingue a música do som, e exemplifica seus diferentes níveis através da sonata como uma forma clássica bem circunscrita, e as progressões harmônicas como um nível de estrutura local. Wiggins (1999) alega que a relação temporal entre as diferentes seções de uma peça é o aspecto mais importante da estrutura musical em todos os seus níveis na harmonização automática, estabelecendo uma relação entre estrutura e tensão musical relacionada com o nível de realização harmônica percebida em uma frase musical, o nível de dissonância local e a estrutura rítmica da passagem prévia.

A essência dessas ideias é, de alguma forma, compartilhada por Pachet e Roy (2001), e conceitos tais como estrutura musical e intenção são o fio condutor da pesquisa realizada durante a última década na busca de resultados com maior valor artístico.

Este documento faz uma breve revisão da literatura sobre aplicações da inteligência computacional na harmonização automática desenvolvida nos últimos trinta anos. Casos representativos de abordagens da inteligência artificial simbólica e métodos de otimização são apresentados a fim de contextualizar o desenvolvimento da pesquisa atual e sua direção, alguns com maior detalhe que outros. Em sua pesquisa no tema de harmonização automática de choro, os autores não encontraram disponível na literatura um trabalho com esse viés, o que motivou a preparação deste texto.

## **2. Inteligência artificial simbólica**

### **2.1 Métodos baseados em gramáticas**

Estratégias gramaticais são baseadas na suposição de que a estrutura musical é, em linhas gerais, análoga à estrutura da linguagem, tornando assim possíveis descrições por meios semelhantes. Apesar de essa analogia ser válida apenas dentro de certos limites, sendo enganosa se for superestimada, as gramáticas apresentam utilidade na modelagem das convenções harmônicas, e na captura de estilos específicos e variações de forma natural.

Steedman (1996) utilizou um formalismo gramatical para capturar o estilo básico do *Blues* de 12 compassos por meio de uma “semântica musical” com base na noção de expectativa harmônica no espaço de harmonia tonal de Longuet-Higgins (1962), o que pode dar uma sensação de intenção musical. Um resultado satisfatório do trabalho é a capacidade de modificar formas particulares preservando o movimento harmônico original (i.e., variações), mas faz-se necessário restringir o tamanho das estruturas produzidas.

Ponsford, Wiggins e Mellish (1999) utilizam um mecanismo estatístico de aprendizagem de gramáticas para capturar a estrutura harmônica de uma forma de dança do século XVII. Esta formulação pode ser interpretada como um modelo de Markov, e, como no trabalho de Steedman (1996), força que as sequências geradas tenham um comprimento predeterminado, tendo-se mostrado capaz de capturar o estilo musical de forma razoável.

Um objeto de estudo de interesse crescente na computação musical são os sistemas de Lindenmayer ou sistemas-L, gramáticas formais paralelas introduzidas por Lindenmayer (1968) como um marco teórico no estudo do desenvolvimento de um organismo multicelular simples. Essencialmente, são um tipo de sistema generativo baseado em regras que aplica esquemas de substituição em um subconjunto inicial de um conjunto finito de símbolos. Ao contrário das gramáticas de Chomsky (1956), as substituições são aplicadas simultaneamente para cada símbolo em cada iteração.

Dubois (2003) extrai características dos sinais de áudio através de codificação simbólica, expandindo os símbolos por meio de sistemas-L para criar acompanhamentos em tempo real.

Watson (2008) utiliza conceitos de sistemas-L e fractais para a criação de acordes básicos em um sistema de composição para flauta transversa moderna no estilo da era clássica.

Pestana (2012) tem explorado a relação entre as regras e variações definidas por Schönberg, e a autossimilaridade dos fractais e os algoritmos criados por Lindenmayer, obtendo um sistema de acompanhamento interativo que gera formas minimalistas de música.

## 2.2 Sistemas baseados em conhecimento

Este tipo de estratégias engloba diversos sistemas baseados em regras sob uma variedade de paradigmas, os quais representam conhecimento como símbolos com algum grau de estrutura. Na composição musical, o conhecimento é tradicionalmente estruturado como um conjunto de regras de manipulação de símbolos; conseqüentemente, os sistemas baseados em conhecimento e regras são formas orgânicas de representação musical.

As primeiras tentativas foram sistemas baseados em conhecimento estático aplicados na harmonização a quatro vozes, como o sistema de Thomas (1985) para a harmonização de melodia coral com fins educacionais.

Outro exemplo é o harmonizador a quatro vozes de Steels (1986), que deriva regras por meio de busca heurística em um conjunto de restrições que expressa conhecimento musical de harmonia tonal clássica. Alternativamente, pode-se considerar este método um problema de satisfação de restrições, embora continue sendo uma busca bruta sem procedimento de consistência.

Algumas estratégias têm representações de conhecimento que podem ser modificadas dinamicamente, permitindo ao sistema aprender novas regras, sendo interessantes para aplicações em tempo real sob avaliação do usuário.

Widmer (1992) apresenta um sistema de harmonização de melodias simples que extrai regras de harmonização da análise hierárquica das melodias de treinamento e das avaliações por usuário do corpus de treinamento.

Spangler (1999) implementa um sistema gerador de regras para a harmonização em tempo real de corais a quatro partes no estilo de J. S. Bach, que extrai regras probabilísticas de exemplos usando uma representação musical derivada do baixo cifrado.

Rybnik e Homenda (2013) incorporam lógica difusa como uma ferramenta de agregação de conhecimento personalizada para o modelo de harmonização apresentado em (RYBNIK e HOMENDA, 2012). O modelo é amplamente baseado em conhecimento de teoria musical, motivo pelo qual não precisa de uma grande quantidade de dados representativos, e os autores afirmam atingir universalidade e controle direto sobre a harmonização através de manipulação de parâmetros subjacentes.

### **2.3 Problemas de satisfação de restrições (CSP<sup>1</sup>)**

Este tipo de abordagem se baseia na concepção de um espaço de busca de possibilidades circunscrito por restrições, de forma a lidar com o vasto espaço de estados envolvido no processo combinatório da harmonização.

Ebcioğlu (1986) apresenta CHORAL, um conjunto de 350 regras para harmonização de melodias no estilo dos corais de J. S. Bach, considerado por Wiggins (1999) o mais reconhecido sistema de harmonização automática, e por Pachet e Roy (2001) o primeiro sistema completo com capacidade de produzir harmonizações de quatro vozes de qualidade. O sistema contém vários módulos que abordam diferentes aspectos do processo composicional executados em BSL, uma linguagem de programação de restrições lógicas especialmente concebida para a implementação de *backtracking*<sup>2</sup> inteligente, técnica que o autor considera necessária para lidar com a busca combinatorial do processo de harmonização. Mas, apesar de ser o primeiro sistema capaz de obter resultados de qualidade em problemas musicais de dificuldade considerável, e de reconhecer-se uma estrutura musical geral ou intenção no processo, o elevado número de módulos implementados na linguagem de Ebcioğlu (1986) e suas complexas interações fazem a descrição confusa e de difícil análise.

Tsang e Aitken (1991) implementam o primeiro sistema de harmonização a quatro vozes com técnicas convencionais de programação lógica de restrições por meio de vinte regras em CLP(R)<sup>3</sup> (JAFFAR e LASSEZ, 1987). Tsang e Aitken (1991) afirmam que a harmonização tonal é inerentemente um paradigma de satisfação de restrições, usando representações de objetos musicais como *itches*<sup>4</sup>, intervalos e acordes em um estilo declarativo natural de regras de harmonização. No entanto, a ineficiente

---

<sup>1</sup> *Constraint satisfaction problems*

<sup>2</sup> Eliminação de candidatos a soluções não promissoras

<sup>3</sup> *Constraint logic programming (Real)*

<sup>4</sup> Alturas percebidas

utilização de espaço da implementação CLP e o custo computacional da propagação de restrições resultam em um processo lento, podendo consumir cinco minutos para harmonizar uma melodia de onze notas.

Ovans e Davison (1992) descrevem um sistema CSP interativo para contraponto de primeira espécie, destacando a profundidade combinatorial do processo de harmonização automática, o alto custo computacional da implementação de restrições passivas, e que a satisfação de restrições por si só não é suficiente para que se obtenham resultados musicais. Eles são os primeiros a propor a incorporação de técnicas de consistência de arcos para mitigar a ineficiência do processo devido ao excessivo *backtracking*, o que em geral é uma premissa aceita em programação de restrições. Ovans e Davison (1992) comparam o desempenho de técnicas de *backtracking*, verificação posterior e consistência de arcos na harmonização de duas vozes—o que, apesar de validar a eficiência superior das técnicas de consistência de arcos, foi criticado como não convincente pelo fato de harmonizar apenas duas vozes.

Pachet e Roy (1995) mostram que considerar variáveis de acorde explícitas pode reduzir a complexidade teórica do problema de harmonização, dividindo o espaço de busca por um fator equivalente à densidade de notas do acorde. Wiggins (1999) descreve esta abstração como um nível de raciocínio inicial particularmente promissor e um passo à frente em trabalhar com intenção, caracterizando acordes como *clusters* harmônicos. Esta abordagem separa o problema em dois CSPs, onde o primeiro apenas trata com notas e as suas restrições, construindo o domínio das variáveis de acorde, e o segundo usa as variáveis de acorde para produzir as soluções. Na prática, o sistema calcula soluções para harmonizar uma linha de baixo não figurada em tempo “quase” real sem fornecimento de conhecimento ao sistema.

Ramirez e Peralta (1998) apresentam um sistema CSP tradicional que gera uma sequência de nomes ou etiquetas de tríades que harmoniza adequadamente uma determinada melodia de entrada sem implementação de consistência de arco. O sistema tenta maximizar o número de progressões conhecidas, compiladas em um dicionário, em duas etapas, sendo a primeira a geração de uma ampla variedade de sequências legais de acordes, e a segunda a depuração do conjunto solução restringindo as sequências a seguir modelos padrão.

Phon-Amnuaisuk (2002) implementa um sistema de restrições com uma representação explícita do conhecimento de controle para harmonizar corais no estilo

de J. S. Bach. Esta estratégia de representação permite modificação fácil e flexível das estruturas de controle e decomposição hierárquica do processo de harmonização, dando assim mais controle sobre o processo de busca, além de gerar harmonizações naturais.

O sistema ANTON de Boenn, Brain e De Vos (2008) é um sofisticado compositor automático e harmonizador a duas vozes que utiliza uma estratégia de programação de conjunto de resposta. A estratégia, conhecida como *AnsProlog*, é baseada em uma linguagem declarativa puramente orientada a problemas complexos de busca, dando ao sistema a suficiente flexibilidade para ser uma plataforma de pesquisa de regras de composição. Esta abordagem não resolve o difícil problema de estrutura global, sendo capaz de gerar melodias curtas, mas ineficaz para construção de uma peça completa; entretanto, apresenta um ponto de partida para o desenvolvimento de um sistema hierárquico em escalas de tempo, sendo que o tempo de execução exibido sugere aptidão para aplicações em tempo real.

### **3. Métodos de otimização**

#### **3.1 Algoritmos evolutivos**

Num contexto geral em que as abordagens por algoritmos evolutivos usualmente fazem uso de conhecimento musical para harmonizar uma peça musical a quatro vozes, Vox Populi (MORONI et al., 1994) é a única estratégia de harmonização evolutiva baseada apenas em fatores fisiológicos da audição para a criação de uma noção de aproximação ao centro tonal da sequência gerada em função da ordem de consonância acústica dos intervalos musicais.

A estratégia representa o *pitch* das notas como um conjunto de componentes espectrais por meio de formalismos de conjuntos *fuzzy*<sup>5</sup>, e define os indivíduos como grupos de quatro notas ou acordes. Em seguida, consonância melódica e harmônica são calculadas em função da quantidade de sobreposição entre as componentes espectrais das notas, fornecendo assim critérios de avaliação de aptidão.

Esse trabalho está mais próximo de ser um modelo cognitivo que ser um harmonizador tonal, expandindo as possibilidades de produzir modelos de harmonização além da escala temperada e do sistema tonal.

---

<sup>5</sup> Difusos

### 3.2 Algoritmos evolutivos baseados em conhecimento

McIntyre (1994) apresenta um algoritmo genético para geração de harmonias barrocas que codifica um conjunto de regras como funções de pontuação, e calcula aptidões individuais por meio de uma estratégia de somas ponderadas das funções de pontuação condicionadas por níveis. O autor afirma que quase toda geração produz harmonizações críveis com alta aptidão, como também revela indivíduos de baixa aptidão no caso de melodias longas.

Phon-Amnuaisuk, Tuson e Wiggins (1999) declararam formalmente funções de aptidão baseadas em preceitos derivados da teoria musical e da literatura musicológica, concluindo a improbabilidade de se resolver o problema da harmonização através de algoritmos genéticos sem algum conhecimento da estrutura global da peça musical. Também reconhecem a viabilidade na resolução de tarefas musicais pequenas e restritas das implementações por algoritmos genéticos, e as limitações para atingir soluções ótimas causadas pela falta de estrutura de raciocínio e pela natureza heurística e estocástica do processo.

O algoritmo genético implementado por Maddox e Otten (2000) para harmonização de corais no estilo de J. S. Bach apresenta melhores resultados do que seus antecessores. Sua representação é uma versão mais flexível do trabalho de McIntyre (1994), sem funções de pontuação condicionadas por níveis, sendo um procedimento de busca menos restrito em um espaço de busca maior. Eles inferem que a aptidão dos acordes tem que ser avaliada com maior prioridade que a aptidão da condução de vozes, que múltiplas mutações de acordes provocam estancamento do algoritmo em níveis baixos de aptidão, e que o uso de seleção por roleta de indivíduos e recombinação em um ponto produzem resultados significativamente melhores que a seleção uniforme.

Lozano, Medaglia e Velasco (2009) propuseram um sistema para a geração de sequências de acordes *pop-rock* através de funções utilidade embebidas em um procedimento que combina algoritmos genéticos e busca com vizinhança variável (VNS<sup>6</sup>) (HANSEN; MLADENOVIĆ, 2001). Em primeiro lugar, sequências melódicas são divididas em segmentos de igual comprimento medidos em compassos, sendo cada segmento classificado com uma função harmônica. Depois, um algoritmo genético é implementado para encontrar um conjunto de boas soluções fazendo uso de duas

---

<sup>6</sup> *Variable neighborhood search*

tabelas subjetivas para avaliar utilidades de intervalo melódico e grau harmônico dependendo das funções de segmento pré-definidas. Finalmente, é construída uma grade a partir das melhores soluções, e uma VNS encontra o caminho que contém o maior número de progressões com base em uma lista de vinte progressões do estilo *pop-rock*.

O problema específico considerado por De Prisco e Zaccagnino (2009) é a harmonização de uma linha de baixo não figurada. Uma contribuição importante deste trabalho é a introdução de operadores de recombinação e mutação especializados, assim como pontos de corte para recombinação onde o número de violações de regras musicais é maior, e aceitadores de mutação baseados em regras musicais, mas com uma limitação de tempo fundamental, uma unidade básica de duração de *beat*<sup>7</sup> que ignora notas curtas. De Prisco, Zaccagnino e Zaccagnino (2011) estenderam o trabalho a composições de quatro vozes implementando um algoritmo multiobjetivo baseado em evolução diferencial de Pareto (MADAVAN; BIEGEL, 2002) que separa as avaliações das características musicais em funções de aptidão harmônicas e melódicas, obtendo melhores resultados em termos de medição da aptidão, mas com resultados musicais sem explicação clara.

Freitas e Guimarães (2011) apresentam outra abordagem multiobjetivo com operadores de recombinação e mutação especializados que é particularmente interessante porque suas funções de aptidão têm algum sentido de intenção local. Nesse caso, duas funções de aptidão são usadas para avaliar a simplicidade e a dissonância de indivíduos “acorde” dependendo dos intervalos que definem o acorde, e logo as soluções são ranqueadas por um algoritmo genético de ordenamento não dominante II (NSGA<sup>8</sup>-II) (DEB et al., 2000).

O algoritmo genético de Liu e Ting (2012) cria acompanhamentos melódico, de baixo, e acordes para uma linha melódica inicial. Cada tipo de acompanhamento tem sua própria tabela de pontuação, e as suas aptidões são calculadas condicionadas por níveis. Apesar de ser recente, o trabalho não apresenta contribuições ou melhoras importantes em termos de representação, operadores de recombinação ou mutação, ou definição de funções de aptidão, e a qualidade de seus resultados não é clara.

---

<sup>7</sup> Unidade básica de tempo musical

<sup>8</sup> *Nondominated sorting genetic algorithm*

Em geral, algoritmos genéticos baseados em conhecimento resultam menos interessantes por não resolverem o problema de estrutura harmônica global de uma peça musical, e por utilizarem representações que previnem acompanhamento em tempo real.

#### 4. Redes neurais

Shibata (1991) propôs um dos primeiros exemplos de memória associativa como uma alternativa ao uso de conjuntos de regras, uma rede neural *feedforward*<sup>9</sup> treinada por meio de extensa exposição a exemplos com o objetivo de harmonizar melodias simples, apresentando resultados da avaliação subjetiva para os acompanhamentos obtidos. Afirma que o módulo proposto gera progressões de acordes naturais comparáveis às de um módulo conduzido por uma tabela de transições, o que corresponde a uma definição de autômato finito.

Bellgard e Tsang (1992) utilizam máquinas de Boltzmann (BMs<sup>10</sup>) para aprender contextos locais de um corpus de corais, e uma estratégia de máquina efetiva de Boltzmann (EBM<sup>11</sup>) para harmonizar corais de quatro vozes, mostrando a capacidade de aprender estilos de harmonização específicos. Em (BELLGARD; TSANG, 1994) são discutidas dificuldades de projeto que afetam a EBM e o processo de incorporação de restrições externas, as quais são consideradas críticas para o correto funcionamento do sistema harmonizador. Como resposta a isso, Bellgard e Tsang (1994) propõem um sistema híbrido baseado em redes neurais estocásticas e satisfação de restrições, abrindo a possibilidade de incluir informação do domínio na rede neural incorporando restrições absolutas no processo de indução. O sistema resolve o problema da harmonização como um processo não determinístico e não sequencial, no sentido de que para harmonizar um evento melódico utiliza informação dos eventos futuros, razão pela qual a implementação prática tem uma alta exigência computacional, mas são propostas algumas possíveis melhoras como o uso de máquinas de Boltzmann determinísticas.

HARMONET (HILD; FEULNER; MENZEL, 1991) é um sistema híbrido baseado em redes neurais *feedforward* e algoritmos de satisfação de restrições

---

<sup>9</sup> Sem recursão

<sup>10</sup> *Boltzmann machines*

<sup>11</sup> *Effective Boltzmann machine*

treinado para harmonizar corais a quatro vozes no estilo de J. S. Bach. Em contraste com o trabalho de Bellgard e Tsang (1994), esta é uma abordagem determinística e sequencial ao problema de harmonização. Hörnel e Ragg (1996) elaboraram sobre esse trabalho e apresentaram MELONET, um sistema de harmonização com a capacidade de gerar variações melódicas. Nesta nova proposta as melodias são aprendidas como seqüências de motivos usando o HARMONET como o primeiro estágio de processamento, além de uma rede neural adicional com neurônios do tipo *delayed-update*<sup>12</sup>, o que reflete a natureza temporal multiescalar da música.

Gang e Lehmann (1995) abordam o problema da harmonização com uma estratégia de redes neurais recorrentes dividida em duas etapas com resultados aceitáveis em contextos locais, mas sem considerações sobre hierarquia musical tradicional. Primeiro, uma rede *feedforward* padrão de três camadas identifica as notas “chave”, no sentido da relevância para o processo de harmonização; em seguida, sob a influência da primeira sub-rede, uma rede sequencial de quatro camadas é responsável de determinar o próximo acorde. O tamanho da camada de saída da rede sequencial é quatorze, representando os sete acordes diatônicos da escala de Dó maior e sete possíveis acordes dominantes. Mais tarde, a estratégia foi implementada para harmonização em tempo real (GANG; LEHMANN; WAGNER, 1997) pela adição de uma sub-rede de noção métrica, mas sem informação da estrutura global. Finalmente, Gang, Lehmann e Wagner (1998) aplicam a rede desenvolvida em (GANG; LEHMANN; WAGNER, 1997) como uma ferramenta para modelagem de aspectos da cognição humana, e também como base na construção de um sistema de performance interativo, apresentando uma análise sobre os parâmetros de aprendizagem, o tamanho do conjunto de treinamento e a influência da informação métrica.

Melo e Wiggins (2003) tomam uma abordagem completamente diferente das dos seus predecessores, modelando a tensão musical como uma média de curvas de medição descritas por ouvintes humanos, e treinando uma rede neural para criar progressões de acordes que seguissem os níveis de tensão sugeridos pelas curvas. De certa forma, a técnica proposta estabelece um precedente de mensurabilidade da tensão musical e da capacidade de transmitir tensão da música. O sistema cria seqüências de acordes completamente diferentes das originais, preservando a intenção musical original, segundo os autores.

---

<sup>12</sup> Atualizados com retardo

De Prisco et al. (2010) apresentam o projeto, implementação e teste de uma rede neural para harmonização funcional de uma linha de baixo no estilo de J. S. Bach. Primeiro, o acorde atual é calculado usando três “modelos de base” em função da nota de baixo atual e de um, dois e três acordes prévios. Logo, as saídas dos modelos de base são fornecidas a uma rede de decisão que escolhe entre as soluções, existindo dois modelos alternativos. O primeiro, sem resultados satisfatórios, é a Rede de Controle de Baixo (BCN<sup>13</sup>), que decide em função de uma previsão da próxima nota do baixo e uma distância *Hamming*. O segundo modelo é uma Rede de Controle de Acorde (CCN<sup>14</sup>), que além da previsão da nota do baixo utiliza provisões dos acordes. Embora o modelo CCN tenha obtido resultados razoáveis, a rede é extremadamente complexa, com uma grande exigência de cálculo.

## 5. Modelos probabilísticos

Modelos probabilísticos baseados na propriedade de Markov (DURRETT, 2010) têm sido amplamente estudados na harmonização automática, particularmente os modelos ocultos de Markov (BAUM, 1966). Neste contexto, a melodia harmonizada é descrita como um processo estocástico duplamente embutido em que a melodia é modelada como uma sequência de observações que é função de uma sequência subjacente de estados não-observáveis (ocultos), os quais descrevem o acompanhamento harmônico.

Os modelos ocultos de Markov (HMMs<sup>15</sup>) aprendem regras de harmonização através de observação estatística das relações de “curto prazo” em contextos locais, i.e., relações entre estados harmônicos e observações melódicas em um mesmo instante, e relações entre estado harmônico atual e prévio, geralmente representando o conhecimento em forma matricial. Embora o processo de aprendizagem seja realizado nesse contexto local, inferências probabilísticas para identificar a melhor trajetória de estados ocultos são processadas em um contexto probabilístico global, implementado por meio de estratégias de computação paralela como o algoritmo de Viterbi (FORNEY, 1973).

---

<sup>13</sup> *Bass control network*

<sup>14</sup> *Chord control network*

<sup>15</sup> *Hidden Markov models*

Allan (2002) apresenta um sistema HMM que harmoniza no estilo dos corais de J. S. Bach, mostrando a capacidade de aprendizado de regras de harmonização dos HMMs a partir de exemplos sem necessidade de conhecimento pré-programado. O modelo proposto divide o processo de harmonização em três subtarefas com base no trabalho de Hild, Feulner e Menzel (1991). Primeiro, baseado em uma sequência de observação melódica, um esqueleto harmônico etiqueta cada *beat* com um símbolo harmônico representando um conjunto de possíveis acordes, criando uma sequência desses símbolos. Em seguida, os símbolos harmônicos de saída são utilizados como observações em um segundo HMM que atribui uma nota para cada uma das três vozes, gerando uma sequência de acordes (estados) ocultos. Finalmente, um terceiro HMM realiza ornamentações separadamente para cada voz. Allan e Williams (2005) propõem uma mudança no modelo, eliminando o primeiro HMM e calculando sequências de acordes diretamente das observações da melodia.

Biyikoglu (2003) construiu um HMM harmonizador para o estudo da sintaxe harmônica e da interação entre melodia e harmonia. Treinado pela saída de um módulo de análise harmônica que opera sobre um conjunto de corais, o modelo calcula progressões de acordes adequadas para novas melodias, gerando harmonizações a quatro vozes. O sistema também incorpora características especiais para aliviar restrições de combinação e resolver o problema de esparsidade de dados, como regras de condução de vozes, mas limitações do processo de recombinação impedem a condução de vozes em muitas situações, e as progressões geradas pelo algoritmo de Viterbi tendem a ser conservadoras. Biyikoglu (2003) levanta a questão da representação temporal dos modelos de Markov na geração de música dada pelo contraste entre a operação sequencial dos modelos e a hierarquia temporal da música, afirmando que os modelos de Markov não são capazes de representar as relações hierárquicas das funções harmônicas. Porém, os modelos de Markov são capazes de gerar transições de acordes delicadas, assim como progressões de acordes aceitáveis para uma melodia dada na presença de informação local da métrica e da cadência.

Paiement, Eck e Bengio (2006) introduziram uma representação de acorde alternativa com base no sistema de cifras que pode facilitar a introdução de conhecimento de domínio de modelos de harmonização probabilísticos. No seu trabalho eles mostram empiricamente que as dependências globais das progressões de acorde são melhor capturadas por uma estrutura de árvore relacionada à métrica que

com HMMs dinâmicos simples que se concentram nas dependências locais. Não obstante, HMMs parecem ser suficientes quando é fornecida a progressão da fundamental, o que sugere que grande parte da informação de dependência temporal pode já estar contida no movimento da nota fundamental.

MySong (SIMON; MORRIS; BASU, 2008) é um sistema voltado ao usuário que escolhe acordes para acompanhar uma melodia vocal automaticamente, expondo parâmetros do HMM de forma intuitiva como *Jazz Factor* e *Happy Factor*. Um *beat* gerado por computador é usado como referência métrica pelo usuário gerando um acorde por compasso, sem tentativa de sincronismo ou de extrair intenção rítmica. MySong usa duas matrizes de transição no processo de harmonização, uma em escala maior e outra em escala menor, as quais são ponderadas pelo parâmetro *Happy Factor*. A matriz de observação (emissões) também é ponderada, mas pelo *Jazz Factor*, que desce ou aumenta pesos de emissão, dando prioridade à progressão de acordes ou à relação acorde-nota, respectivamente. Como o usuário não é restrito a uma tonalidade, o algoritmo de Viterbi calcula a sequência mais provável para cada tonalidade em 50 [ms], escolhendo o caso de maior probabilidade associada. Morris, Simon e Basu (2008) descrevem formalmente o processo de aprendizado de MySong e discutem os mecanismos pelos quais os parâmetros do sistema são expostos ao usuário, apresentando MyMusic como um caso de decodificação interativa.

Groves (2013) propôs o uso de modelos probabilísticos estendidos, especificamente modelos semiocultos de Markov (YU, 2010), para abordar o processo de harmonização automática no estilo do *rock'n'roll*. Nesta implementação se insere um parâmetro extra na informação da sequência de estados para modelar a duração de (tempo de permanência em) cada estado, permitindo que os estados ocultos tenham uma sequência de observações associada. Embora a estratégia possa ser de maior utilidade que HMMs convencionais no estabelecimento de uma intenção local através de uma relação acorde-motivo como a tentativa de Hörnel e Ragg (1996), não há evidência de que produza melhores resultados harmônicos ou rítmicos.

### **5.1 Redes bayesianas**

As redes bayesianas são modelos gráficos de representação de independências condicionais em um conjunto de variáveis aleatórias, uma forma gráfica de representar fatorações de distribuições particulares. Modelos ocultos de

Markov são uma subclasse de redes bayesianas simples para modelagem de séries temporais.

Yi e Goldsmith (2007) introduz planejamento baseado em processos de decisão na harmonização automática, com funções de transição definidas por redes bayesianas dinâmicas (DBNs<sup>16</sup>). Dada uma melodia, um planejador MDP (*Markov Decision Process*) fatorado preenche as outras três vozes com base em harmonia clássica ocidental. As harmonias resultantes são descritas como não muito sofisticadas.

Suzuki, Kitahara e Univercity (2013) implementam um harmonizador a quatro vozes para melodias de voz soprano representando a simultaneidade e sequencialidade musical como dependências entre variáveis aleatórias em uma rede bayesiana. São apresentados dois tipos de modelos de composição, um com “nodos” de acordes e outro sem eles, a fim de investigar até que ponto o modelo sem nodos adquire conceitos fundamentais de harmonia comparado ao modelo com nodos. O harmonizador não modela as interdependências entre as três vozes geradas, considerando apenas as dependências da voz soprano. Os autores afirmam que a DBN adquire algumas regras básicas de harmonia.

Raczyński, Fukayama e Vincent (2013) propõem meios para combinar múltiplos modelos probabilísticos de varias variáveis aleatórias em um sistema de harmonização flexível através de métodos de interpolação, construindo um modelo discriminativo onde os acordes são condicionalmente dependentes de todas as variáveis definidas, e.g. tonalidade e melodia, mas os resultados não são claros.

## 5.2 Métodos híbridos

Algumas hibridações entre modelos de Markov e métodos baseados em conhecimento ou regras têm apresentado resultados interessantes que vale a pena destacar.

Chuan e Chew (2007) apresentam um sistema de acompanhamento de estilo específico, gerando novas harmonizações como resoluções adequadas e elegantes aprendidas de uma quantidade pequena de exemplos. Um módulo de tom de acorde usa dezessete atributos de representação melódica para aprender e determinar que notas de uma determinada melodia são prováveis tons de acorde. De acordo com esses tons de acorde, tríades são designadas aos compassos com soluções não-ambíguas, servindo de pontos de verificação. Em seguida, o sistema constrói progressões de

---

<sup>16</sup> *Dynamic Bayesian networks*

acordes possíveis usando transformações neo-riemannianas (COHN, 1998) entre os pontos de verificação, apresentando trajetórias alternativas em uma estrutura de árvore. Uma cadeia de Markov treinada com essas transformações gera a progressão de acordes final.

Pachet e Roy (2014) recentemente discutiram os benefícios de abordagens verticais em matéria de harmonização, e como modelos de Markov padrão não são adequados para tal missão porque o problema é basicamente sobrerrestrito. Como uma solução alternativa, eles têm proposto usar o conceito de *fioriture*<sup>17</sup> para melhorar a captura de sutilezas do estilo de arranjo, sob a premissa de que tais ornamentos podem expressar o estilo de arranjo com maior liberdade que notas de uma melodia; dessa forma, a *fioriture* pode ser um dispositivo de expressão criativa, apesar de ser um elemento decorativo musical não primário. Este particular ornamento pode ser definido como notas aleatórias com restrições unárias e implementado com técnicas de restrição de Markov (PACHET; ROY, 2001).

### 5.3 Máquinas de estados finitos probabilísticas

Máquinas de estados finitos probabilísticas (PFMSs<sup>18</sup>) são autômatos finitos que verificam algumas restrições, e são consideradas um processo gerativo. PFMSs podem representar a mesma distribuição modelada por um HMM no máximo no mesmo espaço, com um algoritmo comum pelo menos tão simples quanto no caso dos HMMs. A diferença fundamental entre as PFMSs e os HMMs é que uma PFMS incorpora probabilidades a uma estrutura, e um HMM estrutura às probabilidades. Agregar probabilidade a objetos bem conhecidos, tais como máquinas de estados finitos (FSMs<sup>19</sup>), permite construir desde a experiência e a intuição, o que pode ser de grande benefício no modelamento de problemas criativos.

Buys e Van Der Merwe (2012) apresentam um transdutor de estados finitos ponderado para harmonização de corais a quatro vozes, permitindo a colocação de restrições regulares de domínio específico na sequência gerada e a integração de modelos com diferentes níveis de complexidade. O processo de harmonização é dividido em duas etapas, cada uma realizada por inferência através de transdutores. A primeira

---

<sup>17</sup> Ornamentação complexa

<sup>18</sup> *Probabilistic finite-state machines*

<sup>19</sup> *Finite-state machines*

etapa encontra a sequência de acordes ótima para uma melodia dada usando o algoritmo de Viterbi e um alfabeto de saída conformado por doze acordes maiores e doze acordes menores. O segundo transdutor gera três vozes adicionais, o baixo e duas vozes internas. As vozes internas modelam as restrições verticais necessárias para a representação da sequência de acordes juntamente com a melodia de entrada, e o baixo gerado em cada *beat*.

Forsyth e Bello (2013) descrevem um transdutor de estados finitos projetado para gerar acompanhamento automático de uma melodia. Para a estratégia de treinamento, cada voz individual de um corpus de composições a quatro vozes foi utilizada como melodia de entrada, enquanto as três vozes restantes foram combinadas para criar o acompanhamento, o que significa que cada peça fornece quatro pares de treinamento. O método utiliza técnicas de composição de autômatos finitos para juntar módulos de estado finitos que resolvem aspectos particulares do problema de harmonização. Forsyth et al. (2015) apresentam uma descrição mais detalhada do modelo da máquina de estados. Em primeiro lugar, sequências de melodia de entrada são codificadas como autômatos finitos (FSAs<sup>20</sup>) lineares, e, em seguida, um transdutor de estados finitos (FST<sup>21</sup>) melodia-acorde funciona como aceitador destes FSA lineares de melodia. O FST melodia-acorde é criado como a combinação entre todas as sequências de notas possíveis contidas em compassos individuais do corpus e as probabilidades de que um acorde seja gerado juntamente com as possíveis sequências de notas. As saídas deste FST são as entradas de um FSA de ‘n-grama de acordes’ que modela as possíveis progressões de acordes no corpus. O autômato harmonizador resultante será a combinação desses três modelos. Esta abordagem tem a capacidade de tratar tanto notas individuais como motivos, mas sofre de problemas de ambiguidade, i.e., duas ou mais sequências de melodias idênticas podem ser mapeadas em dois acordes diferentes, sendo necessária alguma técnica de desambiguação. Finalmente, Forsyth et al. (2015) também descreveram um projeto de instalação interativa em tempo real e a possibilidade de usar FST para geração automática de ritmo.

---

<sup>20</sup> *Finite-state automata*

<sup>21</sup> *Finite-state transducer*

## **6. Conclusões e comentários**

Em quase todas as pesquisas em geração automática de acompanhamento ou harmonia são mencionadas a intenção, a tensão musical, e a estrutura global. Independentemente da forma como seja denominada, essa noção na fronteira entre o conhecimento abstrato e o conhecimento formal é a principal preocupação e o objetivo final. Esse não é um problema resolvido, mas algumas questões críticas podem ser apontadas com um maior grau de objetividade, e alguns comentários podem ser feitos sobre o estado atual da pesquisa.

A captura do contexto harmônico local é um assunto que pode ser considerado resolvido. Quase todos os procedimentos têm mostrado capacidade de produzir e, quando é parte do escopo do sistema, também aprender progressões curtas de dois acordes adequadas com base em informações locais.

Algumas das técnicas descritas têm abordado noções de estrutura global e hierarquia temporal, principalmente considerando a peça inteira para o processamento da harmonia resultante. Além disso, a implementação de representações de conhecimento de domínio específico tais como sequências de estado de movimento de fundamental, funções de condução de vozes, referências métricas e motivos melódicos têm sido úteis na geração de progressões harmonizadas mais longas. Estratégias sequenciais têm dificuldade para tratar estas dependências temporais, embora algoritmos de “trajetória mais provável” tenham mostrado algum senso de globalidade, sendo suficientes para gerar harmonias longas sob certas condições, mas com resultados conservadores e monótonos. De alguma forma, esta dicotomia global/sequencial sugere a necessidade de um compromisso na concepção de plataformas de harmonização em tempo real, onde o conhecimento musical pode se tornar um meio termo se for usado corretamente.

Simplificações das interdependências entre as vozes dos acordes ou representações simbólicas de acordes têm sido amplamente utilizadas com o fim de obter resultados adequados, essencialmente devido a problemas de intratabilidade causados por sobredimensionalidade e esparsidade de dados, mas tais simplificações carecem de formalismo estatístico, podendo levar à perda de informações importantes sobre o processo de harmonização. Existe também uma falta de produção de material sonoro e de aplicações em tempo real: comunicam-se os resultados de pesquisa em formato de partituras na maior parte dos trabalhos, provavelmente por causa da

dificuldade na representação temporal e da degradação do desempenho para implementações de maior resolução.

## Referências

- ALLAN, Moray. Harmonising Chorales in the Style of Johann Sebastian Bach. Edinburgh, 2002. 73f. Master of Science Thesis. School of Informatics, University of Edinburgh, Edinburgh, 2002.
- ALLAN, Moray; WILLIAMS, Christopher. Harmonising Chorales by Probabilistic Inference. *Advances In Neural Information Processing Systems*, v.17, n.1, p.25-32, 2005.
- BAUM, Leonard E; PETRIE, Ted. Statistical Inference for Probabilistic Functions of Finite State Markov Chains. *The Annals of Mathematical Statistics*, v.37, n.6, p.1554-1563, 1966.
- BELLEGARD, Mi; TSANG, Chi Ping. Harmonizing music using a network of Boltzmann machines. In: LES RÉSEAUX NEURO-MIMÉTIQUES ET LEURS APPLICATIONS, 5., 1992, Nîmes, France. *Anais...* Nanterre, France: EC2, 1992. p.321-332.
- BELLEGARD, Mi; TSANG, Chi Ping. Harmonizing Music the Boltzmann Way. *Connection Science*, v.6, n.2-3, p.281-297, 1994.
- BIYIKOGLU, Kaan M. A Markov model for chorale harmonization. In: TRIENNIAL EUROPEAN SOCIETY FOR THE COGNITIVE SCIENCES OF MUSIC (ESCOM) CONFERENCE, 5., 2003, Hannover, Germany. *Anais...* Hannover, Germany: Proceedings of the 5th Triennial European Society for the Cognitive Sciences of Music Conference, 2003. p.81-84.
- BOENN, Georg; BRAIN, Martin; DE VOS, Marina. Automatic composition of melodic and harmonic music by answer set programming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOGIC PROGRAMMING, 24., 2008, Udine, Italy. *Anais... Udine, Italy: ICLP*, 2008, p.160-174.
- BUYS, Jan; VAN DER MERWE, Brink. Chorale harmonization with weighted finite-state transducers. In: SYMPOSIUM OF THE PATTERN RECOGNITION ASSOCIATION OF SOUTH AFRICA, 23., 2012, Pretoria, South Africa. *Anais...* Pretoria, South Africa: Proceedings of ICCS, 2012. p.95-101.
- CHOMSKY, Noam. Three Models for the Description of Language. *IRE Transactions on Information Theory*, v.2, n.3, p.113-124, 1956.
- CHUAN, Ching-Hua; CHEW, Elaine. A hybrid system for automatic generation of style-specific accompaniment. In: INTERNATIONAL JOINT WORKSHOP ON COMPUTATIONAL CREATIVITY, 4., 2007, London, UK. *Anais...* London, UK: Proceedings of the 4th International Joint Workshop on Computational Creativity, 2007. p.57-64.
- COHN, Richard. Introduction to Neo-Riemannian Theory: A survey and a historical perspective. *Journal of Music Theory*, v.42, n.2, p.167-180, 1998.
- DE PRISCO, Roberto; ELETTO, Antonio; TORRE, Antonio; ZACCAGNINO, Rocco. A neural network for bass functional harmonization. In: EUROPEAN CONFERENCE ON THE APPLICATIONS OF EVOLUTIONARY COMPUTATION EvoMUSART, 8., 2010, Istanbul, Turkey. *Anais...* Istanbul, Turkey: Applications of Evolutionary Computation, 2010. p.351-360.
- DE PRISCO, Roberto; ZACCAGNINO, Rocco. An evolutionary music composer algorithm for bass harmonization. In: WORKSHOPS ON APPLICATIONS OF

- EVOLUTIONARY COMPUTATION, 11., 2009, Tübingen, Germany. *Anais...* Tübingen, Germany: EvoMUSART, 2009. p.567-572.
- DE PRISCO, Roberto; ZACCAGNINO, Gianluca; ZACCAGNINO, Rocco. A multi-objective differential evolution algorithm for 4-voice compositions. In: IEEE SYMPOSIUM ON DIFFERENTIAL EVOLUTION, 2011, Paris. *Anais...* Paris: IEEE Symposium on Differential Evolution, 2011. p.1-8
- DEB, Kalyanmoy; AGRAWAL, Samir; PRATAP, Amrit; MEYARIVAN, Tanaka. A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL PROBLEM SOLVING FROM NATURE, 6., 2000, Paris. *Anais...* Paris: Parallel Problem Solving from Nature-PPSN VI, 2000. p.849-858.
- DUBOIS, Roger Luke. *Applications of Generative String-substitution Systems in Computer Music*. Doctoral dissertation. Columbia University, 2003.
- DURRETT, Rick. *Probability: theory and examples*. 4<sup>th</sup>. ed. New York, USA: Cambridge University Press, 2010.
- EBCIOGLU, Kemal. An Expert System for Chorale Harmonization. In: THE FIFTH NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 5., 1986, Philadelphia. *Anais...* Philadelphia: Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 1986. p.784-788.
- FERNANDEZ, Jose David; VICO, Francisco. AI Methods in Algorithmic Composition: A Comprehensive Survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*, AI Access Foundation USA, v.48, n.1, p.513-582, 2013.
- FORNEY, G David. The Viterbi Algorithm. *Proceedings of the IEEE*, v.61, n.3, p.268-278, 1973.
- FORSYTH, Jonathan; BELLO, Juan P. Generating Musical Accompaniment Using Finite State Transducers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL AUDIO EFFECTS, 16., 2013, Maynooth, Ireland. *Anais...* Maynooth, Ireland: Proceedings of the 16th International Conference on Digital Audio Effects, 2013.  
< [http://dafx13.nuim.ie/papers/10.dafx2013\\_submission\\_65.pdf](http://dafx13.nuim.ie/papers/10.dafx2013_submission_65.pdf)>. Acesso em: 06 out. 2016.
- FORSYTH, Jonathan; BITTNER, Rachel M; MUSICK, Michael; BELLO, Juan P. Improving and Adapting Finite State Transducer Methods for Musical Accompaniment. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 41., 2015, Denton, USA. *Anais...* Denton, USA: Proceedings of the 41st International Computer Music Conference, 2015. p.290-296.
- FREITAS, Alan; GUIMARÃES, Frederico. Melody harmonization in evolutionary music using multiobjective genetic algorithms. In: SOUND AND MUSIC COMPUTING CONFERENCE, 8., 2011, Padova, Italy. *Anais...* Padova, Italy: Proceedings of the Sound and Music Computing Conference, 2011.
- GANG, Dan; LEHMANN, Daniel. An artificial neural net for harmonizing melodies. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 20., 1995, Banff, Canada. *Anais...* Banff, Canada: Proceedings of the International Computer Music Association, 1995. p.444-447.
- GANG, Dan; LEHMANN, Daniel; WAGNER, Naftali. Harmonizing melodies in real-time: the connectionist approach. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 22., 1997, Thessaloniki, Greece. *Anais...* Thessaloniki, Greece: Proceedings of the International Computer Music Association, 1997. p.27-30.
- GANG, Dan; LEHMANN, Daniel; WAGNER, Naftali. Tuning a neural network for harmonizing melodies in real-time. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC

CONFERENCE, 23., 1998, Ann Arbor, USA. *Anais...* Ann Arbor, USA: Proceedings of the International Computer Music Association, 1998.

< <http://quod.lib.umich.edu/i/icmc/bbp2372.1998.509/1> >. Acesso em: 06 out. 2016.

GROVES, Ryan. Automatic harmonization using a hidden semi-Markov model. In: AAAI CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INTERACTIVE DIGITAL ENTERTAINMENT, 9., 2013, Boston, USA. *Anais...* Boston, USA: Musical Metacreation: Papers from the 2013 AIIDE Workshop, 2013. p.48-791.

HANSEN, Pierre; MLADENOVIĆ, Nenad. Variable Neighborhood Search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*, v.130, n.3, p.449-467, 2001.

HILD, Hermann; FEULNER, Johannes; MENZEL, Wolfram. HARMONET: A neural net for harmonizing chorales in the style of JS Bach. In: NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS, 4., 1991, Colorado. *Anais...* Advances in Neural Information Processing Systems 4, 1991. p.267-274.

HÖRNEL, Dominik; RAGG, Thomas. Learning musical structure and style by recognition, prediction and evolution. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 5., 1996, Hong Kong, China. *Anais...* Hong Kong, China: Proceedings of the International Computer Music Association, 1996. p.59-62.

JAFFAR, Joxan; LASSEZ, Jean-Louis. Constraint logic programming. In: PROCEEDINGS OF THE 14TH ACM SIGACT-SIGPLAN SYMPOSIUM ON PRINCIPLES OF PROGRAMMING LANGUAGES, 14., 1987, Munich. *Anais...* Munich: Association for Computing Machinery, 1987. p.111-119.

LINDENMAYER, Aristid. Mathematical Models for Cellular Interactions in Development II. Simple and Branching Filaments with Two-sided Inputs. *Journal of Theoretical Biology*, v.18, n.3, p.300-315, 1968.

LIU, Chien-Hung; TING, Chuan-Kang. Polyphonic accompaniment using genetic algorithm with music theory. In: IEEE CONGRESS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, 2012, Brisbane, Australia. *Anais...* Brisbane, Australia: IEEE Congress On Evolutionary Computation, 2012. p.1-7.

LONGUET-HIGGINS, Hugh Christopher. Letter to a Musical Friend. *Music Review*, v.23, n.1, p.244-248, 1962.

LOZANO, Leonardo; MEDAGLIA, Andrés; VELASCO, Nubia. Generation of Pop-Rock chord sequences using genetic algorithms and variable neighborhood search. In: WORKSHOPS ON APPLICATIONS OF EVOLUTIONARY COMPUTATION, 11., 2009, Tübingen, Germany. *Anais...* Tübingen, Germany: EvoMUSART, 2009. p.573-578.

MADAVAN, Nateri K; BIEGEL, Bryan A. Multiobjective optimization using a Pareto differential evolution approach. In: CONGRESS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, 2002, Honolulu, United States. *Anais...* Honolulu, United States: Congress on Evolutionary Computation, 2002.

MADDOX, Tamara; OTTEN, John. Using an evolutionary algorithm to generate Four-Part 18th century harmony. In: PROCEEDINGS OF THE WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS AND MUSIC: THEORY AND APPLICATION, 2000, Montego Bay, Jamaica. *Anais...* Montego Bay, Jamaica: Acoustics and Music: Theory and Application, 2000. p.461-467.

MCINTYRE, Ryan A. Bach in a box: The evolution of four part baroque harmony using the genetic algorithm. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST IEEE CONFERENCE ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, 1., 1994, Orlando. *Anais...* Orlando: IEEE World Congress on Computational Intelligence, 1994. p.852-857.

- MELO, Andrés; WIGGINS, Geraint. A connectionist approach to driving chord progressions using tension. In: SYMPOSIUM ON AI AND CREATIVITY IN ARTS AND SCIENCE, 7., 2003, Aberystwyth, United Kingdom. *Anais...* Aberystwyth, United Kingdom: Proceedings of the AISB'03 Symposium on AI and Creativity in Arts and Science, 2003. p.60-67.
- MORONI, Artemis; MANZOLLI, Jônatas; VON ZUBEN, Fernando José; GUDWIN, Ricardo. Vox Populi: Evolutionary computation for music evolution. In: BENTLEY, Peter; CORNE, David. *Creative Evolutionary Systems*. Morgan Kaufmann, 2002. p.205-221.
- MORRIS, Dan; SIMON, Ian; BASU, Sumit. Exposing Parameters of a Trained Dynamic Model for Interactive Music Creation. In: AAAI CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 23., 2008, Chicago, USA. *Anais...* Chicago, USA: Proceedings of the Twenty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2008. p.784-791.
- NIERHAUS, Gerhard. *Algorithmic Composition: paradigms of automated music generation*. Vienna: Springer-Verlag, 2009.
- OVANS, Russell; DAVISON, Rod. An interactive constraint-based expert assistant for music composition. In: PROCEEDINGS OF THE NINTH BIENNIAL CANADIAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE CONFERENCE, 9., 1992, Vancouver. *Anais...* Vancouver: *Canadian Society for Computational Studies of Intelligence*, 1992. p.76-81.
- PACHET, François; ROY, Pierre. Mixing constraints and objects: A case study in automatic harmonization. In: PROCEEDINGS OF TECHNOLOGY OF OBJECT-ORIENTED LANGUAGES AND SYSTEMS EUROPE, 16., 1995, Versailles. *Anais...* Versailles: *Technology of Object Oriented Language*, 1995. p.119-126.
- PACHET, François; ROY, Pierre. Musical Harmonization with Constraints: A Survey. *Constraints*, United States, v.6, n.1, p.7-19, 2001.
- PACHET, François; ROY, Pierre. Non-conformant harmonization: The real book in the style of take 5. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL CREATIVITY, 5., 2014, Ljubljana, Slovenia. *Anais...* Ljubljana, Slovenia: Proceedings of ICC, 2014. p.81-84.
- PACHET, François; ROY, Pierre; BARBIERI, Gabriele. Finite-length Markov processes with constraints. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 22., 2001, Barcelona, Spain. *Anais...* Barcelona, Spain: Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2001. p.635-642.
- PAIEMENT, Jean-François; ECK, Douglas; BENGIO, Samy. Probabilistic melodic harmonization. In: CONFERENCE OF THE CANADIAN SOCIETY FOR COMPUTATIONAL STUDIES OF INTELLIGENCE, 19., 2006, Québec, Canada. *Anais...* Québec, Canada: *Advances in Artificial Intelligence*, 2006. p.218-229.
- PESTANA, Pedro. Lindenmayer Systems and the Harmony of Fractals. *Chaotic Modeling and Simulation*, v.1, n.1, p.91-99, 2012.
- PHON-AMNUAISUK, Somnuk; TUSON, Andrew; WIGGINS, Geraint. Evolving musical harmonisation. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL NEURAL NETS AND GENETIC ALGORITHMS, 1999, Portorož, Slovenia. *Anais...* Portorož, Slovenia: *International Conference on Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms*, 1999. p.229-234.
- PHON-AMNUAISUK, Somnuk. Control language for harmonisation process. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MUSIC AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2., 2002, Edinburgh. *Anais...* Edinburgh: *ICMAI*, 2002. p.155-167.

- PONSFORD, Dan; WIGGINS, Geraint; MELLISH, Chris. Statistical Learning of Harmonic Movement. *Journal of New Music Research*, v.28, n.2, p.150-177, 1999.
- RACZYŃSKI, Stanisław A.; FUKAYAMA, Satoru; VINCENT, Emmanuel. Melody Harmonization With Interpolated Probabilistic Models *Journal of New Music Research*, v.42, n.3, p.223-235, 2013.
- RAMIREZ, Rafael; PERALTA, Julio. A constraint-based melody harmonizer. In: PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON CONSTRAINTS FOR ARTISTIC APPLICATIONS, 13., 1998, Brighton. *Anais... Brighton: European Conference on Artificial Intelligence*, 1998.
- RYBNIK, Mariusz; HOMENDA, Władysław. Extension of Knowledge-driven Harmonization Model for Tonal Music. In: THE 2012 INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 2012, IEEE. p.1-8.
- RYBNIK, Mariusz; HOMENDA, Władysław. A Harmonization Model with Partial Fuzzy Knowledge. In: IFSA WORLD CONGRESS AND NAFIPS ANNUAL MEETING (IFSA/NAFIPS), 2013, IEEE. p.1366-1371.
- SHIBATA, Nau. A Neural Network-Based Method for Chord/Note Scale Association with Melodies. NEC Research & Development, Tokyo, Japan, v.32, n.3, p.453-459, 1991.
- SIMON, Ian; MORRIS, Dan; BASU, Sumit. MySong: automatic accompaniment generation for vocal melodies. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING
- SPANGLER, Randall Richard. *Rule-based Analysis and Generation of Music*. Doctoral research. California Institute of Technology, 1999.
- STEEDMAN, Mark. The Blues and the Abstract Truth: Music and Mental Models. In: GARNHAM, Alan; OAKHILL, Jane. *Mental Models in Cognitive Science: Essays in Honour of Phil Johnson-Laird*. Earlbaum: Psychology Press, 1996. p.305-318.
- STEELS, Luc. Learning the craft of musical composition. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 12., 1986, Royal Conservatory of Music, Den Haag, Netherlands. Ann Arbor, MI: Michigan Publishing, University of Michigan Library. p.27-31.
- SUZUKI, Syunpei; KITAHARA, Tetsuro; UNIVERCITY, Nihon. Four-part harmonization using probabilistic models: Comparison of models with and without chord nodes. In: SOUND AND MUSIC COMPUTING CONFERENCE, 10., 2013, Stockholm, Sweden. *Anais... Stockholm, Sweden: Proceedings of the Sound and Music Computing Conference*, 2013. p.628-633.
- SYSTEMS, 26., 2008, Florence, Italy. *Anais... New York, USA: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2008. p.725-734.
- THOMAS, Marilyn Taft. Vivace: A rule based AI system for composition. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 11., 1985, Simon Frasier University, Canada. Ann Arbor, MI: Michigan Publishing, University of Michigan Library. p.267-274.
- TSANG, Chi Ping; AITKEN, Melanie. Harmonizing Music as a Discipline in Constraint Logic Programming. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 17., 1991, Montreal. *Anais... Montreal: International Computer Music Association*, 1991. p.61-61.
- WATSON, Lynda Annette. *Algorithmic Composition for Flute and Accompaniment*. Master's thesis. University of Bath, 2008.
- WIDMER, Gerhard. Qualitative Perception Modeling and Intelligent Musical Learning. *Computer Music Journal*, v.16, n.2, p.51-68, 1992.

WIGGINS, Geraint A. Automated generation of musical harmony: What's missing. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 16, 1999, Stockholm, Sweden.

YI, Liangrong; GOLDSMITH, Judy. Automatic generation of four-part harmony. In: UAI BAYESIAN MODELING APPLICATIONS WORKSHOP, 5., 2007, Vancouver, Canada. *Anais...* Vancouver, Canada: Proceedings of the Fifth UAI Bayesian Modeling Applications Workshop, 2007. p.48-54.

YU, Shun-Zheng. Hidden Semi-Markov Models. *Artificial Intelligence*, v.174, n.2, p.215-243, 2010.

## Complexos particionais

*Pauxy Gentil-Nunes*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro – pauxygnunes@gmail.com*

*Bernardo Ramos*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro – bernardo.ramos.br@gmail.com*

**Resumo:** A aplicação da Análise Particional em turmas de composição ou em processos composicionais e analíticos de pesquisadores mostrou a necessidade de formalização de domínios de ação das partições utilizadas ou encontradas em obras musicais, visando uma aproximação maior entre teoria e prática. No presente artigo estes domínios são considerados dentro do contexto da música de concerto e do particionamento rítmico (textura tradicional), e definidos através do conceito original de *complexos particionais*.

**Palavras-chave:** Composição musical; Análise musical; Análise particional; Complexo particional.

### Partitional Complexes

**Abstract:** Applications of Partitional Analysis in composition classes or compositional and analytical processes by researchers show the need of formalization of domains of partitions used or founded in musical pieces, aiming the approximation between theory and practice. In the present article these domains are observed in the context of concert music and rhythmic partitioning (traditional texture) and summarized in the original concept of *partitional complexes*.

**Keywords:** Musical composition; Musical Analysis; Partitional Analysis; Partitional complex.

## 1. Teoria e prática da Análise Particional

A Análise Particional (doravante, AP; GENTIL-NUNES & CARVALHO, 2003; GENTIL-NUNES, 2009) é um campo de pesquisa construído a partir da aproximação entre práticas composicionais e a Teoria das Partições de Inteiros (ANDREWS, 1998). Seu principal objeto de estudo é a textura musical, vista sob diversos ângulos e aplicações, desde sua acepção mais tradicional (número de elementos musicais concorrentes e suas relações de dependência e interdependência, como visto em BERRY, 1976), até conceitos texturais complementares, alternativos ou mesmo originais, que vêm sendo abordados a partir das estruturas abstratas estabelecidas a partir da teoria em si (por exemplo, textura melódica, como no trabalho de ROCHA, 2015; timbre orquestral, como nos trabalhos de MONTEIRO, 2014; ou forma musical, como nas Unidades Musicais Sistêmicas de FORTES, 2015, em diálogo com o trabalho de **GUIGUE, XXXX**). Há ainda o desenvolvimento em curso de novas aplicações, já previstas anteriormente, como, por exemplo, a espacialização sonora e o

particionamento de espectros, visando a abordagem do timbre no sentido sonológico (GENTIL-NUNES, 2009, p. 57).

Nos primeiros dez anos da pesquisa, conceitos básicos foram estabelecidos e sedimentados e, desde 2014, o projeto “Expansão, integração e novas interlocuções da Análise Particional”, desenvolvido pelo grupo *MusMat* na Escola de Música da UFRJ, tem procurado preencher algumas lacunas que haviam sido deliberadamente deixadas para um momento posterior, de maior aproximação entre a teoria e práticas musicais envolvidas.

O uso das partições em composição e análise mostrou, com o passar do tempo, que a consideração da partição como unidade básica de estruturação é insuficiente para explicar todo o uso prático das configurações texturais.

No presente trabalho, é abordada esta constatação e proposta a ampliação da abrangência de uso das partições, estabelecendo o conceito de *complexos particionais*. Basicamente, são conjuntos de partições constituídos em torno de uma partição de referência e que conferem à formalização (ou ao planejamento composicional) um caráter mais orgânico, flexível, e, assim, mais próximo de seu uso musical.

No presente trabalho, serão consideradas apenas aplicações em música de concerto e dentro do particionamento rítmico (textura tradicional).

## **2. Aplicações composicionais da AP**

Uma das aplicações mais comuns na pedagogia da composição com a AP é o uso do *conjunto- léxico*<sup>1</sup> de uma determinada formação instrumental ou vocal como base para a organização da textura do exercício composicional. Por exemplo, um quarteto de cordas ou madeiras, ou um coro a quatro vozes, possibilita 11 categorias ou configurações: (1), (2), (1+1), (3), (1+2), (1+1+1), (4), (1+3), (2+2), (1+1+2), (1+1+1+1). Na organização da peça, usando estas configurações, seja de forma livre, seja como uma série, é possível valer-se de operações canônicas (transposição, inversão, retrogradação). O ordenamento linear da série pode ser definido por características estruturais e relacionais das partições envolvidas (ver MOREIRA, 2015, p. 81-82 ou **GUIGUE, XXXX**).

---

<sup>1</sup> Lista de todas as partições cobertas pela formação, desde o uso de um instrumento solo até o uso de todo o conjunto em distribuições diversas.

Este exercício pode trazer ao aluno a experiência de articular texturas que espontaneamente não usaria, por questões de hábito. Um dos comentários mais frequentes das turmas da disciplina *Elementos de Composição*<sup>2</sup> a respeito desta prática é o estranhamento dos alunos ao articular a configuração (2+2). De fato, ela é uma das configurações menos usadas na música de concerto, entre as 11 disponíveis, enquanto outras (1+3, por exemplo) são bastante comuns (a distribuição estilística das partições será objeto de pesquisa posterior).

Uma outra observação recorrente é a sensação de aprisionamento causada pela necessidade de definir a partição durante o processo criativo<sup>3</sup>. Isso é compreensível quando consideramos que as configurações texturais se apresentam, no repertório tradicional, sempre como eixos em torno dos quais há oscilações constantes, tendendo a formar padrões mais reticulados, construídos com texturas ornamentais (bordaduras texturais ou texturas de passagem, ver MOREIRA, 2015, p. 82-91).

a) **B** Inquietando-se ♩ = 55 b)

The image shows a musical score for the piece 'Inquietando-se' by Camille Saint-Saëns. It is in 4/4 time and features three staves: Flute (Fl.), Fagot (Fgt.), and Piano (Pno.). The score is divided into two parts, (a) and (b). Part (a) shows the flute part starting with a half note G4, followed by a half note A4, and then a half note B4. Part (b) shows the fagot part starting with a half note G3, followed by a half note A3, and then a half note B3. The piano part (c) starts with a half note G3, followed by a half note A3, and then a half note B3. The score includes dynamic markings (pp, mf, f) and articulation marks (accents, slurs).

**Exemplo 1:** *Sagração de um Fauno na Primavera* (MOREIRA, 2016), início da seção B (c. 14): apresentação das partições (1+1+1+4) – letra (a) e (2+4) – letra (b).

<sup>2</sup> A disciplina *Elementos de Composição* faz parte do programa de Bacharelado em Composição da Escola de Música da UFRJ e é oferecida para calouros, durante os dois primeiros anos. Consiste em oficinas básicas de experimentação e estruturação, com ênfases distintas em seus quatro módulos (pesquisa de materiais sonoros, estruturação melódica, textura e organização formal). A disciplina não é seriada.

<sup>3</sup> Curiosamente, o mesmo exercício, quando foi realizado por um colega professor, compositor experiente, não gerou a mesma reação (o compositor não estava ciente das experiências anteriores com alunos). Ao contrário, seu comentário foi de entusiasmo, não havendo nenhuma restrição com relação a esta ou aquela partição.

Uma parte destas oscilações surge, por outro lado, não por uma necessidade de ornamentação apenas, mas tendo como principal motivação a afirmação da independência entre partes de uma mesma trama textural.

Essa questão pode ser melhor entendida observando um trecho da obra *Sagração de um Fauno na Primavera*, de Daniel Moreira (2016, c. 14), construída inteiramente por uma modelagem sistêmica<sup>4</sup> textural de trechos das obras *Sagração da Primavera* (STRAVINSKY, 1913/1989) e *Prélude à L'Après-Midi d'un Faune* (DEBUSSY, 1892/1981). A análise textural de ambas as obras produziu um vetor de partições que foi usado de forma estrita, gerando tanto as partições rítmicas (textura tradicional) quanto outros tipos de partições (melódicas, por exemplo) da nova obra.

O compositor, em comunicação pessoal, me explicou que foi forçado, em vários momentos, em virtude da proposta, a articular as várias partes de determinadas partições simultaneamente. No caso, as apresentações parciais da configuração em vista desvirtuariam a conexão estrita estabelecida com as sequências particionais das peças de referência. Por exemplo, no início da seção B, foi planejada a articulação das partições (1+1+1+4) e (2+4). Ainda que a afirmação de independência entre as partes levasse a um impulso no sentido da apresentação gradual ou sucessiva dos elementos da trama, foi imperativo que eles entrassem simultaneamente (Exemplo 1).



**Exemplo 2:** *Estudios Sencillos*, I (BROUWER, 1972), c. 1: apresentação das partições (1) – letra (a) e (1+2) – letra (b).

Em análise, também é possível encontrar situações semelhantes, onde o texto indica claramente o uso de uma partição específica, e, no entanto, a apresentação individual de suas partes é ostensiva. A primeira peça dos *Estudios Sencillos*, de Leo Brouwer (1972), por exemplo, é construída inteiramente pela oposição entre o polegar e dedos opostos indicador e médio (ou ainda, entre baixo e centro), mas estes

<sup>4</sup> A Modelagem Sistêmica consiste em um campo teórico que analisa, interpreta e propõe técnicas de reaproveitamento de material extraído de uma obra pré-existente no planejamento composicional de novas obras (CASTRO-LIMA, MESQUITA E PITOMBEIRA, 2016).

elementos eventualmente têm aparição isolada, como no início do Estudo, onde o baixo é apresentado antes do centro, gerando a sequência (1) – (1+2) (Exemplo 2, ver também RAMOS, 2016).

(♩ = 92)

a) *mf* A pei-ne si le coeur vous a con

b) *mf* A pei-ne si le coeur vous a con

c) *mf* A pei-ne si le coeur vous a con

d) 1 1/1

**Exemplo 3:** *A peine si le coeur vous a considérées, images et figures* (MILHAUD, 1934), c. 1-2: apresentação das partições (1) – letra (a), (2) – letras (b) e (1+1) – letras (c). A análise de Berry é indicada pela letra (d), e despreza as letras (b) em favor de uma visão mais generalizada.

Uma segunda situação onde a interação entre partes conduz ao surgimento de partes novas, em um nível menos articulado, encontra-se no próprio exemplo seminal usado por Wallace Berry (1976, p. 187-188) para exemplificar sua codificação textural, ou seja, no coral *A peine si le coeur vous a considérées, images et figures* (MILHAUD, 1934). Ali, Berry observa a construção de uma polifonia crescente, fruto do acúmulo de sucessivas entradas, em um esquema bastante conhecido por compositores e analistas, chamado de *fugato*. Na concepção de análise por janelas (parte integrante e essencial da análise de Berry), algumas inflexões texturais são desprezadas, visando uma análise mais generalizada.

Por exemplo, a entrada de contralto acontece com ataque simultâneo ao tenor, definindo uma partição (2), sem que necessariamente a polifonia seja ameaçada (Exemplo 3b). Ao contrário, a independência entre estas vozes deve incluir também a possibilidade de eventuais coincidências de ataque. Caso as vozes precisassem articular sempre em pontos de tempo diferentes, haveria algum grau de dependência estrutural na construção da trama, ainda que o resultado final pudesse ser interpretado como de

maior independência “sonora” (ver GENTIL-NUNES, 2016, para uma análise comparativa exaustiva entre os diferentes resultados analíticos de Berry e da AP).

Estas duas situações (apresentação parcial da configuração textural e a composição eventual de partes em ataques simultâneos) são bastante ostensivas no repertório da música de concerto e, no presente trabalho, serão tratados como os fundamentos para a constituição dos complexos particionais.

## **2. Estruturação dos complexos particionais**

As *partes*, enquanto somandos de uma partição, sempre estarão concretizadas como notas isoladas ou blocos em tramas musicais. Assim, sua caracterização sempre dependerá de uma definição clara de relações de independência entre elas (tanto no sentido de “contraposição” quanto de “indiferença”). Assim, a reunião de partições em um complexo direcionado para seu uso mais flexível e orgânico deve ser distinguido da conexão de partições relacionadas por operadores particionais<sup>5</sup>, que têm uma função completamente diferente, já estudada em trabalhos anteriores – a de criar progressões e movimentos horizontais.

Essa distinção (partições que constroem domínios estáticos *versus* partições que promovem o movimento) tem um paralelo nos conceitos de *ressonância* e *portamento*, desenvolvidos por Costère (1954), em relação a alturas. A ressonância é constituída por relações proporcionais, que criam uma afinidade harmônica entre alturas, e promove a construção de áreas harmônicas. Já o portamento é uma afinidade de registro, que cria a ilusão da sucessividade e da conexão melódica entre alturas.

Da mesma forma, em uma apresentação parcial de uma textura, é articulada apenas uma distribuição espacial, um espraçamento daquela partição de referência, que forma então áreas de estaticidade. Por outro lado, no caso de uso de operadores particionais (que representam relações de adjacência), a configuração textural se desenvolve em uma direção específica, ou seja, o discurso ganha um impulso horizontal, dirigido. Obviamente, existem exceções para essa distinção (situações onde a partição derivada encontra-se em ambos os casos simultaneamente), mas serão

---

<sup>5</sup> Os operadores particionais são formalizações das relações de adjacência entre partições, e sua aplicação remete às progressões texturais, desenvolvidas no tempo. Os operadores básicos são: redimensionamento (m), revariância (v), transferência (t), concorrência (c), reglomeração (r), e conjugação (j). Para mais informações, ver MOREIRA, 2015, p. 60-70.

estudados em trabalhos posteriores. De uma maneira geral, as funções tendem a ser mutuamente excludentes.

O conjunto-léxico para quartetos gera, a partir destas considerações, combinações de partes (doravante, chamadas de *subpartições*) e somas de partes (chamadas, genericamente, de *subsomas*). No processo, em algumas configurações, ocorre também a combinação de *subpartições* e *subsomas*, sempre dentro do limite da cardinalidade da partição (Tabela 1).

**Tabela 1:** Conjunto-léxico para quartetos: partições, com suas cardinalidades, densidades-número, *subpartições*, *subsomas*, *subpartições* de *subsomas*, e a cardinalidade do complexo particional.

Partição	Card.	DN	<i>Subpartições (Sp)</i>	<i>Subsomas (Ss)</i>	<i>Combinações de sp e ss</i>	<i>Complexo Particional</i>	Cardinalidade do Complexo
(1)	1	1	-	-	-	(1)	1
(2)	1	2	-	-	-	(2)	1
(1+1)	2	2	(1)	(2)	-	(1+1), (1, 2)	3
(3)	1	3	-	-	-	(3)	1
(1+2)	2	3	(1), (2)	(3)	-	(1+2), (1), (2), (3)	4
(1+1+1)	3	3	(1), (1+1)	(2), (3)	(1+2)	(1+1+1), (1), (1+1), (2), (3), (1+2)	6
(4)	1	4	-	-	-	(4)	1
(1+3)	2	4	(1), (3)	(4)	-	(1+3), (1), (3), (4)	4
(2+2)	2	4	(2)	(4)	-	(2+2), (2), (4)	3
(1+1+2)	3	4	(1), (1+1), (1+2)	(2), (3), (4)	(1+3)	(1+1+2), (1), (1+1), (1+2), (2), (3), (4), (1+3)	8
(1+1+1+1)	4	4	(1), (1+1), (1+1+1)	(2), (3), (4)	(1+2), (1+3), (2+2), (1+1+2)	(todo o conjunto-léxico)	11

A definição dos complexos particionais permite a constituição de três grupos distintos de partições:

- 1) As partições massivas ou exclusivamente aglomeradas (1), (2), (3) e (4), que não têm subpartições ou subsomas;
- 2) As partições polifônicas ou exclusivamente dispersas (1+1), (1+1+1), (1+1+1+1), que têm o complexo particional coincidente com o conjunto-léxico referente à sua densidade-número; e

- 3) As partições mistas  $(1+2)$ ,  $(1+3)$ ,  $(2+2)$ ,  $(1+1+2)$ , que têm complexos de composições variadas, de acordo com o número de partes e o número de partes diferentes.



**Figura 1:** Localização dos complexos particionais para as partições do conjunto-léxico de  $n=4$  em particiogramas. As partições de referência estão circuladas em negro.

### 3. Conclusões

A resignificação da partição no contexto de seu complexo reforça a ideia já desenvolvida exhaustivamente em trabalhos anteriores, de consideração das partições dispersas como naturalmente mais complexas, principalmente dentro de uma densidade-número específica, onde o operador de transferência cresce sempre em direção às áreas de polifonia.

Espera-se que a formulação dos complexos particionais possa trazer uma maior flexibilidade e organicidade para o trabalho de análise e composição a partir de ferramentas da AP.

O próprio reconhecimento em si destas relações já traz uma maior consciência e reflexão sobre estas distribuições e estruturações. O detalhamento e desenvolvimento de aplicações é um trabalho deixado para um futuro próximo. Outros particionamentos podem vir a exigir atualizações ou ampliações do conceito, uma vez que o funcionamento prático de cada um apresenta especificidades.

### Referências:

- ANDREWS, G. E. *The Theory of Partitions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- BERRY, W. *Structural Functions in Music*. New York: Dover, 1976.
- BROUWER, Leo. *Estudios Sencillos*. Violão. Paris: Max Eschig, 1972. Partitura.
- CASTRO-LIMA, Marcel, MESQUITA, Gabriel & PITOMBEIRA, Liduino. *Composição do primeiro movimento de Sonatina, para tuba e piano, de Marcel Castro-Lima, a partir da modelagem sistêmica do Ponteio 23 de Camargo Guarnieri*. XXVI Congresso da ANPPOM. Anais... Belo Horizonte: UEMG, 2016
- COSTÈRE, Edmond. *Mort ou transfiguration de l'harmonie*. Paris: Presses Universitaires de France, 1954.
- DEBUSSY, Claude. *Prélude à l'après-midi d'un faune*. Orquestra. New York: Dover Publications, 1892/1981. Partitura.
- FORTES, Rafael. *Particionamento de unidades poiéticas*. XXV Congresso da ANPPOM. Anais... Vitória: UFES, 2015
- GENTIL-NUNES, P.; CARVALHO, A. Densidade e linearidade na configuração de texturas musicais. *IV Colóquio de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Música da UFRJ*. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.
- GENTIL-NUNES, Paxy. *Análise Particional: uma mediação entre composição musical e teoria das partições*. Tese (Doutorado em Música). 371f. Instituto Villa-Lobos, Centro de Artes e Letras, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- GENTIL-NUNES, Paxy. *Análise Particional e Análise Textural*. *XIII Colóquio de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Música da UFRJ*. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2016.
- MILHAUD, Darius. *A peine si le coeur vous a considerée, images et figures. 6 Sonnets*. Paris: Alphonse Leduc, 1934.
- MONTEIRO, Fabio. *A relação entre imagem e textura no Prélude à l'Après midi-d'un faune a partir do texto do poema homônimo de Stéphane Mallarmé*. XXIV Congresso da ANPPOM. Anais... São Paulo: UNESP, 2014.
- MOREIRA, Daniel. *Perspectivas para a análise textural a partir da mediação entre a Teoria dos Contornos e a Análise Particional*. Rio de Janeiro. 210 p. Dissertação (Mestrado em Música). Programa de Pós-Graduação em Música da UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

MOREIRA, Daniel. *Sagração de um Fauno na Primavera*. Flauta, fagote e piano. Rio de Janeiro: Escola de Música da UFRJ, 2016. Partitura.

RAMOS, Bernardo.

ROCHA, Filipe. *Projeto Jongo em Concerto: dualidade rítmica e notação*. XXV Congresso da ANPPOM. Anais... Vitória: UFES, 2015

STRAVINSKY, Igor. *Sagração da Primavera – Introdução*. Orquestra. Mineola: Dover Publications, 1913/1989. Partitura

## O Teorema de não Redundância Intervalar

Silvio Moreira Barbosa Jr.  
Universidade do Estado de São Paulo – silviombj@gmail

**Resumo:** Este trabalho apresentará um novo teorema para complementar o Sistema Riemann elaborado por David Lewin. Sem ele, os objetivos do autor não podem ser alcançados. Com ele, ficam satisfatoriamente divisados os sistemas válidos daqueles que não o são em sua teoria, que representa um passo na formalização de um sistema que compreende a diversidade de casos da música ocidental.

**Palavras-chave:** David Lewin. Sistema Riemann. Lista canônica. Teorema de não redundância.

### The Interval Irredundancy Theorem

**Abstract:** This paper features a new theorem which complements the Riemann system developed by David Lewin. The author's goals can not be achieved without this theorem but, with it, the systems valid are well differentiated from those that are not valid in his theory, which is one step to the formalization of a system that includes all the variety of the Western music.

**Keywords:** David Lewin. Riemann System. Canonical listing. Irredundancy theorem.

Em outra oportunidade (BARBOSA Jr, 2016) mostrei que as funções melódicas e harmônicas de um Sistema Riemann não são garantidas apenas pelo estabelecimento de uma Lista Canônica, conforme afirmou David Lewin (1933 - 2003) em seu artigo (LEWIN, 1982). Agora apresentarei um novo teorema que determina as condições necessárias para satisfazer seus objetivos. Este teorema foi deduzido das regras de formação de seu sistema. Apesar disso, seu trabalho não se deteve o bastante nestas regras a ponto de formulá-lo. Priorizando outros fins, as regras de formação não foram concluídas, o que gerou as falhas no sistema que pretendo apontar. A reconstrução do raciocínio do autor revela a inevitabilidade deste teorema, caso fosse levado a cabo. Como não há espaço para explicar aqui a notação da sintaxe de Lewin, suas regras de formação e de inferência, assim como seu uso da Teoria dos Conjuntos, o leitor deve se remeter às seis definições iniciais de seu artigo e ao estudo sobre elas realizado no meu. Naquela ocasião, Lewin estabeleceu as bases das transformações triádicas através da formalização da música da prática comum (BARBOSA Jr, 2016, p. 2, 3), cuja sintaxe resultante ele chamou de Sistema Riemann (*Riemann System, RS*). Esta formalização decorreu da generalização do sistema diatônico que levou à formulação de uma Lista Canônica, a qual deveria garantir as funções musicais melódicas e harmônicas tanto no sistema tonal quanto em outros sistemas musicais

que satisfizessem as condições de RS. Apesar de certamente estas funções se verificarem nas transformações triádicas abordadas no mesmo estudo, somente em alguns casos são verificadas na Lista Canônica. Em razão disso, concluí naquele trabalho que esta última configura a fórmula da síntese estática entre o espaço harmônico e o espaço melódico (LEWIN, 2011, p. 247), em que as funções se encontram potencialmente, mas cujo ato somente se verifica na síntese dinâmica, operada pelas transformações triádicas (BARBOSA Jr, 2016, p. 7).

Isto se dá pela redundância intervalar na Lista Canônica, em que a força da inversão entre os dois gêneros de tríades, principais e secundárias, dilui-se, anulando a transformação que no sistema diatônico se opera pelo contraste maior/menor. Entre as de um mesmo gênero a relação sempre será de transposição. A relação entre as de gêneros diferentes será sempre de inversão (BARBOSA Jr, 2016, p. 6). Esta é a primeira constante de um RS após se atribuir valores às variáveis que constroem uma Lista Canônica. Por isso, em caso de redundância intervalar, não se pode supor que a inversão entre os gêneros não ocorra, senão que a inversão implica na transposição triádica. A relação entre transposição e inversão continua constante, mas, neste caso, coincide, o que resulta na indiferença entre as tríades principais e as secundárias; justamente aquilo que a estratégia formal parecia querer evitar (idem, p. 7).

Mas ao invés de atentar aos intervalos, um RS estabelece critérios para evitar a redundância entre as alturas. Para Lewin, a redundância por si mesma não inviabiliza um RS, desde que não seja interna a uma determinada tríade. A primeira definição do sistema representa um dispositivo de segurança que evita oitavas neste caso (LEWIN, 1982, p. 26). Sem dúvida, isto importa em um sistema que procura formalizar e classificar transformações triádicas. Para as outras redundâncias que, segundo Lewin, não prejudica um RS, o Teorema de Não Redundância foi elaborado, em que as condições para não haver repetição de classe de altura são estabelecidas. Foi observado que o teorema formaliza as condições já declaradas da primeira definição. A diferença é que nesta são estabelecidas proibições. Elas delimitam um RS em seu conjunto. O teorema apenas estabelece os casos em que um RS será redundante, embora esta redundância também seja encontrada nos casos proibidos pela primeira definição, nos quais não se verificam as propriedades de um RS.

Teorema 1. Para o RS  $(T, d, m)$  não ser redundante é necessário e suficiente que se obtenha as seguintes condições (1) e (2).

- (1) Para  $N=1, 2$  ou  $3$ ,  $Nd$  não é zero. (Isto é, um, dois ou três intervalos dominantes não vêm a ser um número exato de oitavas. Isto é,  $d$  nunca resulta  $0, 6, 4$  ou  $8$  semitons do temperamento por igual.)  
 (2) Para  $N=0, \pm 1, \pm 2$  ou  $3$ ,  $m$  não é igual à  $Nd$ . (Esta condição não exclui a possibilidade que  $m$  possa ser igual a  $-3d$ .) [tradução nossa] (LEWIN, 1982, p. 29).

Com o recurso do teorema podemos compreender a preocupação de oferecer uma gradação desde as possibilidades de formulação de uma Lista Canônica, que não satisfaz as condições de um  $RS$ , até àquelas que operam plenamente suas propriedades. O critério que grada a passagem de um sistema não Riemann ( $\tilde{n}RS$ ) para um  $RS$  é a redundância das classes de altura. Ela conduz as possibilidades musicais desde oitavas internas às tríades da Lista Canônica, nas quais não se observa a diversidade necessária a fim de se obter um  $RS$ , até que esta diversidade seja frutífera. Lewin classifica dois tipos de  $RS$ , redundantes ( $RSr$ ) e não redundantes ( $RS\tilde{n}r$ ). Os  $RSr$  satisfazem as condições de um  $RS$  desde que suas redundâncias ocorram entre tríades, ou seja, seus intervalos de oitava ocorram de uma tríade para outra, e nunca internos à mesma tríade. Lewin exemplifica alguns  $RSr$ , mas não além disto. Seu objetivo é constituir os  $RS\tilde{n}r$  para, a partir deles, classificar os tipos de transformações triádicas. Dos  $RSr$  exemplificados, alguns interessam em particular.

		Tríades Principais						
RS(T, d, m)		T-d	T-d+m	T	T+m	T+d	T+d+m	T+2d
		Tríades			Secundarias			
(DÓ, 8, 4)		FÁ $\flat$	lá $\flat$	DÓ	mi	SOL#	si#	RÉ##
(DÓ, 6, 3)		FÁ#	lá	DÓ	mi $\flat$	SOL $\flat$	si $\flat\flat$	RÉ $\flat\flat$
(DÓ, 7, 2)		FÁ	sol	DÓ	ré	SOL	lá	RÉ
(DÓ, 2, 4)		SI $\flat$	ré	DÓ	mi	RÉ	fá#	MI
(DÓ, 4, 7)		LÁ $\flat$	mi $\flat$	DÓ	sol	MI	si	SOL#
(DÓ, 7, 10)		FÁ	mi $\flat$	DÓ	si $\flat$	SOL	fá	RÉ
(DÓ, 2, 6)		SI $\flat$	mi	DÓ	fá#	RÉ	sol#	MI
(DÓ, 4, 2)		LÁ $\flat$	si $\flat$	DÓ	ré	MI	fá#	SOL#

**Figura 1:** Exemplos de Sistemas Riemann redundantes (LEWIN, 1982, p. 28)

Conforme se observa na tabela acima (fig. 1), as redundâncias assumem suas diferentes funções conforme a posição que ocupam na Lista Canônica, e os acordes respectivos correspondem ao mesmo critério. Lewin espera que por este procedimento as sete funções melódicas e as respectivas cinco funções de acorde sejam preservadas

e operem a síntese entre o espaço melódico e o espaço harmônico na coleção musical observada (LEWIN, 2011, p. 247). A passagem pelos  $RSr$  para os  $RS\tilde{r}$  a partir das proibições revela uma estratégia de formalização que parte da indiferença das classes de altura até sua plena diferenciação. Por esta razão é importante retomar as proibições já indicadas na primeira definição. Ainda que elas sejam abarcadas pelo teorema de não redundância, vale lembrar que Lewin não considera a redundância um impedimento para a construção de um  $RS$ , a não ser que ela se dê internamente à tríade, possibilidade que estas proibições procuram evitar.

Definição 1: Por um Sistema Riemann ( $RS$ ) se entende um ordenamento triplo  $(T, d, m)$  em que  $T$  é uma classe de altura e  $d$  e  $m$  são intervalos, observando a restrição de que  $d \neq 0$ ,  $m \neq 0$ , e  $m \neq d$ . [tradução nossa] (LEWIN, 1982, p. 26)

Estes são casos em que oitavas ocorrem na mesma tríade, semanticamente falando. Estes sistemas também são redundantes, embora não satisfaçam um  $RS$ . Todavia, a propriedade da redundância não é declarada por Lewin neste tipo de sistema. Talvez procurasse evitar com isso a confusão entre os  $RSr$  que considerou satisfazer as condições de um  $RS$  com aqueles que não as satisfazem. Mas não se pode negar que as proibições da primeira definição e as condições do Teorema de não Redundância estão em essência relacionadas. O critério que as estabelece pode ser compreendido sob o mesmo princípio da redundância. Apesar de não considerar importante este detalhe, ele é uma consequência necessária de seu sistema; portanto, um corolário. Com isso, um processo singular que poderia ser deduzido das próprias regras de formação continua latente com respeito à sua explicitação. Se explicitado, ele pode descrever outro tipo de transformação implícita na formalização proposta por Lewin. A sintaxe será acrescida, mas não de signos elementares, senão da formalização dos tipos de sistemas e suas propriedades, em alguns casos convergentes. Do ponto de vista da semântica, a referida transformação indica a busca da suficiente diferenciação das classes de altura para o estabelecimento das tríades, segundo as condições de um  $RS$ , a fim de classificar as transformações.

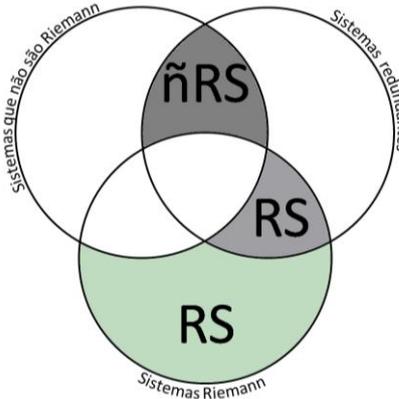
Trata-se de duas qualidades de transformação, portanto. A transformação agora considerada vai das redundâncias extremas de oitavas para a plena diversidade das alturas sem redundância em um determinado  $RS$ . Esta transformação não realiza operações nos sistemas quando já estabelecidos pela Lista Canônica. Diferentemente

disto, apenas permite compreender por qual razão específica os tipos de sistemas considerados pela formalização de Lewin se distingam uns dos outros, ainda que derivados do mesmo princípio. Esta transformação implica na construção do próprio *RS*, desde as variáveis em que os seus termos permanecem indistintos, até a progressiva distinção e diversidade de suas variedades válidas, qualitativamente cada vez mais ricas. Por esta razão, esta transformação está associada às regras de formação, enquanto as transformações triádicas, às de inferência.

Não se trata de uma transformação linear e progressiva, mas um processo cujo termo exclui o outro pólo. A exclusão não configura a constante do processo, mas o caso dos tipos extremos, quando estes são dispostos em uma determinada série. Por sua vez, a contiguidade dos tipos é determinada pelo pertencimento do antecedente no conseqüente, ao menos em uma das direções da série, cuja pertença resulta de uma das propriedades que partilham. A progressiva pertença de propriedades resulta na mútua exclusão dos tipos extremos. Nisto consiste a peculiaridade da série. Pela diferenciação se dar sobre as classes de altura, o Teorema de não Redundância assinala todos os operadores de intervalo pelos quais as redundâncias são produzidas, inclusive aquelas proibidas. Necessariamente são determinados três grupos de propriedades gerais, aquelas que não são próprias de um *RS*, aquelas próprias aos redundantes e aquelas próprias aos *RS*. Dos *RS*, alguns são redundantes, mas alguns sistemas redundantes não são *RS*. Por outro lado, todos que não são *RS*, são redundantes, enquanto todos os redundantes restantes são *RS*. Por isso há duas propriedades de *RS*, redundantes e não redundantes, como há duas propriedades de sistemas redundantes, Riemann e não Riemann. Assim, temos apenas três tipos de sistemas bem definidos, os sistemas redundantes que não são Riemann (*rñRS*), os *RSr* e os *RSñr*, entre os quais algumas propriedades são partilhadas e outras resultam em mútua exclusão, conforme expressa o Diagrama de Venn na figura 2.

Portanto, necessariamente implica alguma redundância a todo *ñRS*. É o grau da redundância que não satisfaz as condições de um *RS*. Isto não fica evidente justamente pelas proibições se encontrarem contidas nas condições do Teorema de não Redundância. Também por isso não se tem um critério deduzido tão somente a partir do princípio de redundância, cuja propriedade por essa razão se encontra presente nos tipos que se excluem. As regras de formação são determinadas tendo em vista a construção de uma Lista Canônica já pressuposta segundo o modelo legado por

Gioseffo Zarlino (1517 - 1590), cuja generalização permitirá que outras Listas Canônicas sejam construídas tão funcionais e operativas quanto o conjunto diatônico (LEWIN, 1982, p. 26, 31 – 35, 59, 60).



**Figura 2:** Diagrama de Venn dos tipos de sistema

Quando as proibições da primeira definição são assinaladas entre as condições do Teorema de não Redundância, o tipo dos sistemas que não satisfazem as condições de um *RS* se revela compreendido pelas propriedades dos sistemas redundantes. Quando, por sua vez, o tipo de sistemas redundantes é compreendido pelas propriedades dos *RS*, pelo mesmo processo de compreensão o primeiro tipo é excluído, totalizando o ordenamento da série, através do qual seus membros são tipificados e suas propriedades, distribuídas. A partir deste processo o raciocínio de Lewin parte da indiferença de classes de altura para a sua plena diferenciação. Foi pela importância da propriedade de redundância que sentiu a necessidade de elaborar um teorema de suas condições, justamente no momento em que se divisam as definições que constroem a Lista Canônica daquelas que operam as transformações, ou seja, as regras de formação das regras de inferência.

Ao se alinhar as proibições com as condições de não redundância, desdobrando todas as suas possibilidades, são encontradas as oitavas a partir de fórmulas ordenadas. Das proibições até os últimos desdobramentos de redundância se observa uma gradativa diferenciação. Conforme a imagem seguinte (fig. 3), em duas colunas este desdobramento se observa. Em uma, as consequências da primeira condição do Teorema de não Redundância, em que predomina os valores de *d*. Em outra, às da segunda condição, em que predomina os valores de *m*. As colunas se dividem em dois conjuntos de linhas, um compreendendo *rñRS* e outro, *RSr*. A primeira coluna grada de *T* as operações entre *d* e *T*, e a segunda, as operações entre *m*

e T das operações entre d e T. Isto é necessário para a constituição das tríades. De cima para baixo, a redundância interna à tríade se verifica. Inicialmente ela inviabiliza o sistema, mas progressivamente é repelida para os intervalos entre tríades, condição suficiente para satisfazer um *RS*, segundo Lewin. O progresso desta condição se grada pelos valores indicados no teorema, representando as linhas da tabela. Semanticamente falando, as oitavas, ao serem repelidas dos intervalos internos à tríade para os intervalos entre elas, marcam a passagem de *rñRS* para *RSr*. Neste último tipo as oitavas se somam progressivamente, até que ultrapassam a magnitude da Lista Canônica, marcando a passagem de *RSr* para *RSñr*.

	Condição (1)	Condição (2)	
N=0	$\emptyset$	para $Nd=m$ então $m=0$ incorre proibição portanto $T=T+d=T+m$ Definição 1: $m \neq 0$	rRS
N=1	para $Nd=0$ então $d=0$ e $T:d$ incorre proibição portanto $T=T+d$ Definição 1: $d \neq 0$	para $Nd=m$ então $m=d$ incorre proibição portanto $T+d=T+m$ Definição 1: $m \neq d$	
N=-1	$\emptyset$	para $Nd=m$ então $m=-d$ $T=T+d+m$ portanto $T-d=T+m$	RSr
N=2	para $Nd=0$ então $d=6$ e $T:2d$ $T-d=T+d$ portanto $T=T+2d$ $T-d+m=T+d+m$	para $Nd=m$ então $m=2d$ portanto $T+m=T+2d$ $T-d+m=T+d$	
N=-2	$\emptyset$	para $Nd=m$ então $m=-2d$ $T-d=T+d+m$ portanto $T+m=T-2d$	
N=3	para $Nd=0$ então $d=4$ ou $d=8$ $T-d=T+2d$ portanto $T=T+3d$	para $Nd=m$ então $m=3d$ portanto $T+m=T+3d$ $T-d+m=T+2d$	

Figura 3: Tabela do Teorema de não Redundância

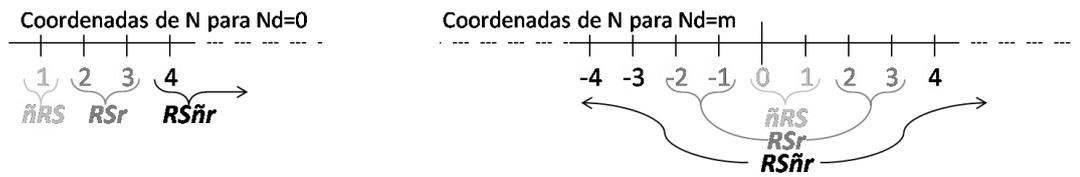
Em razão do cálculo por módulo dos conjuntos musicais já anteriormente formalizados por Allen Forte (1926 – 2014), a verificação das redundâncias de oitava é precisamente determinada pelos valores que operam a variável d. Em cada uma das linhas é indicada uma igualdade que ou representa um uníssono do ponto de vista semântico, ou uma oitava, interna ou externa à tríade. Esta igualdade entre os termos da Lista Canônica é expressa em uma fórmula e inscrita em uma caixa em cada linha da tabela do teorema. Nas caixas pontilhadas estão suas consequências. Elas facilitam a compreensão das redundâncias implicadas em cada caso, quando reinseridas na Lista Canônica. Por exemplo, o intervalo redundante esdrúxulo  $T+m=T+3d$ , cuja última classe de altura não pertence à fórmula da Lista Canônica, pode ser compreendido pelo intervalo reinserido  $T-d+m=T+2d$ . A mesma operação deve ser realizada em outros intervalos redundantes, para que formalmente se explicita todas as oitavas de uma

determinada lista. Estas fórmulas, as quais semanticamente não indicam outra coisa que estas oitavas, acusam uma peculiar espécie de progressão conforme já mencionado, em que as oitavas acumuladas tendem a ser repelidas nesse processo. O intervalo redundante limite é o esdrúxulo representado em sua forma normal por  $T=T+3d$ . Na forma necessária para a sua reinserção, a saber,  $T-d=T+2d$ , ele assinala os membros limites da Lista Canônica, que no conjunto diatônico corresponderia a um intervalo de oitava entre a fundamental da subdominante e a quinta da dominante. Das oitavas internas à tríade a partir das equivalências, expressas por  $T=T+m$  e  $T+m=T+d$ , progridem para oitavas cada vez mais espaçadas até o intervalo limite expresso pela última fórmula. Este conjunto formaliza com precisão o progresso e a passagem entre os tipos de sistema. Veja na figura 4.

$T=T+d$	$T-d=T+m$ $T+m=T+2d$ $T=T+2d$ $T+m=T-2d$ $T+m=T+3d$ $T=T+3d$	$T-d\neq T+m$ $T+m\neq T+2d$
$T=T+m$	$(T\neq T+d)$ $(T\neq T+m)$ <b>RSr</b> $(T+m\neq T+d)$	<b>RSñr</b> $T\neq T+2d$
$T+m=T+d$		$T+m\neq T-2d$ $T+m\neq T+3d$ $T\neq T+3d$

**Figura 4:** Tabela de progressão de fórmulas do Teorema de não Redundância

A peculiar espécie de progressão estabelecida pelo Teorema de não Redundância é mais facilmente compreendida por esta tabela. As fórmulas inscritas na casa  $\tilde{n}RS$  são as consequências para  $Nd=0$ , quando  $N$  equivaler a 1, e para  $Nd=m$ , quando  $N$  equivaler a 0 ou 1; as fórmulas da casa  $RSs$ , para  $Nd=0$ , quando  $N$  equivaler a 2 e 3, e para  $Nd=m$ , quando  $N$  equivaler a -1, 2, -2 e 3. Na casa  $RSñr$ ,  $N$  poderá equivaler a quaisquer outros valores excetuando os elencados anteriormente. Os valores de  $N$  também indicam uma progressão similar. Embora abstraídos das relações de intervalo, eles mostram o raciocínio de Lewin partindo de um ponto incapaz de estabelecer as diferenças necessárias à tríade, até alcançar as condições necessárias para satisfazer um  $RS$ . Dispostos nas coordenadas dos números naturais para a primeira condição e dos números inteiros para a segunda, os valores de  $N$  se ordenam em uma expansão com apenas uma direção para  $Nd=0$  e com duas direções simultâneas para  $Nd=m$ . Partindo sempre dos  $\tilde{n}RS$ , eles atravessam os redundantes válidos até entrarem no domínio infinito dos não redundantes, cada qual em suas respectivas direções, conforme expresso na figura 5.



**Figura 5:** Coordenadas de N para  $Nd=0$  e  $Nd=m$

Por estas razões a semântica do Teorema de não Redundância não designa apenas as restrições necessárias para evitar incidências de oitava na Lista Canônica. Bem mais do que isto, ele explicita a gradação do processo de diferenciação interna do sistema associado às regras de formação, do qual podemos deduzir um princípio e pelo menos três corolários. O princípio que foi explicitado neste trabalho para um *RS* é o de redundância. Ainda que ele não perpassa todo o sistema, ao menos Lewin parece assim supô-lo, razão pela qual para esta sintaxe a redundância representa um princípio. O primeiro corolário evidencia que a diferenciação ordenada dos termos da fórmula bem formada do sistema implica na diversidade de classes de altura e intervalos. Para que sua racionalidade seja consistente com um *RS*, a Definição 1 deve ser satisfeita, resultando na não redundância interna a quaisquer tríades da Lista Canônica, conforme apresentadas nas Definições 2 e 5, mas somente entre outras posições da Lista Canônica, posições estas entre tríades, seguindo a regra de formação estabelecida pela Definição 4. O segundo evidencia que as proibições da Definição 1 são compreendidas e melhor sistematizadas pelas condições do Teorema de não Redundância, o que determina que para satisfazer as condições de um *RS* é necessário o princípio de redundância. O terceiro evidencia que os valores de *N* representam a progressão diferenciadora que gradativamente satisfaz as condições de um *RSñr*, cujas etapas formalizam com precisão o grau de diferenciação de um *RS*.

Desejo agora assinalar um problema com o auxílio do segundo corolário que acabo de formular. Apesar de Lewin já haver dado conta das proibições da primeira definição com o teorema, o problema é que este último não é suficiente para diferenciar um *RS* de *ñRS*. Ele apenas formaliza e grada as redundâncias. As proibições são necessárias justamente porque na concepção de Lewin todo sistema que não satisfaz as condições de um *RS* é redundante, mas nem todo sistema redundante é incapaz de satisfazer estas condições. Embora seja a redundância o que inviabiliza um *RS*, não é qualquer redundância que o inviabilizará. Lewin não explicita totalmente o seu raciocínio, mas dele pode se deduzir que a diferença entre sistemas viáveis e inviáveis

corresponde ao grau de redundância, e que enquanto o teorema apenas oferece uma formulação para cada um deles, a primeira definição demarca a fronteira que atende as condições de um *RS*. Isto é, enquanto o teorema quantifica os graus de redundância, a primeira definição permite qualificá-los. Se esta estratégia nas regras de formação é suficiente, então todos os sistemas redundantes que não infringem as proibições da primeira definição satisfazem um *RS*.

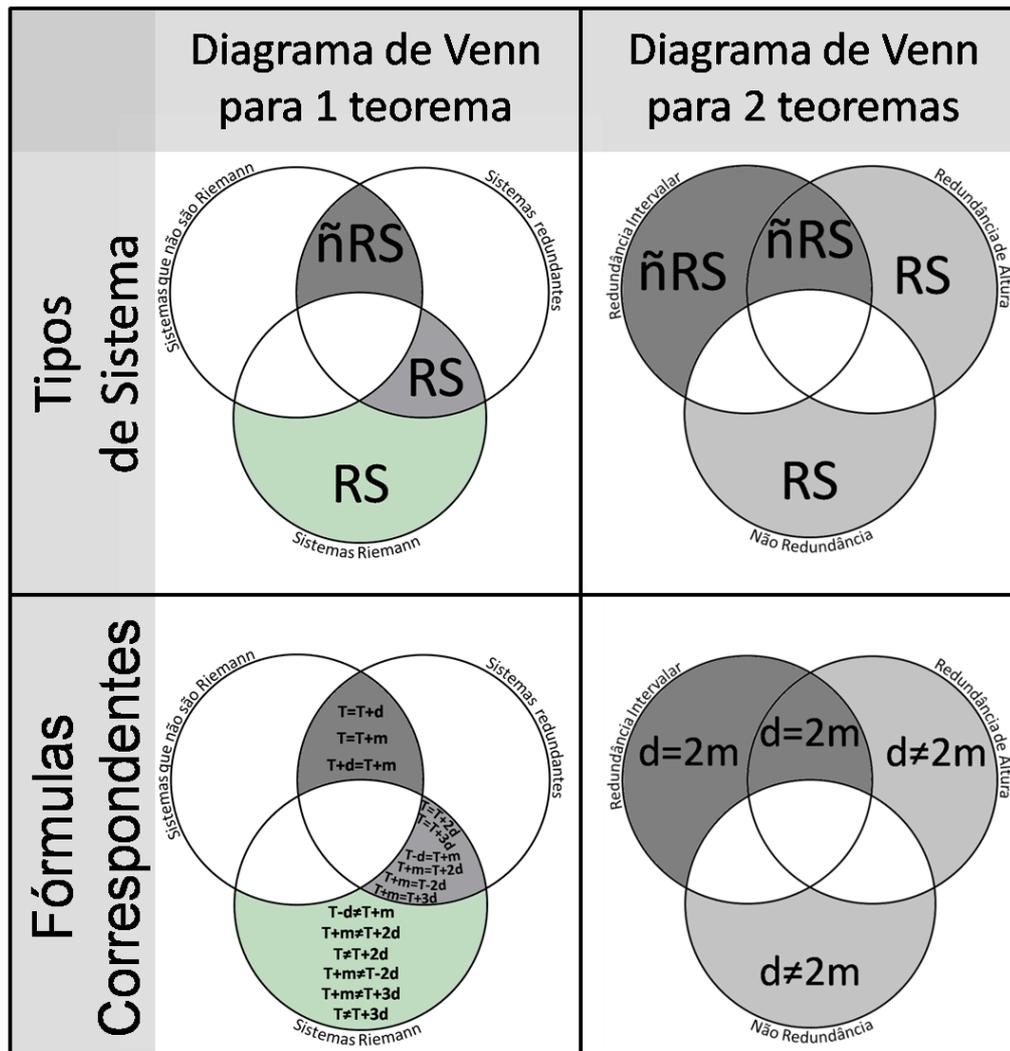
Declaro serem insuficientes as proibições da primeira definição para satisfazer as condições de um *RS*. Se por estas condições entende-se garantir as sete funções melódicas e as cinco funções harmônicas, então nem todos os exemplos sugeridos pelo próprio Lewin em seu artigo são capazes de satisfazê-las. Dos exemplos redundantes conforme apresentados na figura 1,  $RS(DÓ, 8, 4)$ ,  $RS(DÓ, 6, 3)$  e  $RS(Dó, 4, 2)$  não satisfazem as condições de um *RS*. O primeiro ordena as tríades pelo encadeamento do acorde aumentado, não havendo outra classe de tríade para lhe contrastar, nem outra classe de intervalo 4. Embora as funções possam entrar em exercício nas eventuais transformações, elas apenas podem estar em potência na Lista Canônica. Neste caso, conforme já apresentado em meu trabalho anterior, elas dependem de uma transformação para serem postas em ato (BARBOSA Jr, 2016, p. 7). Isto ocorre porque apesar da sintaxe procurar salvaguardar duas variáveis de intervalo, o cálculo a partir dos valores de  $RS(DÓ, 8, 4)$  resulta em um único intervalo para o sistema. Sem a diferença intervalar, a inversão entre os gêneros principais e secundários de tríade coincide com a transposição interna a cada gênero, não satisfazendo a condição de diferença entre os gêneros das tríades para garantir a função harmônica. Esta mesma ausência de diferença implica simultaneamente na impossibilidade de se garantir as funções melódicas. Tudo que se disse do sistema anterior serve para  $RS(DÓ, 6, 3)$ , em que se encadeia o acorde diminuto a partir de um único intervalo, 3; e de  $RS(DÓ, 4, 2)$ , em que se ordena a escala hexatônica, operada somente pelo intervalo 2, também único intervalo presente em suas tríades. A coincidência nesses casos implica em as formas triádica e melódica ser a mesma.

Os sistemas redundantes indicados, ainda que satisfaçam as condições estipuladas pelas regras de formação, não atendem às propriedades gerais de um *RS*. Nenhum deles sustenta sete funções melódicas e cinco harmônicas, mas não em razão de um determinado grau de redundância entre as classes de altura, senão pela redundância da classe de intervalo. Diferentemente da classe de altura, o sistema foi

concebido para gerar pelo mesmo processo dois intervalos melódicos e dois harmônicos. Nos casos indicados, somente um intervalo é obtido, e ele termina por ser o mesmo, tanto melódico como harmonicamente. Das regras de formação se pode concluir que a primeira definição não demarcou precisamente os limites entre sistemas redundantes válidos e inválidos para um *RS*. Pode parecer decorrer disto que o grau de redundância deva ser reformulado para incluir mais alguns redundantes sob o critério de invalidade. Todavia, pelo menos um sistema não redundante listado por Lewin também apresenta as mesmas características (LEWIN, 1982, p. 30). Trata-se de *RS* (DÓ, 2, 1). Sua Lista Canônica não tem intervalos que venham a ser um número exato de oitavas. Em concordância ao seu próprio critério de redundância, Lewin o lista entre os não redundantes, considerando-o um sistema que satisfaz plenamente as condições estabelecidas. Justamente estas não podem ser satisfeitas tendo em vista que, ao produzir um resultado cromático, ele incorre nas características relativas aos três sistemas redundantes já mencionados, ainda que não apresente nenhuma repetição de classe de altura.

Concluo que não é o grau da redundância da classe de altura que demarca a região de validade de um *RS*. Lewin considerou apenas este tipo de redundância. O tipo de redundância que determina a validade do sistema recai sobre a classe de intervalo. Isto significa que Lewin apresentou um Teorema de não Redundância de Classe de Altura, mas as regras de formação de um *RS* ainda necessitam de um Teorema de não Redundância Intervalar. O último é mais simples que o primeiro, e embora não grade as redundâncias de classe de altura, estabelece com precisão o limite de validade do sistema. Ele estabelece que para um *RS*,  $d$  deve ser diferente de  $2m$ . Sempre que ocorrer o contrário, haverá um único intervalo no sistema, tanto harmônico quanto melódico, o que diluirá a diferença necessária para o estabelecimento das funções. Vale frisar que para o caso de  $d=2m$ , tendo uma variável o valor zero, a outra também terá. Portanto, este novo teorema também compreende as proibições da primeira definição, sistematizando-as ao seu modo. Os casos proibidos de  $d=0$  e  $m=0$  são apenas consequências de  $d=2m$ , quando o valor desta igualdade for zero, indicando semanticamente oitavas internas à tríade. Verifica-se assim que nem todos os sistemas inválidos são redundantes do ponto de vista da classe de altura, mas são redundantes necessariamente do ponto de vista intervalar. O Teorema de não Redundância Intervalar expressa de modo plenamente formalizado o viés qualitativo que antes era

apenas normatizado pela primeira definição. A redundância continua o princípio do sistema, mas derivando a construção de dois teoremas, um relativo às classes de altura e outro relativo aos intervalos, construídos pelo mesmo processo e essencialmente relacionados. Todo  $RS\tilde{n}r$ , seja em classe de altura, seja em intervalo, está em um ponto de uma coordenada que representa um processo de diferenciação, cujo critério classificatório e condutor é a redundância, nem que seja para ser evitada. Dos sistemas elencados, alguns são Riemann, alguns são redundantes, conforme suas propriedades, mas para ser capaz de garantir sete funções melódicas e cinco harmônicas desde a fórmula bem formada da Lista Canônica, é necessário e suficiente que  $d \neq 2m$ . Em seguida (fig. 6) é apresentada a distinção entre um  $RS$  com o teorema original tão somente e como ele se reordena de modo satisfatório e bem mais simples acrescido do outro.



**Figura 6:** Diferenças entre diagramas de Venn para tipificação de Sistemas Riemann com fórmulas correspondentes para 1 e 2 teoremas

## Referências

- BARBOSA Jr, S. M.; SALLES, P. T. Ato e potência das funções melódicas e harmônicas do Sistema Riemann. Belo Horizonte: Anais do XXVI Congresso da ANPPOM, 2016. P. 1 – 8. Disponível em: <[www.anppom.com.br/publicações/anais-da-anppom](http://www.anppom.com.br/publicações/anais-da-anppom)>. Acesso em 12/09/2016.
- LEWIN, David. *Generalized Musical Intervals and Transformations*. Oxford e New York: Oxford University Press, 2011. (Publicada originalmente pela Yale University Press, 1987).
- LEWIN, David. A Formal Theory of Generalized Tonal Functions. *Journal of Music Theory*, v. 26, n. 1, published by Duke University Press on behalf of the Yale University Department of Music (Spring, 1982), pp. 23-60. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/843354>>. Acessado em 04/06/2008.