

Guilherme Rafael Soares

# **Luteria Composicional de algoritmos pós-tonais**

**14 de março de 2014, v0.3beta**



Guilherme Rafael Soares

## **Luteria Composicional de algoritmos pós-tonais**

Prévia da dissertação para a banca de qualificação para o Mestrado em Arte, Cultura e Linguagens do IAD-UFJF.

UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Artes e Design

Programa de Pós-Graduação em Artes, Cultura e Linguagens

Orientador: Prof. Dr. Daniel Quaranta

14 de março de 2014, v0.3beta

---

Guilherme Rafael Soares

Luteria Composicional de algoritmos pós-tonais / Guilherme Rafael Soares. – ,  
14 de março de 2014, v0.3beta-  
85 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Quaranta

Tese (Mestrado) – UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Artes e Design

Programa de Pós-Graduação em Artes, Cultura e Linguagens, 14 de março de 2014,  
v0.3beta.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. I. Orientador: Prof. Dr. Daniel Quaranta  
II. UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora. III. Instituto de Artes e Design  
IV. Luteria Composicional de algoritmos pós-tonais

CDU 02:141:005.7

---

Guilherme Rafael Soares

## **Luteria Composicional de algoritmos pós-tonais**

Prévia da dissertação para a banca de qualificação para o Mestrado em Arte, Cultura e Linguagens do IAD-UFJF.

Trabalho aprovado , 05 de março de 2014:

---

**Prof. Dr. Daniel Quaranta**  
Orientador

---

**Professor**  
Convidado 1

---

**Professor**  
Convidado 2

14 de março de 2014, v0.3beta



*“Quantas vezes me pergunto se isto não é mais do que escrita, numa época em que corremos para o engano entre equações infalíveis e máquinas de conformismos? Mas perguntar se saberemos encontrar o outro lado do hábito ou se mais vale se deixar levar pela sua alegre cibernética, não será mais uma vez literatura? Revolta, conformismo, angústia, alimentos terrestres, todas as dicotomias: o Yin e o Yang, a contemplação (...) e, finalmente; um encolher de ombros, a paz, o parafuso foi a paz, ninguém podia passar pela rua sem olhar de soslaio para o parafuso e sentir que ele era a paz. (CORTAZAR, 1963)*





# Resumo

Esta pesquisa visa problematizar e sistematizar um catálogo de experimentos constituído de pequenas peças musicais e seus algoritmos geradores, objetivando a construção de uma biblioteca de objetos para composição assistida por computador que gere partituras baseadas em pequenas regras extraídas de análises.

Os procedimentos utilizados são derivados de aspectos intervalares singulares encontrados em algumas peças da suíte Mikrokosmos do compositor Béla Bartók. Este repertório foi escolhido devido a seu reconhecido contexto como composições pianísticas e pedagógicas situadas nas fronteiras da pós-tonalidade.

Formalizamos tais aspectos através de um estudo comparado de dois paradigmas de análise musical aplicáveis a estas peças: "A Teoria Gerativa da Música Tonal" (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983) com algumas de suas continuidades propostas (LERDAHL, 2009; TEMPERLEY, 2004) e a teoria dos conjuntos e classes de alturas cromáticas. (FORTE, 1973; STRAUS, 2004)

Apontamos as limitações encontradas na aplicação dos paradigmas analíticos adotados aqui no contexto da suíte de peças escolhidas.

Detalhamos questões computacionais para esta implementação e deixamos um legado de código aberto para continuidades possíveis deste trabalho.

**Palavras-chaves:** Música algorítmica. Pós-tonalismo. Teoria dos conjuntos. Pitch class theory. Luteria. Composição assistida por computador. Cibernética. Software livre. Cognição musical.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo da aplicação da PRPR2 . . . . .	30
Figura 2 – Gerador de um acorde Dó maior (dó4 e4 g5) na clave de sol em Lilypond . . . . .	35
Figura 3 – Gerador de uma nota dó4 na clave de sol em MusicXML . . . . .	36
Figura 4 – Fluxograma de Lerdahl (2009) para a GTTM . . . . .	44
Figura 5 – Agrupamento de motivos do início da sinfonia K550 de Mozart. . . . .	44
Figura 6 – Exemplos de agrupamentos “mal formados” de acordo com a regra GWFR5 . . . . .	45
Figura 7 – Open Music 01 . . . . .	47
Figura 8 – Elisao ou Contração . . . . .	48
Figura 9 – Formalização visual dos problemas de elisão e sobreposição de camadas na GTTM. (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.69) . . . . .	48
Figura 10 – Notação analítica proposta pela GTTM que marca uma hierarquia das batidas por subdivisões de pulsos . . . . .	49
Figura 11 – Notação analítica proposta pela GTTM para a ramificação dos intervalos- temporais. . . . .	51
Figura 12 – Exemplo da aplicação da PRPR2 . . . . .	54
Figura 13 – Extensão das regras de GTTM na obra “Tonal Pitch Space” propostas por Lerdahl (2009) . . . . .	57
Figura 14 – Legatto das melodias sugere a segmentação . . . . .	61
Figura 15 – Segmentação em árvore prolongacional de Mikrokosmos 113 ao estilo GTTM . . . . .	61
Figura 16 – Secção A . . . . .	62
Figura 17 – Secção B . . . . .	62
Figura 18 – Secção C . . . . .	62
Figura 19 – Secção D . . . . .	62
Figura 20 – Análise das seções por condução de vozes . . . . .	63
Figura 21 – Pitch space melodia . . . . .	63



# Lista de abreviaturas e siglas

GTTM	Generative Theory of Tonal Music <sup>1</sup>
TPS	Tonal Pitch Space

---

<sup>1</sup> "Teoria Gerativa da Música Tonal"([LERDAHL; JACKENDOFF, 1983](#))



# Sumário

<b>Introdução</b>	<b>15</b>
<b>I Problematização Computacional</b>	<b>19</b>
<b>1 Considerações históricas e filosóficas sobre Música Algorítmica</b>	<b>21</b>
1.1 Autômatos Musicais	21
1.1.1 Arqueologia dos Autômatos	21
1.1.2 Jogo de dados musicais	22
1.1.3 Criptoestética e Estocástica	22
1.1.4 Complexidade e Emergência de Padrões	23
1.1.5 Inteligência Artificial Musical	23
1.1.6 Os Problemas do “Conceito como Algoritmo” e do “Algoritmo como conceito”	25
<b>2 Composição Assistida por Computador</b>	<b>29</b>
2.1 Linguagens Dataflow	29
2.1.1 OM	29
2.1.1.0.1 chord-seq	30
2.1.1.0.2 classe permutation	31
2.1.1.0.3 classe math	31
2.1.2 PD	31
2.1.2.1 biblioteca Maxlib	32
2.1.2.2 biblioteca RTC-lib	32
2.1.2.3 objeto [probalizer]	32
<b>3 Arquivos e Scripts para Segmentação de Dados Musicais</b>	<b>33</b>
3.1 MIDI	33
3.2 Lilypond	35
3.3 MusicXML	35
3.4 Bibliotecas Python auxiliares	36
3.4.1 Abjad	36
3.4.2 Music 21	36
<b>II Paradigmas para uma Análise Musical Pós-Tonal</b>	<b>37</b>
<b>4 Formalização linguística de gramáticas musicais</b>	<b>39</b>
4.1 Gramáticas Musicais Computáveis	40
4.1.1 Simbólico e Icônico	41
4.2 Gramática Gerativa da Música Tonal (GTTM)	42

4.2.1	Regras de boa formatividade dos agrupamentos (GWFRs) . . . . .	44
4.2.1.1	Regras de preferência para agrupamentos (GPRs) . . . . .	45
4.2.2	Regras de boa-formação métrica (MWFRs) . . . . .	48
4.2.2.1	Regras de preferência Métrica (MPFRs) . . . . .	50
4.2.3	Regras de redução do intervalo-temporal . . . . .	50
4.2.3.1	Redução de regras de boa-formação para intervalos-temporais (TSRWFRs) . . . . .	51
4.2.3.2	Regras de Preferência para Redução de Intervalo-Temporal(TSRPR) . . . . .	51
4.2.4	Regras de boa-formação da redução prolongacional (PRWFRs) . .	52
4.2.4.1	Regras de preferência para reduções prolongacionais (PRPRs)	53
4.3	Restrições Cognitivas dos Sistemas Compositivos . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Teoria de Grupos e Alturas Cromáticas . . . . .</b>	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>Análises . . . . .</b>	<b>61</b>
6.1	Análise de Mikrokosmos 113 Bela Bartok . . . . .	61
<b>III</b>	<b>Luteria Composicional . . . . .</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>Aplicação de estruturas sugeridas pelas análises musicais em procedimentos algorítmicos clássicos . . . . .</b>	<b>67</b>
	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>69</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>71</b>
	<b>Apêndices . . . . .</b>	<b>75</b>
	<b>APÊNDICE A Repositório de Códigos . . . . .</b>	<b>77</b>
	A.0.1 Biblioteca de Algoritmos . . . . .	77
	<b>Anexos . . . . .</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXO A Tabela de Pitch Class Set de Allen Forte . . . . .</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO B Regras da Teoria Gerativa da Musica Tonal . . . . .</b>	<b>85</b>



# Introdução

Desde o momento que o computador sai do estúdio experimental dos aparelhos caros e institucionais e possibilita o processamento de dados em tempo real em gadgets que cabem no nosso bolso (e cada vez mais até dentro dos nossos corpos) fala-se constantemente na possibilidade de interação com a transformação de dados audiovisuais por uma computabilidade da escritura composicional ou do gestual performático.

Em seu livro sobre mediação tecnológica contemporânea na composição Fernando Iazzetta (2009) fala sobre um tipo de luteria que surge do experimento de estúdio migrando para os computadores pessoais, onde a criação dos instrumentos (que na verdade são códigos, procedimentos computacionais, "patches") agora já faria parte do processo composicional:

“Mesmo porque, muitas vezes, o trabalho de composição se confunde com o trabalho de criação dos instrumentos que serão usados na composição. O conhecimento do funcionamento interno destes instrumentos e a possibilidade de correção e aperfeiçoamento constante assim como o acoplamento de novas interfaces ao sistema, confere ao compositor um domínio maior da execução da sua obra” (IAZZETTA, 2009, p. 209).

Por outro lado, o fechamento deste processo em "microteorias composicionais derivadas da circulação dos manuais de softwares musicais" (IAZZETTA, 2009, p. 152) não parecem serem suficientes para dar conta de uma série de procedimentos composicionais que existiam muito antes de serem pensados a priori já por dentro destes sistemas.

"Qualquer estrutura, gramática ou modelo pode, em princípio, ser transposto para o âmbito sonoro com a intenção de produzir música. Uma vez que nos sistemas computacionais todo e qualquer elemento é transcrito na forma de símbolos abstratos do mesmo tipo (em última instância, bits representados por 0 e 1), esse tipo de procedimento se torna tentador, mas também vulnerável.(...) Certamente estas transposições de um campo a outro não destroem a coerência interna dos fenômenos transpostos, mas de forma alguma asseguram a geração de uma coerência musical, pelo menos não no nível perceptivo. (...) **O discurso enfatizando o caráter inovador que acompanha cada novo invento geralmente esconde o quanto nossos avanços representam uma consolidação de conhecimentos existentes, mais do que saltos progressivos**". (IAZZETTA, 2009, p. 151-153, grifo nosso.)

Esta pesquisa propõe um recorte específico de alguns procedimentos composicionais emergentes na primeira metade do século XX que apesar de estarem no limite experimental do cromatismo e sua relação com centros de atração tonais ou modais ainda não experimentavam o deleite das possibilidades que o serialismo integral, a computer music e a música eletrônica aproveitaram na primeira geração de mainframes das universidades e grandes centros de pesquisa.

Buscando uma amostra que desse conta de tais características ancoramos tal percurso em uma modesta visita a alguns aspectos algorítmicos do repertório pianístico e pedagógico de peças da suíte Mikrokosmos de Béla Bartók. Interessa a extração de algumas regras gerativas que possam ser aplicadas na construção de procedimentos computacionais que produzam composições derivadas destas fórmulas verificáveis.

Esta longe da ambição deste trabalho construir alguma tese inovadora sobre estas peças. Pelo contrário, partiremos de pistas já deixadas por autores que aprofundaram o tema (MARSHALL, 1946; SUCHOFF, 1971; LENDVAI; BUSH, 1971; ANTOKOLETZ, 1984; SUCHOFF, 2004) e buscaremos a partir de metodologias analíticas quantitativas verificar a consistência destes apontamentos e reutilizá-los.

A verificação computacional destas também não ambiciona dar uma solução definitiva e geral para uma automatização da segmentação destas peças. Consideramos aqui uma composição e uma análise musical "assistidas por computador" e não uma suposta inteligência artificial sem mediação humana. Interessa a problematização destas segmentações e sua implementação computacional como ideia geradora de novos procedimentos composicionais livres inspirados nestas.

Os problemas computacionais considerados no percurso compõe "uma suíte de objetos e funções" organizados em bibliotecas para as linguagens de programação musical OpenMusic e Puredata, facilitando um estudo comparado das implementações dos procedimentos algorítmicos em diferentes sintaxes.

Documentamos também com alguns scripts Python auxiliares para formatação e segmentação de partituras (em formatos midi, musicxml ou lilypond, dependendo do caso).

O percurso deste trabalho se dá em 3 etapas: [Parte I](#):Problematização Computacional, [Parte II](#):Paradigmas para uma Análise Musical Pós-Tonal e [Parte III](#):Luteria Composicional.

Na [Parte I](#) trabalhamos uma pequena reflexão histórica da música algorítmica, fazendo um paralelo entre a sistematização das gramáticas musicais descendentes da tradição pitagórica e as especulações da cibernética que levaram ao desenvolvimento das áreas de inteligência artificial, vida artificial e estudos de complexidade e padrões de emergência.

Na [Parte II](#) buscamos organizar tal processo criativo especializando uma epistemologia das gramáticas musicais a partir da influência que a linguística teve na musicologia. Atenção para as teorias derivadas da pesquisa Chomsky (1957) e sua aplicação no processamento de linguagens naturais. Buscamos aspectos que direcionaram pesquisas musicológicas para a possibilidade de aplicar regras analíticas em sistemas computáveis.

Fazemos um mergulho na pesquisa das gramáticas gerativas, sobretudo em um

estudo de caso sobre a "Teoria Gerativa da Música Tonal"(GTTM) e seus desdobramentos.

Para concluir esta parte, documentamos alguns experimentos computacionais de análise musical de peças da suíte Mikrokosmos que aplicam as regras que fundamentamos neste percurso.

E finalmente na [Parte III](#) utilizamos algumas ideias e particularidades retiradas dos procedimentos analíticos detalhadas na [Parte II](#) para construir algumas composições musicais que aplicam estas estruturas das análises em algoritmos clássicos da música algorítmica, gerando material para debate sobre o ciclo que percorremos.

Todos os códigos e uma reflexão sobre as ferramentas e formatos estão no [seção 2.1](#) , [Capítulo 3](#) e [Apêndice A](#).



# Parte I

## Problematização Computacional



# 1 Considerações históricas e filosóficas sobre Música Algorítmica

## 1.1 Autômatos Musicais

### 1.1.1 Arqueologia dos Autômatos

Na Arqueologia da Mídia"proposta por [Zielinski \(2006, p. 15-39\)](#) encontramos alguns exemplos interessantes de tentativas de criação de tabelas de combinações semânticas que proliferavam com o espírito científico seminal da Renascença, inspirados em invenções matemáticas da Antiguidade.

Gramáticas e alfabetos eram colocados em máquinas mecânicas de automatização de tabelas de dicionários e donde a partir de regras sintáticas geravam estruturas da fala e escrita.

Em "Words made Flesh", Florian [Cramer \(2005, p. 25\)](#) demonstra também como "a continuidade do projeto pitagórico"está na origem do imaginário sobre máquinas pensantes: o que estava em jogo era um acesso ao mecanismo lógico do caldeirão de palavras, números e símbolos donde regras de permutação formariam consciências como entidades linguísticas.

O sistema chamado “Ars magna” proposto por Raimundus Lullus no século XIII viria mais tarde influenciar os oráculos de memória (Ars Memoria) de Giordano Bruno e o trabalho “De Arte Combinatória” do matemático Leibniz no século XVII. Tais mecanismos já apresentavam as características de uma utopia de “representação total do conhecimento” ([ZIELINSKI, 2006, p. 26](#)) .

Também no século XVII o jesuíta Athanasius Kircher constrói tratado musical “Musurgia Universalis” ([KIRCHER, 1650](#)), todo ilustrado, onde projeta máquinas como realejos e órgãos automáticos de moto contínuo, movidos a água ou vapor como a Arca Musarithmica e o Organum Mathematicum.

Kircher criava jogos de combinação de contraponto, escalas, cabala, alquimia, astronomia e tudo mais que conseguisse relacionar na tentativa de criptografar e descriptografar um sistema universal de relação entre os corpos celestes e orgânicos. Ele chega a trabalhar com a tentativa de recombinar estilos musicais e regras composicionais litúrgicas como madrigal, moteto, fuga e monodia. Relações melódico-rítmicas entre diferentes vozes. ([GODWIN, 1979](#))

### 1.1.2 Jogo de dados musicais

No século XVIII temos um clássico da história dos jogos computacionais “Musikalisches Würfelspiel”, literalmente traduzível por “Jogo de Dados Musicais”, porém na maioria das vezes referido como “O Jogo de dados de Mozart”.

Este experimento é muito interessante como ilustração didática da composição automatizada pois é relativamente simples de entender. Basicamente o lance de dados monta blocos separados a priori, que articulam funções tonais fixas e que possuem ornamentos já típicos de um estilo.

A articulação destes blocos supõe uma espécie de estrutura gramatical generativa com "regras bem formadas" a partir de uma suposta expectativa tonal comum ao estilo. Discutiremos mais adiante na ?? esta ideia de uma suposta normatividade que a cultura tonal imprimiu em nossa escuta.

Havia nestes experimentos dos séculos anteriores um embrião de operações de criptografia muito similares a operações de transformações semânticas hoje operadas por algoritmos computacionais e que derivam do momento em que estas utopias foram finalmente concretizadas na velocidade da luz que operam os bits.

### 1.1.3 Criptoestética e Estocástica

Na virada do século XIX para o XX, com o advento das máquinas de cálculo mecânica complexas e as derivações do autômato proposto pelo matemático Alan Turing (1936) foi possível concretizar na era eletrônica vindoura a ideia de construir linguagem a partir da manipulação de um conjunto finito de símbolos.

De certa maneira é possível estabelecer algum parentesco entre os “Musikalisches Würfelspiel” e aquela que é considerada a primeira composição gerada por computador: A “Suíte Illiac” de Lejaren Hiller e Leonard Isaacson.

Composta através de métodos de matrizes de probabilidades com modelos de Markov (NIERHAUS, 2009, p. 67-82), a suíte era um experimento de quatro movimentos que implementava progressivamente a partir de sorteios as regras de contraponto, ritmo e forma musical, experimentando também algumas ideias de simetria propostas pelo serialismo que se estabelecia na época. (SCHWANAUER; LEVITT, 1993, p. 12)

A partir daquele momento o computador passa a ser peça essencial para a aplicação de formalismos matemáticos que surgiam tanto na organização das alturas, escalas e acordes quanto na criação de novos timbres, que agora também poderiam ser serializados e passariam definitivamente a fazer parte do "metier composicional" (STOCKHAUSEN, 1996) .



### 1.1.4 Complexidade e Emergência de Padrões

É importante também pensar na história da música computacional em paralelo com avanços que vinham acontecendo desde o estabelecimento da cibernética como ciência da organização dos sistemas informacionais complexos e projeto político e industrial da tecnocracia vindoura.

Durante o pós-guerra Norbert Wiener escreve seu livro "Cibernética" ([WIENER et al., 1948](#)), que inspira o termo que hoje é disciplina de fronteira entre ciência da computação e ciências sociais. Com o subtítulo - “estudo do controle e comunicação no animal e na máquina” - o livro marca o início das especulações científicas sobre simulações do comportamento individual e coletivo em computadores.

Emerge dali uma ciência da codificação e decodificação linguística que é fruto da convergência de trabalhos interdisciplinares entre filosofia da linguagem e matemática que aconteciam no início do século 20 ([NIERHAUS, 2009](#), p. 45-62).

Vale lembrar que naquelas primeiras décadas do século também surge de maneira mais sistematizada o discurso musical do serialismo ([ADORNO, 1974](#)), num momento também paralelo ao rompimento estético mais radical proposto pelos futuristas e sua demanda por uma música influenciada pelo ruído das máquinas das grandes cidades industriais que surgiam. ([RUSSOLO, 2009](#))

Nas décadas seguintes, a estética cibernética encontra na indústria da computação civil vindoura do pós-guerra um terreno fértil para desenvolver e aplicar tais sistemas formais abstratos da vanguarda modernista da virada do século, agora tendo em mãos os computadores mainframes dos laboratórios universitários.

O mainframe Illiac é considerado um dos primeiros computadores adquiridos por uma universidade norte-americana e foi baseado na arquitetura de Von Neumann (que já utilizava memória de armazenamento prevista pela “Máquina de Turing Universal” ).

Von Neumann já especulava sobre os algoritmos de autômatos celulares e nestes via possibilidades de estudar uma abstração lógica para sistemas auto-reprodutivos similares a abstração de sistemas “vivos” ([LANGTON, 1997](#), p. 13).

Tais ideias serão essenciais mais adiante quando a computabilidade dos chamados “padrões de emergência” torna-se viável e contribui para o desenvolvimento de áreas como aprendizado de máquina e simulações físicas de alta complexidade.

### 1.1.5 Inteligência Artificial Musical

O termo “Inteligência Artificial” não está necessariamente preocupado em provar algum tipo de subjetividade da máquina ou mesmo a natureza do que chamamos emoções. Apesar de alguns teóricos contemporâneos insistirem na discussão do que chamam de

singularidade de uma “inteligência artificial forte” (KURZWEIL, 2005), o termo surge nas especulações de Alan Turing sobre o que seriam “máquinas inteligentes” (TURING, 1936) e contribui para estabelecer parâmetros de observação dos chamados “sistemas complexos”.

"(...) desde os anos 30, com Gödel e Turing, edificou-se um teoria dos algoritmos extremamente fecunda que pôde, depois, definir de maneira rigorosa um conceito de complexidade, o qual serve de modelo para outras disciplinas."(PESSIS-PASTERNAK, 1993, p. 108)

Em seu texto clássico sobre o tema, Alan Turing, um dos notórios matemáticos precursores da cibernética, fazia a famosa pergunta: “as máquinas podem pensar?”. Porém já naquele momento antecipava o paradoxo linguístico desta especulação:

“Se quiséssemos encontrar o significado das palavras "máquina" e "pensar" analisando o modo como estas são normalmente utilizadas, seria difícil escapar à conclusão de que o significado e a resposta para a questão “Podem as máquinas pensar?” deveria ser visto como um estudo estatístico, tal como quando se ouve pesquisas de opinião pública. O que é um absurdo. Em vez de procurar tal definição, irei substituir a questão por outra, intimamente ligada com a primeira e expressa em palavras relativamente claras”.<sup>1</sup> (TURING, 1950, grifo nosso.)

Por outro lado sempre houve um certo romantismo dos que insistem em pensar a relativização de aspectos cognitivos atribuídos ao conceito abstrato de “emoções humanas”. Douglas Hofstadter, ganhador do prêmio Pulitzer com seu curioso livro de especulações sobre I.A. - uma espécie de jogo de vertigem para definição de axiomas sobre criatividade linguística - “Göedel, Escher e Bach” (HOFSTADTER, 2000), é um crítico convidado entre outros especialistas para fazer comentários sobre a obra do compositor algorítmico David Cope, em seu livro “Virtual Music”(COPE, 2004), e faz uma afirmação curiosa sobre como imaginava na década de 70 o que seria uma I.A. “criativa”:

**Questão:** Um computador será capaz de tocar músicas belas?  
**Especulação:** Sim, mas não em breve. Música é uma linguagem de emoções, e **até que os programas tenham emoções complexas como as nossas não existe maneira de um programa escrever algo belo.** <sup>2</sup> (HOFSTADTER, 2004, p.36 grifos nossos)

Sobre o jogo de xadrez - um clássico do desafio entre humanos e máquinas, supostamente vencido pelo mainframe da IBM Deepblue contra Kasparov em 1996 - Douglas deixa um depoimento ainda mais alegórico sobre sua perspectiva nos anos 70:

**Questão:** Existirá um programa de xadrez capaz de vencer qualquer pessoa?  
**Especulação:** Não. Existirão muitos programas que podem vencer alguém no xadrez, mas eles não serão exclusivamente jogadores de xadrez. Eles serão programas de inteligência geral, e **serão temperamentais**

como pessoas - ‘Você quer jogar xadrez?’ ‘**Não, estou enjoado de xadrez. Vamos conversar sobre poesia.**’. Este é o tipo de programa que poderá vencer qualquer pessoa. (HOFSTADTER, 2004, p.34 grifos nossos)

O efeito nostálgico de tal ideia chega a ser cômico mas muita gente que não se interessa sobre o assunto de música ou arte generativa por computadores em geral irá responder que não se interessa pelo mesmo motivo - computadores “não tem sentimento” por isso não podem ser usados em atividades criativas como música, desenho ou literatura. Por isso ainda existem pesquisadores como Marvin Minsky: um exemplo de cientista que aposta na ideia de definir a “computabilidade das emoções” (MINSKY, 2007).

Porém a questão que interessa a esta pesquisa não é a de “superação da espécie humana” ou “a máquina com sentimentos” e sim de poder observar através de sistemas complexos como determinadas regras simples que podem ser dadas como condições iniciais para uma situação “criativa” são capazes de gerar resultados emergentes extremamente complexos (WOLFRAM, 2002), sejam estes originais ou similares a padrões existentes anteriormente na natureza.

Uma outra abordagem possível seria diferente da que busca padrões originais, mas sim padrões extremamente similares a padrões já formalizados. Este é o escopo do presente trabalho. Trataremos deste tema com mais profundidade na [Parte II](#).

### 1.1.6 Os Problemas do “Conceito como Algoritmo” e do “Algoritmo como conceito”

A partir dos anos 80, com a popularização dos computadores pessoais, os algoritmos computacionais passam a fazer parte do imaginário popular.

É de se esperar portanto, que cada vez mais o algoritmo ou a ferramenta computacional apareçam como parte a ser problematizada dentro do processo artístico. Mas como esta estetização do algoritmo pode ser pensada dentro da música?

Em uma das tentativas de definir a estética perseguida em seus rigorosos estudos de formalismo matemático musical, o compositor Iannis Xenakis faz a seguinte afirmação:

"Para esta proposta a qualificação entre “bonito” ou “feito” não faz sentido para o som, nem para a música que deriva disto, mas sim a **quantidade de inteligência** carregada pelos sons deve ser o verdadeiro critério para a validade de uma música particular."1 (XENAKIS, 1992, p.4, grifos nossos.)

Dentro da possibilidade de pensar algoritmos cada vez mais conceitualmente indissociáveis das músicas que estes produzem, poderíamos polarizar as composições musicais derivadas deste tipo de processo em em três tipos de resultados:

- a) Resultados que satisfazem por surpreender com os padrões inesperados que emergem, não necessariamente musicais, mas interessantes por serem formalismos de alta complexidade e que demandam erudição computacional para ser desfrutados como criação.;
- b) Resultados onde a aplicação de um procedimento automatizado está em função exclusivamente de um conceito estético, filosófico, político onde a música será mero lastro do processo, sendo apreciada a posteriori pelo conteúdo processual que carrega como contexto.;
- c) Resultados que procuram controlar e isolar algum tipo de auto-similaridade consistente e conscientemente estruturada a partir de lastros da teoria musical tradicional, após refinados tratamentos entre os padrões emergentes, formalizando algum tipo de estilo atingido no equilíbrio do sistema.;

No caso “a” os resultados sonoros algumas vezes chegam a importar menos do que o conceito que levou até sua formalização algorítmica. Muitas vezes são usados como estetização de alguma prova de conceito de uma formalização matemática.

No caso “b” temos um exemplo contemporâneo interessante deste tipo de postura, com peças que fazem músicas a partir de dados da bolsa de valores, ou cumprir todas as músicas da carreira dos Beatles em um segundo: o compositor Johanes Kreidler.

O compositor e programador afirma em uma palestra proferida em Harvard em 2013, chamada “Sentences of Musical Concept-Art”, entre seus 19 aforismas frases como - “Só é musica o que é não-musical”, “A máquina de conceitos hoje está acima do algoritmo” e finaliza concluindo - “Da conceitualização emerge a contextualização”.<sup>1</sup>

Pensando o caso “c”, talvez o mais próximo do escopo do presente trabalho, partimos da suposição de que há e talvez sempre continue existindo este interesse na tal “consolidação de conhecimentos existentes” (IAZZETTA, 2009), ou no mínimo uma curiosidade por tais estruturas a ponto de poder afirmar sua negação consciente.

As fórmulas estruturais anteriores sempre despertam curiosidade das novas gerações que ainda não as vasculharam, e mesmo que alguém pregue algum tipo de enterro de todas civilizações musicais já conhecidas, sempre sobrarão algum arqueólogo ou “arqueomusicólogo” buscando o mistério de alguma origem perdida.

Mesmo dentre os padrões caóticos dos algoritmos inspirados em teorias de autopoiesis e da cibernética, surgem equilíbrios mensuráveis de padrões emergentes que poderiam gerar periodicidade motívica e auto-similaridade. Há uma consideração interessante de John Cage sobre a relação entre chance e disciplina que pode ilustrar bem o que buscamos:

“A maioria das pessoas acha que estou interessado em aleatoriedade

<sup>1</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=cUIzq52kuP4>

não percebe que eu uso aleatoriedade como uma disciplina. Eles acham que eu a uso como uma maneira de desistir de fazer escolhas. **Mas minhas escolhas consistem em escolher que questões perguntar.**” (CAGE, 2002, p.17, grifos nosso)

Devido aos limites de escopo deste trabalho estamos mais interessados explorar e discutir resultados “que questões perguntar” para uma possível teoria e prática .



## 2 Composição Assistida por Computador

The field of computer music can be thought of as having two fundamental branches, one concerned with the manipulation of musical sounds, and the other concerned with symbolic representations of music. The two are iconized by Max Mathews's MUSIC program and Lejaren Hiller's ILIAC Suite, both of 1957, although both have important antecedents. The two branches might provisionally be given the names "Computer Generated Music" (Denis Baggi's term for it) and "Computer Aided Composition"—or CGM and CAC for short. (PUCKETTE, 2006, pg. )

### 2.1 Linguagens Dataflow

As linguagens de programação PureData e OpenMusic tem ao menos duas coisas em comum: ambas utilizam o paradigma de programação dataflow – uma representação gráfica dos algoritmos que deixa os programas similares a caixas conectadas por cabos, estimulando a imaginação para algo mais tático do que cálculos abstratos.

Ambas também são linguagens surgidas a partir de projetos surgidos no IRCAM (Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique) a instituição francesa que tem entre seus idealizadores o compositor Pierre Boulez e é pioneira em pesquisas computacionais guiadas por processos composicionais. São descendentes diretas da primeira geração de linguagens musicais dataflow: Patchwork (OM) e Max (PD).

Considerando que são ainda muito utilizadas por pesquisadores de Composição Assistida por Computador (CAC) e Música Algorítmica, estas já podem já de alguma forma serem consideradas linguagens de computação musical com relevância histórica o suficiente para no mínimo servirem de base para novas invenções.

#### 2.1.1 OM

"Enquanto a maioria das "linguagens de programação musical" lidam principalmente com processamento de sinal e síntese sonora, uma abordagem original adotada pelo time de representação musical do IRCAM no fim dos anos 80 foi particularmente um foco na nas estruturas simbólicas e processos musicais, isto é, aspectos tradicionalmente ignorados ou deixados de lado dos ambientes computacionais."(BRESSION; AGON; ASSAYAG, 2011)

Em suma, o OpenMusic teve ( pelo menos em seus primeiros anos ) uma intenção mais voltada para processos preocupados com a continuidade dos sistemas derivados dos estudos eruditos de intervalos, acordes, harmonia que estavam na base das preocupações

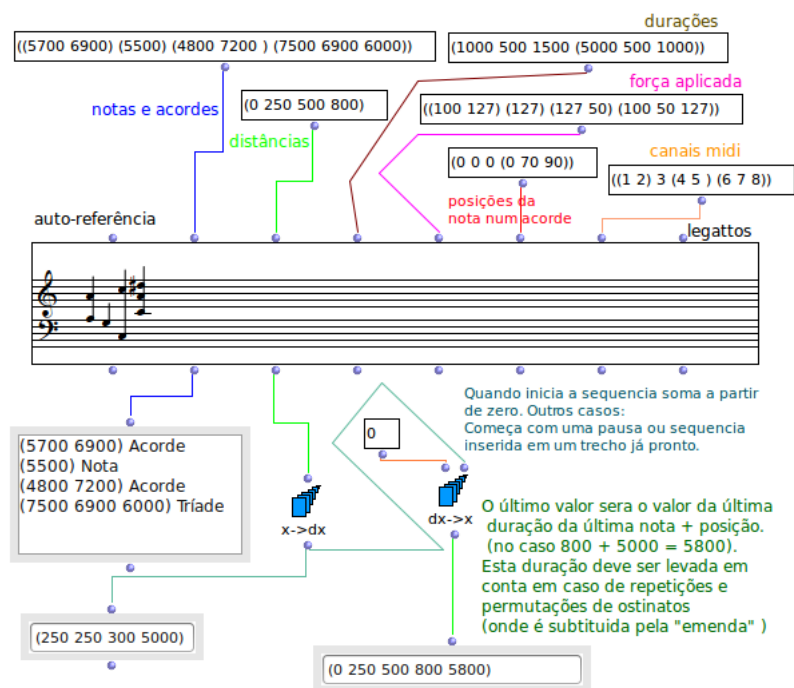
do serialismo integral. O OM sempre foi um dos software amplamente utilizados para tal fim, e isto reflete diretamente em sua interface e cultura de uso.

O OM é um framework que tende a uma programação orientada pela reflexão em tempo diferido, isto é, estimula a composição por escolha entre diversos resultados permutados e decupados em um tempo de escuta.

Organiza materiais basicamente orientado pela escrita e fortemente pensado dentro do esquema de intervalos melódicos harmônicos derivados da notação moderna para música orquestral, utilizando sequenciadores bastante similares ao pentagrama de pauta sem ( “chord-seq”) ou com figuras de compasso (com o sequenciador “voice” ).

### 2.1.1.0.1 chord-seq

Figura 1 – Exemplo da aplicação da PRPR2



A formação de distância entre as notas requer uma atenção especial. Quando formatada de forma algorítmica é preciso levar em conta a construção de uma sequência que vai somando as distâncias.

Fonte: autor



## 2.1.1.0.2 classe permutation

## 2.1.1.0.3 classe math

## 2.1.2 PD

OM is almost certainly now the world's dominant platform for doing CAC research and practice, despite the presence of several other approaches (including one, by Karlheinz Essl, that runs within Max). Is this because OM's design is the best, or is it that OM has benefitted from the presence at IRCAM of so many willing composers, such as the ones represented in this book? The two rival explanations are impossible to extricate from one another. (PUCKETTE, 2006)

Já o Puredata, nas palavras de seu idealizador:

Um novo sistema de software, chamado Puredata, está em seus primeiros estágios de desenvolvimento. Seu design almeja remediar algumas deficiências do programa Max e preservar algumas de suas vantagens. A mais importante fraqueza do Max é a dificuldade de manter estruturas de dados compostas de um tipo que possa ser acessado quando analisando e resintetizando sons ou quando gravando e modificando sequências de diferentes tipos. Também, tem sido difícil integrar sinais que não sejam de áudio (vídeo por exemplo, e também espectro sonoro) dentro do rígido sistema de “objetos til” ( ) do Max. (PUCKETTE et al., 1996)

Interessante perceber que já no final dos anos 90 o PD já tinha como alvo a vindoura possibilidade de uma música performática feita com os computadores domésticos que começavam a popularizar-se, preocupando-se com aspectos de melhor performance de processamento de áudio, uso de vídeo sincronizado e representação em tempo real de dados do de processamento sonoro, apontando para a possibilidade de outros tipos de representação da música.

A música partitável não era a grande preocupação e nem seus procedimentos de composição eram tão importantes quantos os aspectos relacionados ao espectro sonoro e a possibilidade de manipulação de eventos audiovisuais em tempo real.

Uma diferença prática das abordagens padrão destes sistemas: O PD não incentiva a priori o uso de algum score derivado da escala cromática, e sim parte da idéia de frequências absolutas de 0hz ao limite de sua placa de som. É orientado por controles de eventos (“bangs”) de tempo não-linear.

Além disso, os objetos tilde ( ) fazem processamento de síntese sonora em tempo real, basta você plugá-los a qualquer momento em um objeto que representa sua placa de som processando vetores numéricos indicando a pressão e descompressão do seu auto-falante em estado bruto, o [dac]. No OM é sempre necessário compilar (“verificar”) os patches para depois ouvi-los em sequenciadores de eventos ou players de áudio.

Miller Puckette comenta num artigo de 2006 que o uso de procedimentos

I would like to see some of the techniques now only available in OM become usable some day within real-time environments. This is clearly a huge undertaking, since the style of programming currently used in real-time applications is so different from that in OM. But there would be much gained if this became possible. In the meantime it's possible to send messages back and forth between OM and some lower latency process that takes care of real-time performance. ([PUCKETTE, 2006](#))

2.1.2.1 biblioteca Maxlib

2.1.2.2 biblioteca RTC-lib

2.1.2.3 objeto [probalizer]

## 3 Arquivos e Scripts para Segmentação de Dados Musicais

### 3.1 MIDI

Por muito tempo o formato MIDI ficou estigmatizado por ser associado aos timbres genéricos da indústria de sintetizadores populares dos anos 80 e 90 e pelas primeiras placas de som e softwares sequenciadores de eventos ou partituras dos computadores pessoais. Na verdade o formato não carrega parâmetros de timbres em seus metadados. Arquivo MIDI valores básicos de expressão e alturas cromáticas do gestual de uma performance instrumental, permitindo que esta seja posteriormente associada a qualquer timbre.

A mensagem MIDI básica carrega informação sobre:

1. O canal onde vai atuar permitindo mixar diversos instrumentos em polifonia.
2. O programa que indica o timbre.
3. NoteOn/NoteOff - Nota soando , nota sem soar. o MIDI manda duas informações básicas sobre o envelope da nota. Uma primeira nota com a força inicial e o uma segunda com a mesma nota e força zero, para silenciá-la.
4. "Velocity"ou expressão: força com qual a nota é tocada.
5. Canal de controle para uso de escala de 127 passos que tem uso dependente da implementação da aplicação. Por exemplo, parâmetros de equalização timbre. Na prática o canal de controle é geralmente usado para receber dados de potenciômetros ou sensores analógicos e assinalado a qualquer tipo de parâmetro.
6. Pitch Bend - Parâmetro para atuar diretamente na afinação de uma nota em tempo real, de modo similar ao gesto de bend de instrumentos de cordas. A especificação midi permie que este controle tenha uma granulação de 16.384 pontos e geralmente é usada para um slide que cobre duas oitavas.
7. Mensagens exclusivas de sistema (SysEx) geralmente usadas por aplicações para ações independentes do gesto musical, por exemplo informar ao sistema onde onde buscar arquivos temporários de uma sessão.

É importante ter em mente que os arquivos MIDI, por ser há mais 35 é um padrão ainda em uso, gerou um legado relevante de arquivos baseados em repertório clássico para a reconstituição de corpus de peças partituradas. Porém não são descritores capazes

de garantir a boa formatação de seus dados como figuras de compasso de uma pauta tradicional, já que os arquivos MIDI não carregam informações sobre as figuras, apenas sobre suas durações, alturas e expressão. Quando importados para programas de notação ou convertidos para formatos destes, os arquivos MIDI irão passar por uma segmentação arbitrária e determinada pelo algoritmo "parser"<sup>1</sup> que vai converter determinada duração em determinada métrica quantizada, normalmente diferente das articulações de quais as músicas foram digitalizadas.

Veremos a seguir outros arquivos mais específicos para este fim e quando necessário será feita a conversão entre os tipos.

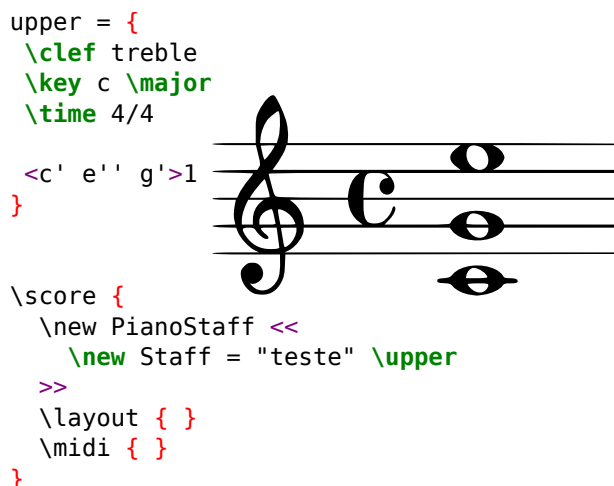
---

<sup>1</sup> definir parser

## 3.2 Lilypond

O objetivo principal aqui é a formatação de uma notação partitural avançada e otimizada para impressão em papel. Permite também a utilização de elementos de notação mais exótica, inclusão de texto, dedilhados, nomenclatura de acordes, sinais de expressão, e customização de elementos a partir de módulos. Facilita a otimização da disposição e dimensão das fontes dos objetos e possui uma linguagem script própria dialeto da sintaxe scheme<sup>2</sup>.

Figura 2 – Gerador de um acorde Dó maior (dó4 e4 g5) na clave de sol em Lilypond




## 3.3 MusicXML

O uso geral do formato MusicXML é similar ao Lilypond - formatação de partituras. No entanto, enquanto Lilypond é um sistema completo fechado em si próprio, o MusicXML é um formato com a intenção de tornar-se um padrão intercambiável entre diferentes aplicações de partitura<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Tutorial oficial de lilypond-scheme: <<http://lilypond.org/doc/v2.16/Documentation/source/Documentation/extending/introduction-to-scheme>>

<sup>3</sup> Lista atualizada de aplicações compatíveis com o formato MusicXML: <<http://www.musicxml.com/software/>>

Figura 3 – Gerador de uma nota dó4 na clave de sol em MusicXML



```

<measure number="1">
  <attributes>
    <divisions>1</divisions>
    <key>
      <fifths>0</fifths>
    </key>
    <time>
      <beats>4</beats>
      <beat-type>4</beat-type>
    </time>
    <clef>
      <sign>G</sign>
      <line>2</line>
    </clef>
  </attributes>
  <note>
    <pitch>
      <step>C</step>
      <octave>4</octave>
    </pitch>
    <duration>4</duration>
    <type>whole</type>
  </note>
</measure>

```

### 3.4 Bibliotecas Python auxiliares

Pela sua natureza de código aberto alto-nível de orientação a objetos, Python (ROSSUM; JR, 1995) é uma linguagem script que tem sido amplamente adotada e ampliada por bibliotecas para as mais diversas aplicações científicas. (DOWNEY, 2009)

Aliada ao uso de algumas bibliotecas específicas para arquivos de segmentação partitural, Python mostra-se uma ferramenta prática para formatação dinâmica de partituras prontas para impressão ou para auxiliar a análise de dados quantitativos de corpus de partituras.

Falaremos a seguir de duas dessas bibliotecas utilizadas como ferramenta auxiliar nesta pesquisa:

#### 3.4.1 Abjad

É uma biblioteca voltada para a formatação de clichês em notação partitural pronta para impressão em papel, baseada na manipulação de templates no formato lilypond. A biblioteca apresenta alguns templates baseados em peças de Bartók, Ligeti, Ferneyhough e Mozart.

#### 3.4.2 Music 21

## Parte II

# Paradigmas para uma Análise Musical Pós-Tonal





## 4 Formalização linguística de gramáticas musicais

Em seu ensaio "A comparação das análises sobre o ponto de vista semiológico", J.J. Nattiez (2003) faz um balanço das diferentes abordagens analíticas na musicologia

As diversas práticas da análise musical no século XX podem, na minha opinião, estar, de início, repartidas em duas grandes categorias, (...):

1. Aquelas que admitem – e mesmo sublinham – as conotações emotivas, afetivas, imagéticas da obra musical. Designarei as mesmas com o termo genérico e moderno de análises de orientação semântica. (...)
2. Aquelas que se apoiam sobre as estruturas imanentes da obra e que se repartem em dois grandes grupos: a. **as análises taxionômicas que cortam em unidades a substância musical, privilegiando este ou aquele parâmetro.** (...) b. **As análises que, na falta de melhor termo, chamarei “lineares” e que, (...), descrevem o prolongamento e as implicações das alturas, tanto no nível melódico (...), quanto no harmônico (...)** (NATTIEZ, 2003, grifos nossos)

Buscaremos aqui alguns caminhos para entender que procedimentos podem ser essenciais para a formalização de gramáticas musicais computáveis. Nossa intenção principal é encontrar um fio condutor para a didática de algoritmos composicionais e analíticos para a música que deem conta de estruturas da música pós-tonal anterior aos experimentos com timbre e música concreta que foram determinantes na segunda metade do século XX.

Partiremos de uma pequena revisão histórica e conceitual da aplicação do termo "gramática" no contexto da computação musical e suas derivações e implicações.

Utilizaremos o termo “gramática” em sentido mais estrito e para isso tomamos como ponto de partida o entendimento deste termo dentro das ciências computacionais. Em paralelo iremos pensando como este modelo influenciou a formalização de gramáticas musicais estruturalistas e quais alternativas vão aparecendo como adjacentes para formalização de algoritmos musicais.

O modelo de racionalização da linguística iniciado por Noam Chomsky com a obra "Syntactic Structures" (CHOMSKY, 1957) e formalizado na sua "Teoria da Sintaxe" (CHOMSKY, 1965) até hoje é uma das bases para o estudo algorítmico e algébrico de processamento linguagens naturais.

Sua influência na teoria musical pode ser encontrada em muitas tentativas de aproximar linguística e musicologia nas década de 70 e 80.

Inspirou as formalizações rígidas de modelos da musicologia da cognição inspirados na linguística na “Teoria Gerativa da Música Tonal” (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

- um trabalho interdisciplinar do linguista Ray Jackendoff com o musicólogo Fred Lerdahl que detalharemos mais adiante.

Uma abordagem curiosa para comparação desta mesma época é a de Leonard Bernstein na série de palestras “Unswared Question” (BERNSTEIN, 1976). Sua especulação empírica foi bastante alegórica e demonstrada inventivamente ao piano em seu registro em vídeo. Bernstein fez comparações das estruturas de ordenamento das frases escritas e faladas com montagens de sessões motivicas de peças clássicas e chega a fazer algumas metáforas entre classes gramaticais e funções de acordes. Este tipo de metáfora parece ser de fato uma das motivações iniciais da pesquisa neste campo, porém muita coisa foi problematizada neste campo, que nos anos seguintes deu origem a organização de uma disciplina hoje conhecida por “cognição musical”.

Pelo bem ou pelo mal, a abordagem de Bernstein parece estar muito mais para o universo das analogias poéticas livres do que a busca por uma formalização strictu sensu (LERDAHL, 2009) como a que se sucedeu nas derivações das gramáticas gerativas musicais (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983; TEMPERLEY, 2004) ou em formulações algébricas e algorítmicas que Curtis Roads (1979) já apontava em seus estudos da época.

## 4.1 Gramáticas Musicais Computáveis

Uma interessante e histórica análise no ensaio de Curtis Roads (1979) é um panorama que fez sobre o estado da arte da influência da linguística sobre musicologia na época, fazendo um estudo comparado dos trabalhos de Smoliar (1976), Lindblom e Sundberg (1970), Laske (1977), Winograd (1968), Moorer (1972), Nattiez e Dunsby (1977), Ruwet (1975), Lerdahl e Jackendoff (1983) e o próprio trabalho anterior de Roads (1978).

O interessante deste panorama é que coloca lado a lado perspectivas mais empíricas como de Nattiez e Dunsby (1977) e Ruwet (1975) e outras que buscavam efetivamente uma inspiração para um rigor computacional de sintaxes musicais. Vale lembrar que Nattiez também tem um estudo comparado da influência da linguística na musicologia, com um ponto de vista menos pragmático e mais historicista, muito mais abrangente, e que traz um ponto de vista bem mais recente (NATTIEZ; SAMPAIO, 2004) do que decorreu a seguir.

Segundo Roads, Moorer (1972) e Winograd (1968) chegam a realizar alguns experimentos computacionais. Smoliar (1976) toca num ponto tecnologicamente complexo para a época: a segmentação de arquivos sonoros diretamente a partir de gravações.

Laske (1977) propõe analogias com a fonologia (relação entre sintaxe e sons da palavra falada) com uma recente “sonologia” (relação de uma sintaxe musical e os sons musicais). A dupla Lerdahl e Jackendoff (1983) investe numa normatização bastante

inspirada nas segmentações propostas por Chomsky e procura problematizar aspectos de uma cognição musical tonal, que teria bases culturais sólidas na tradição ocidental, que veremos na [seção 4.2](#).

#### 4.1.1 Simbólico e Icônico

O ensaio “Grammars as Representation for Music”([ROADS, 1979](#)) tem uma particularidade importante. Roads viria a ser nas décadas seguintes um prolífico teórico da Computer Music ([ROADS, 1996](#); [ROADS, 2004](#)) . Sua orientação já é visível na sua exposição do assunto naquela época. Roads estava preocupado com a possibilidade do modelo de análise sintática proposto por Chomsky servir também como uma formalização computacional para algoritmos musicais, e na própria fundamentação da música como linguagem natural, como ocorreu com as línguas escritas na disciplina que hoje é conhecida por “Processamento de Linguagem natural”([BIRD](#); [KLEIN](#); [LOPER, 2009](#))

Roads inicia propondo uma terminologia para a representação musical opondo os termos “simbólico” e “icônico”.

**Simbólico** poderia ser entendido como a representação abstrata de elementos e suas transformações como por exemplo a nomenclatura dos acordes, seus graus funcionais numa análise de cadências (com a notação de números romanos) ou a descrição de sessões de uma peça em “A-A’-B-A”.

**Icônico** seria uma representação topológica de um dado físico como por exemplo as tabelas numéricas guardadas na memória de um computador que representem exatamente as frequências que fisicamente o auto-falante terá de reproduzir.

Roads demonstra uma preocupação rigorosa e interdisciplinar entre as possibilidades de design de novas linguagens de programação, compiladores e outros formalismos algorítmicos a partir desta possibilidade de representação e operação transformacional sobre ícones e símbolos musicais, e faz um esforço para colocar a perspectiva do trabalho de formalização das gramáticas para dentro das discussões da época.

Para isso faz um detalhamento da taxonomia da hierarquia de tipos proposta por [Chomsky \(1957\)](#) conhecida também como “Hierarquia de Chomsky-Schützenberger”<sup>1</sup>. Esta exposição dos tipos de gramática também é revista mais recentemente no enciclopédico “Paradigms of Algorithm composition” de [Nierhaus \(2009\)](#).

As camadas são geralmente detalhadas como subconjuntos uma das outras desta maneira:

Tipo 0 – Gramática Livre ou Irrestrita:

Tipo 1 – Gramática Sensível a Contexto:

Tipo 2 – Gramática Livre de Contexto:

Tipo 3 – Gramática Regular:

Roads ainda coloca atuando sobre as 4 categorias hierárquicas a necessidade de operá-las por uma gramática transformacional e uma gramática regulativa.

## 4.2 Gramática Gerativa da Música Tonal (GTTM)

Jean Jaques Nattiez, em seu ensaio sobre música e linguística ([NATTIEZ; SAM-PAIO, 2004](#)) relativiza também o êxito do texto de Lerdahl e Jackendoff, porém reconhece uma importância que despertou nossa curiosidade por uma pequena revisão nas regras propostas por esta obra, o que faremos logo a seguir.

Porque, se a obra de Lerdahl e Jackendoff não conheceu um amplo reconhecimento sob o ponto de vista da análise das obras stricto sensu, em compensação, a psicologia cognitiva da música, que sabemos estar em

<sup>1</sup> reconhecendo a contribuição do matemático Marcel-Paul Schützenberger na formalização destas teorias

plena efervescência, (...) Na medida em que 51 das 56 regras propostas são dadas como universais (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.345-352), os autores lançam aos etnomusicólogos um grande e salutar desafio que ainda não foi levado em consideração. A importância de um trabalho não se mede unicamente por seu caráter inovador e pelo valor dos modelos propostos, o que, por certo, ocorre neste caso, mas também pelo campo de investigações novas que propõe. (NATTIEZ; SAMPAIO, 2004)

O que buscamos como objeto no presente trabalho é um percurso composicional utilizando algum repertório significativo de critérios analíticos com ênfase em abordagens que busquem métodos para extrair regras gerativas <sup>2</sup> que estejam estruturalmente passíveis de serem descritas em forma de algoritmos.

Para isso iniciamos refletindo sobre uma das mais influentes teorias musicais com parentesco na linguística estruturalista e as tentativas de encontrar fórmulas de sintaxe para compreender os mecanismos seletivos da cognição musical: “A Teoria Gerativa da Música Tonal”, conhecida por “GTTM”, sigla do termo inglês “Generative Theory of Tonal Music” (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983).

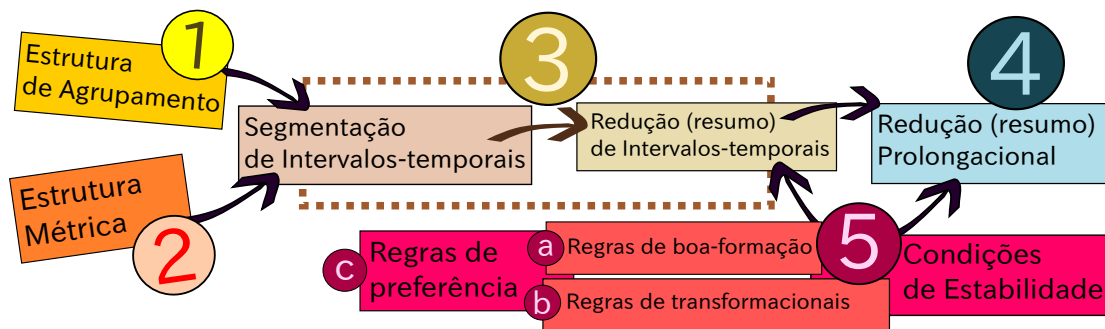
A GTTM introduz uma taxonomia para separar de um plano musical seus agrupamentos melódicos, harmônicos e rítmicos, buscando uma maneira estruturada para fazer uma segmentação hierárquica de motivos que supostamente estariam dentro de uma previsibilidade de uma escuta ocidental tonal, apontando limitações e contradições entre estas regras e buscando apoiar-se em processos cognitivos rastreados pela audição, psicoacústica e cultura desta escuta.

Desta maneira também problematiza e limita para fora do seu escopo peças que podem esconder segmentações registradas em esquemas composicionais anteriores a realização das obras, com estruturas racionalizadas porém fora do plano auditivo e cognitivo mais básico e intuitivo na cultura tonal ocidentalizada.

---

<sup>2</sup> Lerdahl e Jackendoff colocam o termo “gerativo” ( que é derivado da linguística ) de uma forma que não signifique a princípio uma fórmula capaz de gerar aquela música, mas sim um estrutura pela qual a escuta já experimentada naquela cultura musical guia-se para segmentar e fruir sua sixtaxe. (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.6)

Figura 4 – Fluxograma de Lerdahl (2009) para a GTTM



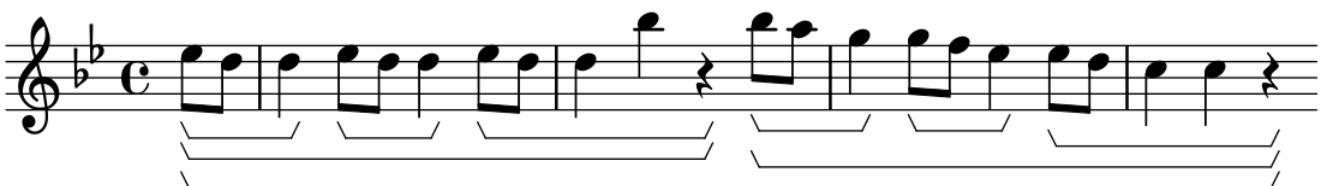
Fonte: Lerdahl (2009, p. 2 , tradução do autor)

A teoria [GTTM] clama que, se um sinal permite, o ouvinte inconscientemente infere quatro tipos de estruturas hierárquicas de uma superfície musical:

1. estrutura de agrupamento, ou a segmentação do fluxo musical em unidades como motivos, frases e sessões; 2. estrutura métrica, ou padrão de batidas recorrentes periodicamente forte e fracas associadas com a superfície; 3. redução de intervalo temporal, ou a importância estrutural relativa dos eventos como são ouvidos dentro do contexto estabelecido pelas unidades rítmicas; e 4. redução prolongacional, ou os padrões percebidos pela tensão e relaxamento ao longo dos eventos em vários níveis da estrutura (LERDAHL, 1992) <sup>3</sup>

#### 4.2.1 Regras de boa formatividade dos agrupamentos (GWFRs)

Figura 5 – Agrupamento de motivos do início da sinfonia K550 de Mozart.



Fonte: (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

<sup>3</sup> "The theory claims that, if the signal permits, the listener unconsciously infers four types of hierarchical structure from a musical surface: grouping structure, or the segmentation of the musical flow into units such as motives, phrases, and sections; metrical structure, or the pattern of periodically recurring strong and weak beats associated with the surface; time-span reduction, or the relative structural importance of events as heard within contextually established rhythmic units; and prolongational reduction, or the perceived pattern of tension and relaxation among events at various levels of structure" (LERDAHL, 1992)

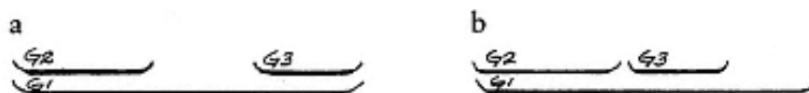
GWFR 1 “Qualquer sequencia contígua de eventos de alturas, batidas percussivas, ou similares constituem um grupo, e somente sequencias contíguas constituem um grupo” (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, pg.37).

Esta regra estabelece que este tipo de escuta irá selecionar agrupamentos apenas por eventos sequenciados, não valendo por exemplo agrupar sons por estarem na mesma oitava ou por serem de figuras rítmicas iguais, pois isto implicaria em uma seleção cognitiva-auditiva de eventos num tempo não-linear, desconstruindo a escuta proposta pela sequencia de eventos da composição original.

As próximas regras de boa formatividade concluem por conjunção que os grupos se estabelecem por uma hierarquia de pequenos grupos contidos em grupos maiores, onde sempre um grupo grande pode ser decomposto em grupos menores:

GWFR 2 “Uma peça contém um grupo”  
 GWFR 3 “Um grupo deve conter grupos menores”  
 GWFR 4 “Se um grupo G1 contém G2 ele deve conter G2 inteira”  
 (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.38)

Figura 6 – Exemplos de agrupamentos “mal formados” de acordo com a regra GWFR5



Fonte: (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

GWFR 5 “Se o grupo G1 contém grupos menores , então ele deve ser exhaustivamente particionado em pequenos grupos” (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.38)

#### 4.2.1.1 Regras de preferência para agrupamentos (GPRs)

When GTTM was published, preference rules were criticized for not behaving in proper grammatical fashion (e.g., Peel;Slawson, 1984). First of all, they were seen as insufficiently quantified. While true, this was not an objection in principle. GTTM deliberately avoids the intricacies of rule quantification in order to concentrate on the musical and cognitive principles at hand. Our formal goal was not full quantification, which could come later (as it has begun to, for example, in Temperley, 2001, 2007), but enough precision for the proposed components and rules to be investigated empirically.

(LERDAHL, 2009)

GPR1 “Evite análises com pequenos grupos, quanto menor menos preferível”. (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.43)

A razão é simples – pequenos grupos geralmente não serão capazes de sozinhos estabelecer contextos. Exceções são casos quando unidades mínimas são motivadas como a nota de resolução do leitmotif “[tã-tã-tã]-TAM” e suas transformações na 5ª sinfonia de Beethoven, por exemplo.

GPR2 “(Proximidade) – Considere uma sequência de quatro notas [n1-n2-n3-n4].

O restante sendo igual, a transição n2-n3 deve ser considerada uma fronteira de segmento se:

a) (Ligadura/Pausa) o intervalo-temporal desde o final de n2 ao início de n3 é menor do que desde final de n3 ao início de n4.

b) (Ponto-de-ataque) o intervalo-temporal entre os pontos de ataque entre n2-n3 é maior do que entre n1-n2 e entre n3-n4. (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.45)

Esta regra é centrada na busca por rupturas no fluxo dos motivos, isolando as frases pelos pontos de ataque fortes, ligaduras ou intervalos claros entre dois motivos.

É notória a semelhança desta regra com o procedimento que aprendemos desde a alfabetização gramatical para a “separação de sílabas” - a procura de “respiros” das frases.

A busca de critérios para uma segmentação intuitiva destes “respiros” entre os motivos vai permear de alguma forma todo esforço da GTTM.

“Mas, precisamente, o que a comparação atenta da linguagem verbal e da música nos ensinou, é que a significação em música não tem o mesmo estatuto que na linguagem.”(NATTIEZ; SAMPAIO, 2004, p.9)

Quanto a analogia com os critérios de segmentação da língua escrita e falada, percebemos na GTTM e outros trabalhos Lerdahl(1992, 2003, 2013) um descrédito quanto ao fato que a música poderia simplesmente transpor metaforicamente as regras transformacionais da linguística chomskiana, como por exemplo nas separações por classes gramaticais em complementos nominais e complementos verbais. De fato para tal percurso seria necessário uma certa “licença poética” mais arbitrária.<sup>1</sup>

Por outro lado, mesmo com todo rigor metodológico, seria preciso pensar todas características para além do aparecimento temporal dos eventos

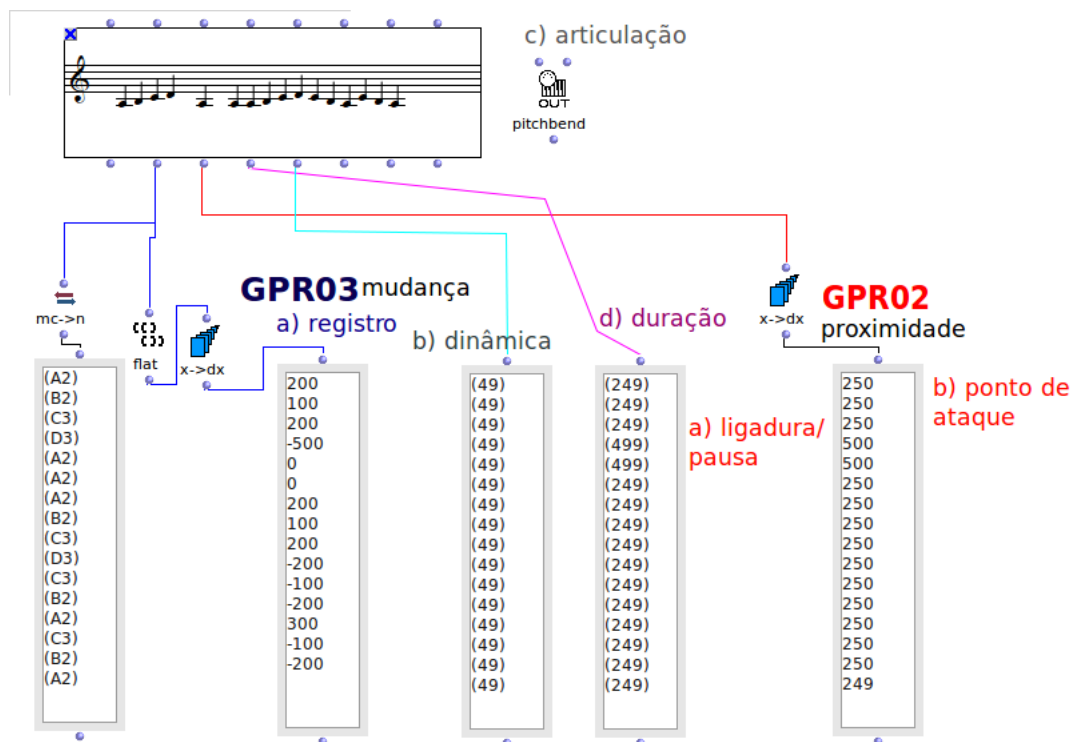
Além do “respiro” passamos a levar em consideração alguns critérios de modificação do som como altura, força do ataque, gestual da articulação e o envelope de duração nas emendas dos segmentos.

GPR3 (Mudança) Considere uma sequência de notas [n1-n2], a transição [n2-n3] deve ser ouvida como um grupo de fronteira se marcado por: a)



registro – a transição n2-n3 envolve uma maior distância intervalar de que entre n1-n2 ou n3-n4,  
 b) dinâmica - a transição n2-n3 envolve uma mudança dinâmica maior de que entre n1-n2 ou n3-n4,  
 c) articulação - a transição n2-n3 envolve uma mudança de articulação maior de que entre n1-n2 ou n3-n4,  
 d) duração - há diferença de durações entr n2-n3 enquanto n1-n2 ou n3-n4 permanecem com durações similares, (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

Figura 7 – Open Music 01



Fonte: autor

As regras seguintes especializam as GPRs anteriores, filtrando agrupamentos que tendem a ficar em níveis mais frasais do que os pequenos motivos que deverão conter em sua composição:

GPR4 (Intesificação) Onde os efeitos dos GPR 2 e 3 são relativamente mais pronunciados, um grupo de nível mais largo deve ser localizado.  
 GPR5 (Simetria) Prefira análise de agrupamentos com a abordagem mais próxima da subdivisão de grupos em partes de duração iguais.  
 GPR6 (Paralelismo) Onde dois ou mais segmentos musicais podem ser construídos em paralelo, eles preferivelmente formam partes paralelas dos grupos  
 GPR7 (Estabilidade de prolongacional e de intervalo-tempo ) Prefira uma estrutura de agrupamento em um intervalo-tempo tempo mais estável e/ou reduções prolongacionais (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, pg.46-52)

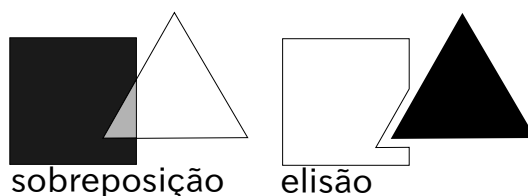
As regras a seguir problematizam um ponto que é interessante a comparação entre as gramáticas musicais e as verbais. Em música é inevitável que em certos momentos uma nota ou acorde ou tempo forte de pausa de um motivo “emende no próximo” (Sobreposição), o que poderia acontecer sonoramente em linguagem coloquial apressada, mas nunca na língua escrita, como por exemplo aglutinar uma estrutura substantivo-adjetivo criando uma palavra emendada por fonemas finais e iniciais como “cobrAzul” ou “barulhOrrível”. Uma variação possível de analogia seria com uma emenda de uma frase inacabada onde a nova palavra parece chegar “adiantada”, semelhante ao que acontece no substantivo composto “copo d’água”.

Figura 8 – Elisao ou Contração



Fonte: [Lerdahl e Jackendoff \(1983, p. 2\)](#)

Figura 9 – Formalização visual dos problemas de elisão e sobreposição de camadas na GTTM. ([LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.69](#))



Fonte: autor

“Estes exemplos visuais parecem não ser apenas analogias triviais ao fenômeno musical. Como nas discussões de regras de preferência, a possibilidade de traçar paralelos entre os domínios auditivo e visual apontam a operação de processos fundamentais de da percepção e/ou cognição.” ([LERDAHL; JACKENDOFF, 1983](#)) 3

#### 4.2.2 Regras de boa-formação métrica (MWFRs )

Antes de entrar na taxonomia das regras de boa formação métrica convém entender o que a GTTM coloca como “acento”. Há uma categorização que divide os acentos em fenomenológico , estrutural, ou métrico.<sup>4</sup>

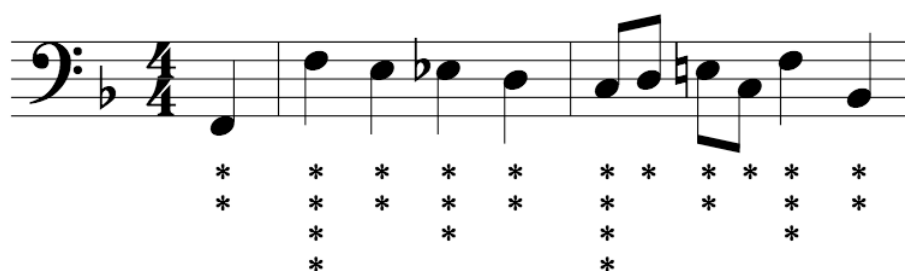
Por fenomenológico os autores entendem acentos que são causados por eventos marcantes e destacados da superfície musical como pontos extremos no contorno melódico,

stress ou relaxamento súbito nas articulações ou pontos de tensão inesperada na harmonia, estruturais seriam acentos bem marcados pelas cadências de progressões harmônicas mais marcantes e esperadas.

Métricos seriam os acentos que intuitivamente estariam no pulso intuitivo da superfície musical, nos tempos fortes e síncopas e que de alguma maneira reforçam uma marcação rítmica esperada pela periodicidade dos eventos.

Os autores não associam diretamente este tipo de acento a uma declaração de assinatura de compasso na escritura da peça, mas sugerem que de alguma maneira este tipo de acento é justamente uma relação de afirmação ou negação dessa possibilidade de haver uma periodicidade forte nos eventos, que a escritura tentaria prever.

Figura 10 – Notação analítica proposta pela GTTM que marca uma hierarquia das batidas por subdivisões de pulsos



Fonte: autor

As regras de boa formação métrica na GTTM estabelecem as condições mínimas para que o efeito de periodicidade aconteça. Observa-se que se por um lado a escrita tradicional com seus compassos e assinaturas serve como um ponto de partida e apoio para contagem de batidas baseadas nas subdivisões das figuras métricas ela também é fator limitador na redução dos intervalos-temporais. Este problema aparece na GTTM como “apagamento métrico”(idem, pg.101), algo similar a colisões e elisões vistas nos agrupamentos.

Não é por acaso que a partir do século XX a escrita com mudanças constantes de assinatura de compasso chega em um ponto, após o serialismo integral principalmente, em que propõe-se a abolição da assinatura ou barra de compassos num extremo e no outro extremo uma complexidade tão alta na subdivisão de quíalteras que ficam totalmente arbitrários e subentendida na notação uma indução ao improviso do interprete.

Voltando às regras, como no agrupamento, na métrica também temos as regras de boa formação (WFRs - “Well Formed Rules”) para os casos mais gerais e em seguida temos as regras de preferência (PRs - “Preference rules”) hierarquizando as decisões.

MWFR 1 "Todo ponto de ataque deve estar associado a uma batida de nível métrico menor presente naquele ponto da peça" MWFR 2 "Toda batida em dado nível deve também ser uma batida em níveis menores daquele presente ponto da peça" MWFR 3 "A cada nível métrico, batidas fortes são espaçadas por uma separação de duas ou três batidas" MWFR 4 "O tátil e o material imediatamente mais largo devem consistir de batidas igualmente espaçadas através da peça. No nível subtátil, batidas fracas devem estar igualmente espaçadas entre as batidas fortes que os cercam." (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

#### 4.2.2.1 Regras de preferência Métrica (MPFRs)

MPFR1 (Paralelismo) "Onde dois ou mais grupos ou partes de grupos podem ser contruídos em paralelo, eles preferivelmente recebem uma estrutura métrica paralela" MPFR2 (Batida forte adiantada) "Prefira raramente uma estrutura métrica onde a batida mais forte em um grupo aparece relativamente adiantada no grupo" MPFR3 (Evento) "Prefira uma estrutura material onde as batidas do nível Li coincidem com a inserção de eventos de altura nas batidas fortes de Li" MPFR4 (Tensão) "Prefira uma estrutura métrica onde as batidas do nível Li são tensionadas com as batidas fortes de Li" MPFR5 (Duração) "Prefira uma estrutura métrica onde batidas relativamente fortes ocorrem na inserção de também relativamente longos: a) evento de altura b) duração de dinâmica c) ligadura d) padrão de articulação e) duração de um pitch em níveis relevantes da redução intervalo-temporal f) duração da harmonia em níveis relevantes da redução intervalo-temporal (ritmo harmônico)

MPFR6 (Baixo) "Prefira um baixo metricamente estável" MPFR7 (Cadência) "Prefira fortemente uma estrutura métrica onde as cadências são metricamente estáveis; ou seja, evite fortemente violações das regras de preferência locais que possuem cadências" MPFR8 (Suspensão) "Prefira fortemente uma estrutura métrica onde a suspensão é uma batida mais forte que a resolução" MPFR9 (Interação intervalo-temporal) "Prefira uma análise metrica que minimize o conflito na redução do intervalo-temporal" MPFR10 (Regulação Binária) "Prefira estruturas métricas em que em cada nível toda a outra batida seja forte" (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

“As regras de preferência envolvem aspectos da cognição que estão fora da maioria da teoria musical.” (LERDAHL, 2008). Cabe portanto também mais adiante no nosso trabalho fazermos uma especulação sobre os limites e práticas usuais da análise musical para aprofundar a questão da solução das ambiguidades.

#### 4.2.3 Regras de redução do intervalo-temporal

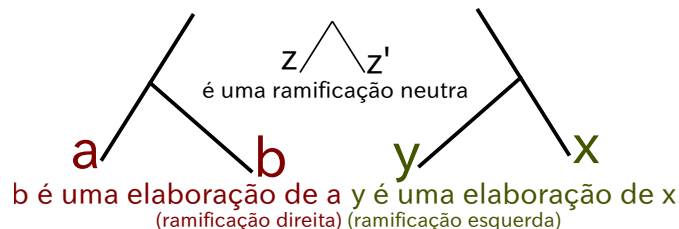
1. "Cada grupo em uma peça é um intervalo-temporal dentro da segmentação de intervalo de tempo da peça" 2. "Na estrutura de agrupamento de nível interior: a) "Cada batida B de nível métrico menor determina o intervalo-temporal TB estendido de B mas não incluso na próxima batida de nível menor b) Cada batida de B de nível métrico Li determina um tempo-de-intervalo regular de todas as batidas no nível Li-1 de B para cima mas não incluindo (i) e a próxima batida B' do nível Li ou (ii) uma fronteira de agrupamento, o que vier antes c) Se uma fronteira de grupo G intervem entre B e a batida precedente no mesmo nível, B determina

um intervalo-temporal aumentado T'B, que é o intervalo de G para o final do intervalo-temporal regular TB. (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

#### 4.2.3.1 Redução de regras de boa-formação para intervalos-temporais (TSRWFRs)

TSRWFR1 "Para cada intervalo-temporal T existe um evento e (ou uma sequência de eventos [e1-e2] que é a cabeça de T." TSRWFR2 "Se T contém qualquer outro intervalo-temporal (que é, e T é o menor nível de intervalos-temporais), então e é qualquer evento que ocorre em T." TSRWFR3 "Se T contém outros intervalos-temporais, deixe T1...Tn ser o intervalo-temporal (regular ou aumentado) imediatamente contido em T e deixe e1...en serem suas respectivas cabeças. Então a cabeça e definida dependendo de: a) Redução ordinária b) Fusão c) Transformação

Figura 11 – Notação analítica proposta pela GTMM para a ramificação dos intervalos-temporais.



Fonte: autor

d) Retenção cadencial (p. 159) TSRWFR4 "Se uma cadência de dois elementos é diretamente subordinada a cabeça e um intervalo-temporal T, o final é diretamente subordinado a [e] e o penúltimo é diretamente subordinado ao final" (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

#### 4.2.3.2 Regras de Preferência para Redução de Intervalo-Temporal (TSRPR)

TSRPR1 (Posição métrica) "Na possibilidade de escolhas para a cabeça de um intervalo-temporal T, prefira aquela que é relativamente forte na posição métrica" TSRPR2 (Harmonia Local) "Na possibilidade de escolhas sobre a cabeça do intervalo-temporal T, prefira o seguinte: a) Consonância intrínseca relativa b) Relativamente próxima da tônica local" TSRPR3 (Registros Extremos) "Na possibilidade de escolhas para a cabeça de intervalo-temporal, prefira raramente uma escolha com: a) Uma altura melódica mais aguda b) Uma altura de baixo mais grave" TSRPR4 (Paralelismo) "Se dois ou mais intervalos-tonais podem ser contruídos motivicamente e/ou ritmicamente paralelos, preferivelmente atribua a eles cabeças paralelas" TSRPR5 (Estabilidade Métrica) "na escala de uma cabeça de intervalo-temporal T, prefira a escolha que resulta mais estável de uma estrutura métrica" TSRPR6 (Estabilidade Prolongacional) "Na escolha de uma cabeça de intervalo-temporal T, prefira escolha que resulta mais estável de uma estrutura prolongacional" TSRPR7 (Retenção Cadencial) (p. 170) TSRPR8 (Índice Estrutural) "Se para um intervalo-temporal T há um grupo G mais largo contendo T para qual a cabeça de T pode funcionar como um início estrutural, então prefira a cabeça de T para um evento relativamente próximo do início de T (e logo ao início de

G também). TSRPR9 "Na escolha de uma cabeça de uma peça prefira o final estrutural ao início estrutural."(LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

#### 4.2.4 Regras de boa-formação da redução prolongacional (PRWFRs)

The interaction principle itself may still be too technical to be tested empirically at this point; but its larger context, the perception of hierarchical pitch structures, is a topic of considerable interest to music psychology. GTTM's prolongational component, however, presents difficulties in this regard. Quantification of predictions of the metrical and time-span components can be accomplished by counting metrical or time-span levels (Palmer and Krumhansl, 1987), and grouping preference rules are amenable to quantification (see Frankland and Cohen, 2004, for a partial effort in this direction; also Temperley, 2001). But the prolongational component as set forth in GTTM is not quantifiable. Its branching types describe degrees of tension and relaxation only qualitatively. And GTTM gives merely a verbal sketch of the stability conditions that underlie both the time-span and prolongational components. (LERDAHL, 2009, p. 191)

The solution began to take shape with the development of pitch-space theory (Lerdahl, 1988; TPS), which quantifies the most important of the stability conditions through computational modeling of empirical data on the tonal hierarchy (Krumhansl, 1983, 1990). The idea is that the cognitive distance of an event from a given reference point measures the instability of that event in relation to the reference point. On the assumption that the listener unconsciously seeks the most stable construal of a musical passage, TPS's principle of the shortest path selects events yielding the smallest available distances from superordinate events at each stage of prolongational reduction. (LERDAHL, 2009, p. 191)

GTTM addresses prolongational organization not as an aesthetic ideal, as in Schenkerian analysis, but as a psychological phenomenon describable by nested patterns of tension and relaxation. Tension depends on hierarchical position: a tonic chord in root position is relaxed; another chord or region is relatively tense in relation to the tonic; a nonharmonic tone is tense in relation to its harmonic context. This component assigns prolongational structure by a cognitively motivated rule system that proceeds from grouping and meter through time-span segmentation and reduction. These steps are necessary because prolongational connections depend not only on degrees of pitch similarity and stability but also on the rhythmic position of events. (LERDAHL, 2009)

Where does a compositional grammar come from? The answer varies, but a few generalizations may be helpful. Let us distinguish between a "natural" and an "artificial" compositional grammar. A natural grammar arises spontaneously in a musical culture. An artificial grammar is the conscious invention of an individual or group within a culture. The two mix fruitfully in a complex and long-lived musical culture such as

that of Western tonality. A natural grammar will dominate in a culture emphasizing improvisation and encouraging active participation of the community in all the varieties of musical behaviour. An artificial grammar will tend to dominate in a culture that utilizes musical notation, that is self-conscious, and that separates musical activity into composer, performer, and listener. (LERDAHL, 1992, p. 100-101)

PRWFR1 "Há um único evento no agrupamento da camada de base de cada peça que funciona como uma cabeça prolongacional".

PRWFR2 "Um evento [e]i pode ser uma elaboração direta de outra altura [e]i nas seguintes variações:

a) [e]i é um prolongamento forte de [e]j se as notas raíz, notas do baixo, e notas melódicas dos dois eventos forem idênticas.

b) [e]i é um prologamento fraco de [e]j se as notas raíz dos dois eventos são idênticas mas o baixo e/ou notas melódicas diferem.

c) [e]i é uma progressão para e de [e]j se as raízes harmônicas de dois eventos são diferentes."

PRWFR3 "Cada evento no agrupamento da camada base é também uma cabeça prolongacional de uma elaboração recursiva da cabeça prolongacional".

PRWFR4 (Ramos que não se cruzam) "Um evento [e]i é uma elaboração direta de um evento [e]j, cada evento [e]i e [e]j devem ser uma elaboração direta de [e]i, [e]j, e também algum evento entre eles. (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983, p.144-145)

#### 4.2.4.1 Regras de preferência para reduções prolongacionais (PRPRs)

Preference rules involve issues of cognition that lie outside the scope of most music theory. The interaction principle is problematic for some theorists precisely because it rationalizes the derivation of prolongational reduction. Music theorists commonly see prolongational analysis as belonging to the Schenkerian tradition, with its assumption that analysis is primarily an artistic activity carried out by conscious choice of the analyst. Our view, in contrast, was that if prolongational reduction is to be a meaningful construct, it must represent an aspect of listeners' unconscious understanding of music.

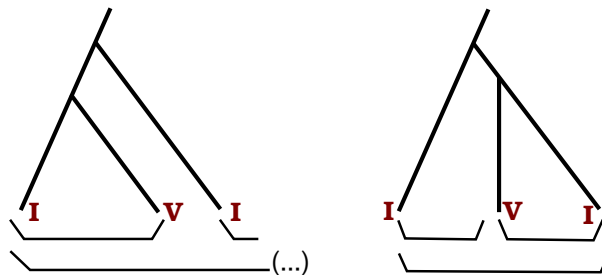
(LERDAHL, 2009)

PRPR1 (Importância de intervalo-temporal) "Ao escolher o evento prolongacional mais importante [e]k de uma região prolongacional ([e]i - [e]j), prefira fortemente uma escolha na qual [e]k é relativamente importante para o intervalo-temporal."

PRPR2 (Segmentação de intervalo-temporal) "Deixe [e]k ser a região mais importante prolongacionalmente ([e]i - [e]j). Se um intervalo-temporal que contém [e]i e [e]k mas não [e]j, prefira a redução prolongacional e que [e]k é uma elaboração de [e]i; funciona similarmente com os papéis de [e]i e [e]j invertidos." (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

O nível prolongacional é o mais problemático da teoria GTTM. A teoria parece partir do pressuposto que critérios cognitivos para entendimento da segmentação da

Figura 12 – Exemplo da aplicação da PRPR2



Fonte: autor

tensão-relaxamento tonal são dados a priori "culturalmente", e coloca a "hierarquia tonal de forma incompleta" (Lerdahl 1988 p.316 parágrafo 3).

O próprio Lerdahl busca soluções após a publicação da GTTM para alguns problemas desta quanto aos critérios para a inferência de tensão e relaxamento na segmentação prolongacional. Começa a pensar o assunto a partir dos artigos "Tonal Pitch Space" (1988) e "Calculating Tonal Tension" (1996). Estas especulações são formalizadas em seu livro "Tonal Pitch Space" (2001) e revisadas com uma pesquisa de campo sobre sua efetividade cognitiva no artigo "Modeling Tonal Pitch Space" (2007).

O componente prolongacional da Teoria Gerativa da Música Tonal atribui padrões de relaxamento e tensão para sequências tonais mas não descreve adequadamente os graus de tensão harmônica e melódica.<sup>4</sup>

Lerdahl (1996) propõe um modelo de cálculo para medir a intensidade do relaxamento-tensão entre os agrupamentos prolongacionais em todos seus níveis, buscando um modelo quantitativo para inferir os graus.

figura prolongamentos

O modelo mediria a distância entre.... (demonstrar o exemplo do calculating)

O artigo aplica a fórmula para medida de tensão e relaxamento em alguns compassos da sonata K.282 de Mozart (Lerdahl 1996 pg. tal). Questionamos se tal ideia de tensão e relaxamento é aplicável nas músicas pós-tonais, onde a condução de vozes pode não estar tão condicionada a esta ideia de prolongamento em função de uma tensão-resolução mas sim a um conceito de agrupamento de sonoridades por outros critérios.

A inferência de tonalidade proposta por Lerdahl é inspirada no modelo cognitivista de "distâncias percebidas entre as alturas" (Lerdahl 1996 pg.359 parágrafo 3) proposto por Krumsahl (1982,1990), que entre outras propostas constrói histogramas de referência de

<sup>4</sup> The prolongational component in A Generative Theory of Tonal Music assigns tensing and relaxing patterns to tonal sequences but does not adequately describe degrees of harmonic and melodic tension. (Lerdahl 1988)



um "perfil tonal"(krum 1982) dada pelas notas presentes em um segmento.

imagem temperley pg.154

Vejamos por exemplo o perfil do histograma para algumas segmentações de classes de alturas de Mikrokosmos 113[nota m21]:

Segundo tal proposta e as re-elaborações sugeridas por Temperley(2001) pg.173-181, poderíamos tentar inferir uma tonalidade "cognitiva"que permeie os segmentos da peça, buscando agrupar algumas famílias de "eixos paradigmáticos"(nattiez, tripartite, pg.26) a partir de certa tendência que mesmo em dado cromatismo teríamos de associar o segmento a certa tonalidade.

No entanto antes de pensar estas inferências tonais em peças pós-tonais gostaríamos de problematizar abordagens que não estão tão condicionadas por uma suposta cognição tonal predominante. Discutiremos o problema logo a seguir.

$$r = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}}$$

### 4.3 Restrições Cognitivas dos Sistemas Composicionais

Quase 10 anos após a publicação da GTTM Lerdahl publica um ensaio chamado "**Restrições cognitivas nos sistemas composicionais**"(LERDAHL, 1992)<sup>5</sup>, ancorando observações em uma aproximação bastante conservadora e crítica da música serial, tomando como caso a peça "Le Marteau Sans Maitre"de Pierre Boulez, e defendendo a tese de que uma música tão distante dos perfis cognitivos básicos da musica tonal seria inapreensível para os sentidos<sup>6</sup>.

Importante levar em conta portanto que a GTTM e suas derivações insistem sempre numa afirmação de uma suposta preferência cognitiva regida pelos princípios "atrativos"tonais, o que pode ser interessante em teorias pós-tonais para pensar ambiguidade de sistemas que induzem uma intenção auditiva politonal, mas não parece ser suficiente para pensar critérios que considerem uma busca auditiva pelas sonoridades de grupos de intervalos não organizados a partir da suposta ordem dos "espaços de alturas tonais"(lerdal 1988,2001) intuídos pela cognição de uma escuta ocidentalizada ou ocidentalizante.

Cabe pensar aqui aquilo que nattiez diferencia como *estésica externa* e *estésica indutiva*(nattiez pg.18-20). **Estésica externa** é aquela baseada em critérios que entrariam

<sup>5</sup> Aesthetic Claim 1: The best music utilizes the full potential of our cognitive resources. Aesthetic Claim 2: The best music arises from an alliance of a compos- itional grammar with the listening grammar. (LERDAHL, 1992)

<sup>6</sup> Conferir também o ensaio de Milton Babbitt (1958) chamado "Who Cares If you Listen"que argumenta os pressupostos que sustentariam uma pesquisa **despreocupada da escuta leiga** e que necessita o suporte da ciência para abrir novas fronteiras no desconhecido, assim como ocorre com as ciências exatas não-aplicadas.

na análise por via de uma comprovação de pesquisa de campo, buscando legitimar que os paradigmas apontados são estatisticamente comuns para a percepção de um determinado grupo de ouvintes. Já a **estésica indutiva** seria determinada por uma inferência explícita e autoral do musicólogo, que aponta aquilo que segundo seus próprios critérios poderia ser percebido como relevante e importante numa escuta. Poderia-se inclusive argumentar um interesse declaradamente apenas estrutural, por aquilo que Nattiez chama de "nível neutro", "análise imanente" ou "análise material- onde estruturas presentes são destacadas mesmo que possa-se argumentar que foram ali colocadas de maneira inconsciente pelo compositor ou que são imperceptíveis para o ouvinte médio.

Trabalharemos no capítulo seguinte uma abordagem sobre as alturas cromáticas que parte de outros princípios de agrupamento, buscando fórmulas composicionais algorítmicas por meio de uma abordagem que rompe com a normatização da cultura tonal clássica e busca novos critérios para observar transformações nas alturas e seus agrupamentos.

David Temperley (2001, 2007) toma como ponto de partida a computabilidade de algumas destas regras e chega a usar uma taxonomia similar.

Before beginning to discuss the grammar of grouping structure, we must enter an important caveat. At the present stage of development of the theory, we are treating all music as essentially homophonic; that is, we assume that a single grouping analysis suffices for all voices of a piece. For the more contrapuntal varieties of tonal music, where this condition does not obtain, our theory is inadequate. We consider an extension of the theory to account for polyphonic music to be of great importance. However, we will not attempt to treat such music here except by approximation. (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983)

Talvez seja relevante considerar da teoria de temperley o a sua preocupação com outros parâmetros: contraponto,, harmonia...

Temperley adopts the plan outlined by Krumhansl and Schmuckler (described in Krumhansl, 1990): (1) segment a composition into small sections, (2) tally the tones within a segment (weighting each pitch class by its total duration as well as by other possible measures of salience), (3) mathematically correlate the vector of tone tallies with the tone-profile vectors for all twenty-four major and minor keys, and (4) select the highest correlation as the best candidate for representing the perceived key of that segment.

Lerdahl logo em seguida flerta com música atonal, etc... (LERDAHL, 1992) antes de buscar sua atualização da teoria após a influência das teorias de Forte, Babbitt e outros na musicologia americana influência da teoria de grupos (o que foge um pouco de nosso escopo) e sim no próximo capítulo buscar um entendimento básico da teoria de grupos blabla

The tonal hierarchy- hence an implicit pitch space- appears in GTTM in incomplete

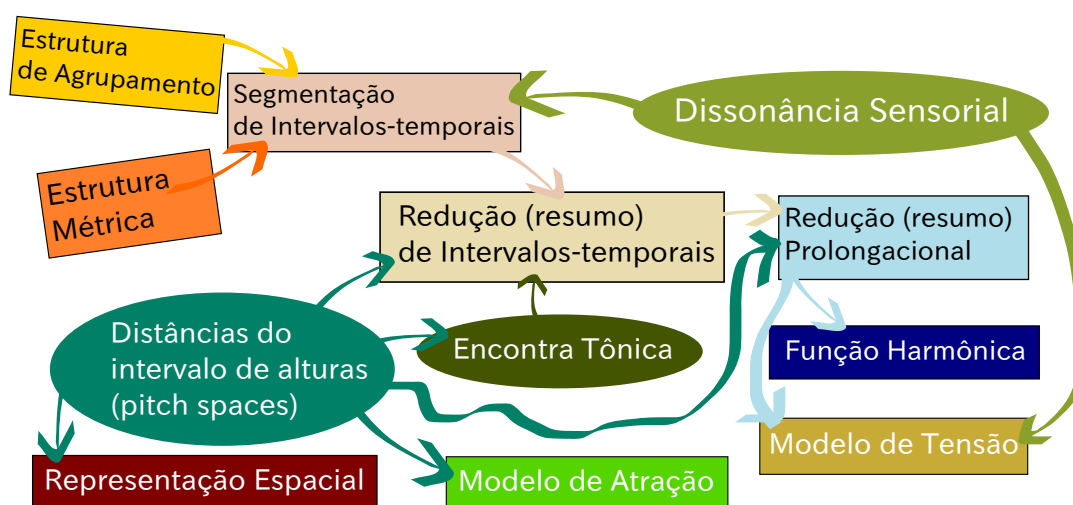
form under the rubric of verbally stated stability conditions. The theory claims that listeners cannot infer complex event hierarchies without having access to such conditions, which are the main source for ranking the relative stability of events within embedded temporal regions. These regions in turn derive directly or indirectly from the grouping and metrical structures. Figure 1 illustrates schematically that the time-span reduction derives from the rhythmic components and the stability conditions, and the prolongational reduction derives from the time-span reduction and the stability conditions. In short, both a rhythmic framework and criteria for pitch stability are needed if the listener is to hear events in a dominating- subordinating manner.(LERDAHL, 1988)

(a) octave (root) level: (b) fifths level: (c) triadic level: (d) diatonic level: (e) chromatic level:

lerdahl testa a teoria TPS em (LERDAHL; KRUMHANSL, 2007)

abaixo um esquema feito por ele no seu artido de revisão da GTTM

Figura 13 – Extensão das regras de GTTM na obra “Tonal Pitch Space” propostas por Lerdahl (2009)



Fonte: (LERDAHL, 2009, tradução do autor.)

The atonal prolongational



## 5 Teoria de Grupos e Alturas Cromáticas

([STRAUS, 2004](#))

It was, of course, Allen Forte who in the USA pioneered the analytical with a taxonomy of pc-set application of concepts from mathematics, first arose also in serial Babbittian types (the concept theory), and following as some inclusion and with relations abstract up (such similarity relations) meant for analytical use. Forte's "set theory" (as it is somewhat misleadingly known, because it deals with sets of pitch classes) has had its own ramifications and influence. In particular, Forte's own analyses of individual pieces of music have led many others to do likewise, and Forte's initial idea of similarity relations (as distinct from equivalence relations) among pitch-class sets has seen a flourishing theoretical industry grow around it, after seminal articles by Morris, Rahn, and Lewin appeared in 1980. ([RAHN, 2004](#))

### Two Algorithms for Computing the Prime Form

There are two algorithms for computing the prime form of a Pitch Class Set. The first was introduced by Allen Forte in *The Structure of Atonal Music* and the second is used by John Rahn in his book *Basic Atonal Theory* and is also used by Joseph N. Straus in his *Introduction to Post-Tonal Theory*.

The difference between the two algorithms is apparent when examining Pitch Class Set 6-31. The Prime Form using the Forte algorithm is (0,1,3,5,8,9), and the prime form using the Rahn algorithm is (0,1,4,5,7,9). As you can see, the Forte algorithm puts a priority on making the small numbers smaller (i.e. 3 instead of 4), whereas the Rahn algorithm wants the larger numbers to be smaller (i.e. 7 instead of 8).

Which is better? Well, it depends on who you ask. Computer programmers and computer music people will typically prefer the Rahn algorithm because it is computationally more elegant. However, the Forte algorithm has the more established pedigree, and so it tends to be preferred by academics.

Fortunately, this is usually a minor issue because it only affects the following 5 sets:

Pitch Class Set Forte Prime Rahn Prime 5-20 (0,1,3,7,8) (0,1,5,6,8) 6-Z29 (0,1,3,6,8,9) (0,2,3,6,7,9) 6-31 (0,1,3,5,8,9) (0,1,4,5,7,9) 7-20 (0,1,2,4,7,8,9) (0,1,2,5,6,7,9) 8-26 (0,1,2,4,5,7,9,10) (0,1,3,4,5,7,8,10)



## 6 Analises

mikro 131 133 simetria ([ANTOKOLETZ, 1984](#), pgs.198-200)

mikro 101 109 150 polimodalismo octatonismo ([ANTOKOLETZ, 1984](#), pgs.250-254)

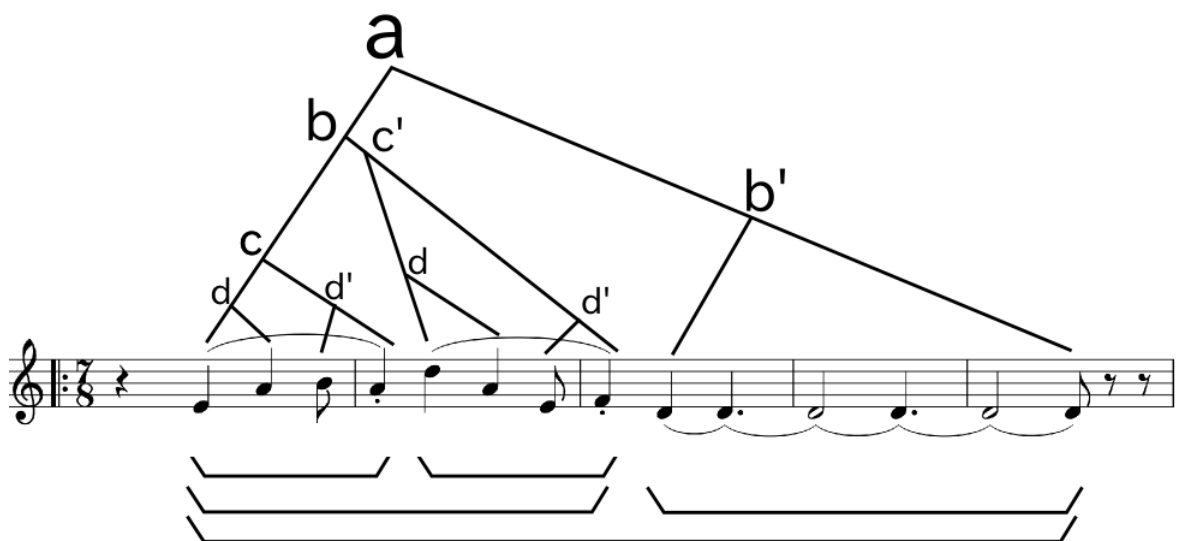
"Diminished Fifth" a obra nº101 da suíte Mikrokosmos de Béla Bartók. ([LESTER, 1989](#), pgs.112,116-117,135-136).

### 6.1 Análise de Mikrokosmos 113 Bela Bartok

Figura 14 – Legatto das melodias sugere a segmentação



Figura 15 – Segmentação em árvore prolongacional de Mikrokosmos 113 ao estilo GTTM



Fonte: autor

Figura 16 – Secção A

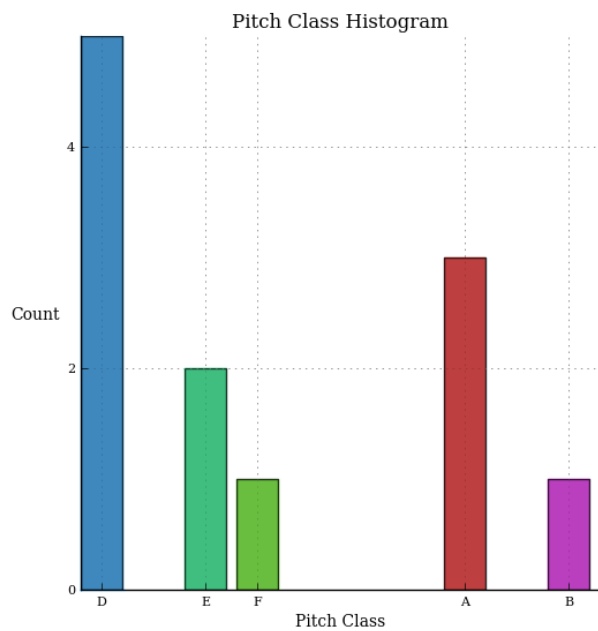


Figura 17 – Secção B

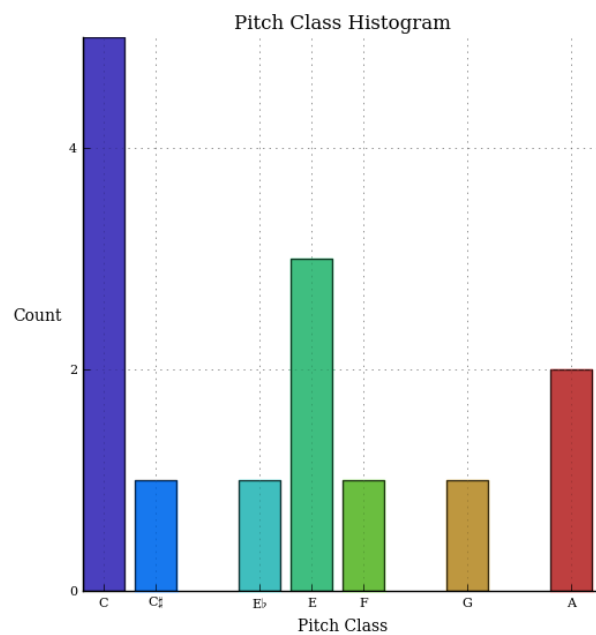


Figura 18 – Secção C

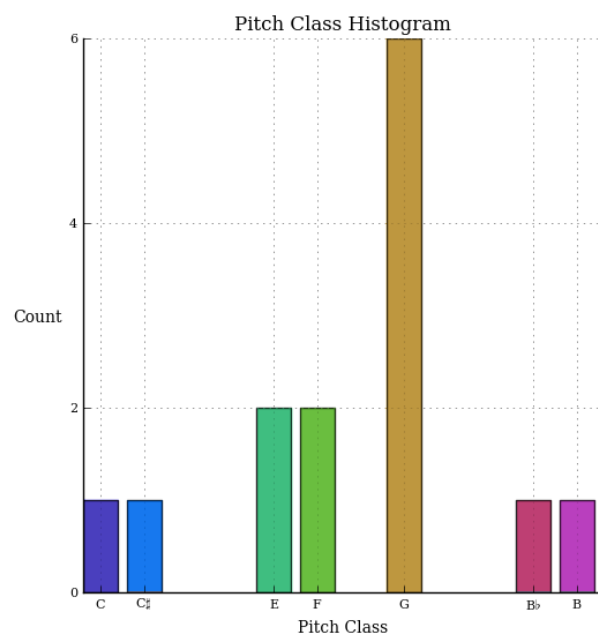


Figura 19 – Secção D

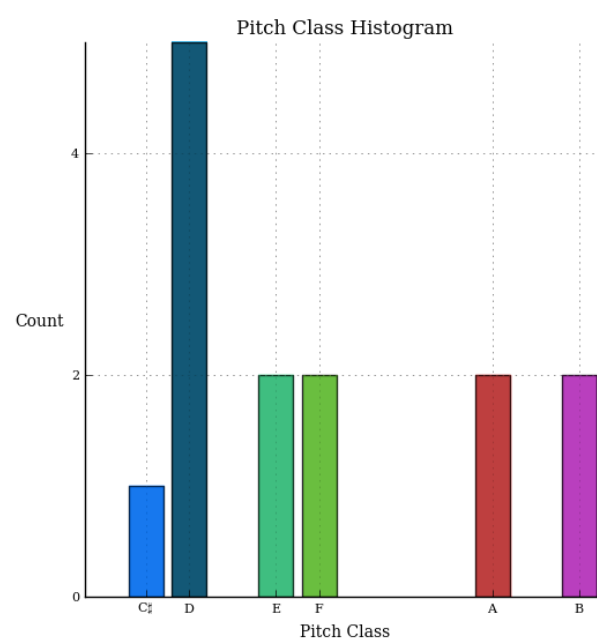
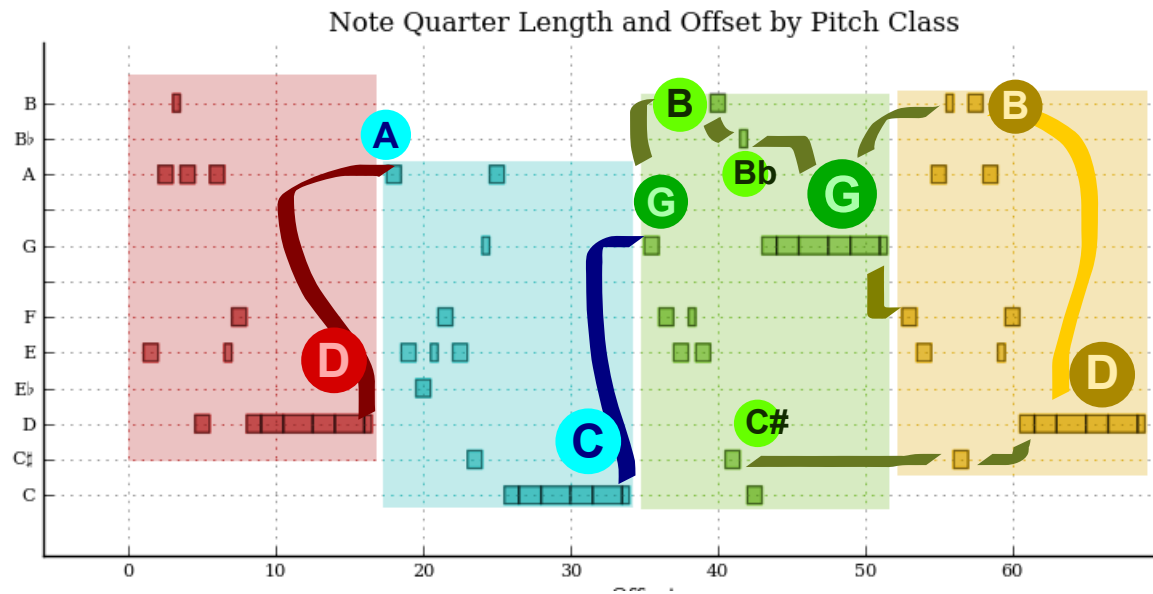


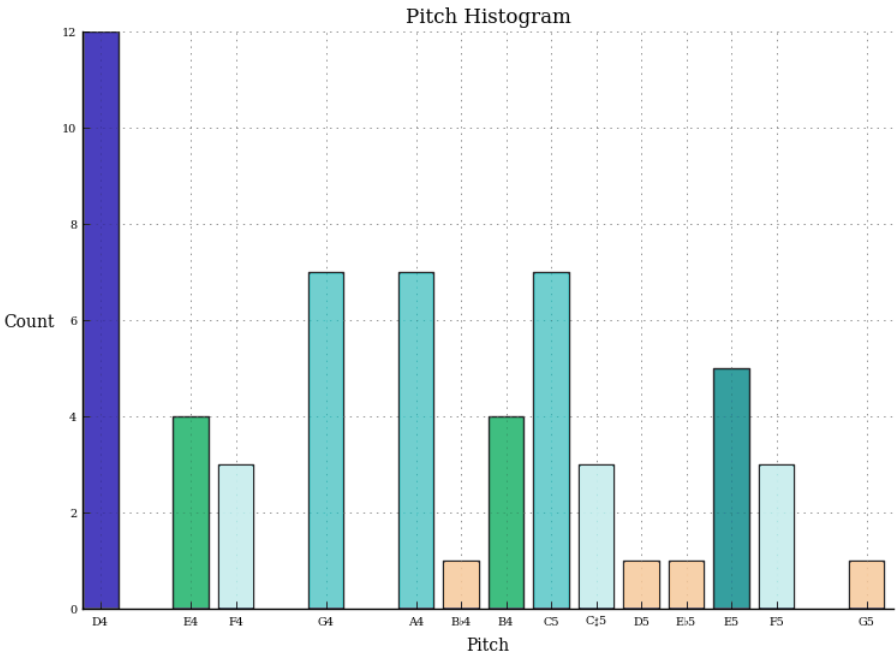


Figura 20 – Análise das seções por condução de vozes



Fonte: autor

Figura 21 – Pitch space melodia



Fonte: autor



## Parte III

### Luteria Composicional



## 7 Aplicação de estruturas sugeridas pelas análises musicais em procedimentos algorítmicos clássicos



## Conclusão

Sed consequat tellus et tortor. Ut tempor laoreet quam. Nullam id wisi a libero tristique semper. Nullam nisl massa, rutrum ut, egestas semper, mollis id, leo. Nulla ac massa eu risus blandit mattis. Mauris ut nunc. In hac habitasse platea dictumst. Aliquam eget tortor. Quisque dapibus pede in erat. Nunc enim. In dui nulla, commodo at, consectetur nec, malesuada nec, elit. Aliquam ornare tellus eu urna. Sed nec metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.

Phasellus id magna. Duis malesuada interdum arcu. Integer metus. Morbi pulvinar pellentesque mi. Suspendisse sed est eu magna molestie egestas. Quisque mi lorem, pulvinar eget, egestas quis, luctus at, ante. Proin auctor vehicula purus. Fusce ac nisl aliquam ante hendrerit pellentesque. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi wisi. Etiam arcu mauris, facilisis sed, eleifend non, nonummy ut, pede. Cras ut lacus tempor metus mollis placerat. Vivamus eu tortor vel metus interdum malesuada.

Sed eleifend, eros sit amet faucibus elementum, urna sapien consectetur mauris, quis egestas leo justo non risus. Morbi non felis ac libero vulputate fringilla. Mauris libero eros, lacinia non, sodales quis, dapibus porttitor, pede. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi dapibus mauris condimentum nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam sit amet erat. Nulla varius. Etiam tincidunt dui vitae turpis. Donec leo. Morbi vulputate convallis est. Integer aliquet. Pellentesque aliquet sodales urna.





# Referências

- ADORNO, T. *Filosofia da Música Nova*. São Paulo: Perspectiva, 1974. Citado na página [23](#).
- ANTOKOLETZ, E. *The music of Béla Bartók: a study of tonality and progression in twentieth-century music*. [S.l.]: Univ of California Press, 1984. Citado 2 vezes nas páginas [16](#) e [61](#).
- BABBITT, M. Who cares if you listen? *High Fidelity*, v. 8, n. 2, p. 38–40, 1958. Citado na página [55](#).
- BERNSTEIN, L. *The unanswered question: Six talks at Harvard*. [S.l.]: Harvard University Press, 1976. Citado na página [40](#).
- BIRD, S.; KLEIN, E.; LOPER, E. *Natural language processing with Python*. [S.l.]: O'Reilly Media, Inc., 2009. Citado na página [41](#).
- BRESSON, J.; AGON, C.; ASSAYAG, G. Openmusic: visual programming environment for music composition, analysis and research. In: ACM. *Proceedings of the 19th ACM international conference on Multimedia*. [S.l.], 2011. p. 743–746. Citado na página [29](#).
- CAGE, J. Conversing with cage. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Routledge, 2002. Citado na página [27](#).
- CHOMSKY, N. Syntactic structures. Mouton, 1957. Citado 3 vezes nas páginas [16](#), [39](#) e [42](#).
- CHOMSKY, N. *Aspects of the Theory of Syntax*. [S.l.]: MIT press, 1965. Citado na página [39](#).
- COPE, D. *Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style*. [S.l.]: MIT Press, 2004. Citado na página [24](#).
- CORTAZAR, J. *O Jogo Da Amarelinha*. [S.l.]: Editora Civilizacao Brasileira, 1963. Citado na página [5](#).
- CRAMER, F. *Words Made Flesh: Code, Culture, Imagination*. Holanda: Piet Zwart Institute, 2005. Citado na página [21](#).
- DOWNEY, A. *Python for software design: how to think like a computer scientist*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2009. Citado na página [36](#).
- FORTE, A. *The structure of atonal music*. [S.l.]: Yale University Press, 1973. Citado na página [7](#).
- GODWIN, J. *Athanasius Kircher: a renaissance man and the quest for lost knowledge*. Londres: Thames and Hudson, 1979. Citado na página [21](#).
- HOFSTADTER, D. R. *Godel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. [S.l.]: Penguin Books, Limited, 2000. Citado na página [24](#).

HOFSTADTER, D. R. Staring emmy straight in th eye - and doing my best not to flinch. In: COPE, D. (Ed.). *Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style*. Cambridge: MIT Press, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

IAZZETTA, F. *Música e mediação tecnológica*. São Paulo: Perspectiva-Fapesp, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 26.

KIRCHER, A. *Musurgia universalis, sive ars magna consoni et dissoni*. Francesco Corbelletti, Roma, 1650. Citado na página 21.

KURZWEIL, R. *The singularity is near: When humans transcend biology*. [S.l.]: Penguin, 2005. Citado na página 24.

LANGTON, C. G. *Artificial life: An overview*. [S.l.]: Mit Press, 1997. Citado na página 23.

LASKE, O.-E. *Music, memory, and thought: Explorations in cognitive musicology*. [S.l.]: Music Department, University of Pittsburgh, 1977. Citado na página 40.

LENDVAI, E.; BUSH, A. *Béla Bartók: an analysis of his music*. [S.l.]: Kahn & Averill London, 1971. Citado na página 16.

LERDAHL, F. Tonal pitch space. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 5, n. 3, p. pp. 315–349, 1988. ISSN 07307829. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/40285402>>. Citado na página 57.

LERDAHL, F. Cognitive constraints on compositional systems. *Contemporary Music Review*, Taylor & Francis, v. 6, n. 2, p. 97–121, 1992. Citado 4 vezes nas páginas 44, 53, 55 e 56.

LERDAHL, F. Genesis and architecture of the gttm project. JSTOR, 2009. Citado 8 vezes nas páginas 7, 9, 40, 44, 45, 52, 53 e 57.

LERDAHL, F.; JACKENDOFF, R. S. *A generative theory of tonal music*. [S.l.]: MIT press, 1983. Citado 15 vezes nas páginas 7, 9, 11, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 53 e 56.

LERDAHL, F.; KRUMHANS, C. L. Modeling tonal tension. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, University of California Press, v. 24, n. 4, p. pp. 329–366, 2007. ISSN 07307829. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/10.1525/mp.2007.24.4.329>>. Citado na página 57.

LESTER, J. *Analytic approaches to twentieth-century music*. WW Norton & Company, 1989. Citado na página 61.

LINDBLOM, B.; SUNDBERG, J. *Towards a generative theory of melody*. [S.l.]: Department of Phonetics, Institute of Linguistics, University of Stockholm, 1970. Citado na página 40.

MARSHALL, W. E. *An Analysis Of The Mikrokosmos Of Béla Bartók*. Tese (Doutorado), 1946. Citado na página 16.

MINSKY, M. *The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind*. [S.l.]: Simon & Schuster, 2007. Citado na página 25.

- MOORER, J. A. Music and computer composition. *Communications of the ACM*, ACM, v. 15, n. 2, p. 104–113, 1972. Citado na página 40.
- NATTIEZ, J.-J. A comparação das análises sob o ponto de vista semiológico (a propósito do tema da sinfonia em sol menor, k. 550, de mozart). *Per Musi—Revista de Performance Musical*, p. 5–40, 2003. Citado na página 39.
- NATTIEZ, J.-J.; DUNSBY, J. M. Fondements d’une sémiologie de la musique. *Perspectives of New Music*, JSTOR, p. 226–233, 1977. Citado na página 40.
- NATTIEZ, J.-J.; SAMPAIO, R. d. L. P. Modelos lingüísticos e análise das estruturas musicais. *Per Musi*, v. 9, p. 5–46, 2004. Citado 4 vezes nas páginas 40, 42, 43 e 46.
- NIERHAUS, G. *Algorithmic composition: paradigms of automated music generation*. [S.l.]: Springer, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 42.
- PESSIS-PASTERNAK, G. *Do caos à inteligência artificial*. [S.l.]: Unesp, 1993. Citado na página 24.
- PUCKETTE, M. The om composer’s book 1. In: \_\_\_\_\_. Paris, France: Delatour, 2006. cap. Computing while composing, p. x–xiv. Citado 3 vezes nas páginas 29, 31 e 32.
- PUCKETTE, M. et al. Pure data: another integrated computer music environment. *Proceedings of the Second Intercollege Computer Music Concerts*, Citeseer, p. 37–41, 1996. Citado na página 31.
- RAHN, J. The swerve and the flow: Music’s relationship to mathematics. *Perspectives of New Music*, Perspectives of New Music, v. 42, n. 1, p. pp. 130–148, 2004. ISSN 00316016. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/25164542>>. Citado na página 59.
- ROADS, C. Composing grammars. *international Computer Music Conference*, UCSD, San Diego, 1978. Citado na página 40.
- ROADS, C. Grammars as representations for music. *Computer Music Journal*, JSTOR, p. 48–55, 1979. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- ROADS, C. *The computer music tutorial*. [S.l.]: MIT press, 1996. Citado na página 41.
- ROADS, C. *Microsound*. [S.l.]: MIT press, 2004. Citado na página 41.
- ROSSUM, G. V.; JR, F. L. D. *Python reference manual*. [S.l.]: Centrum voor Wiskunde en Informatica Amsterdam, 1995. Citado na página 36.
- RUSSOLO, L. *L’arte dei rumori*. [S.l.]: Nuovi Equilibri, 2009. Citado na página 23.
- RUWET, N. Théorie et méthodes dans les études musicales. *Musique en jeu*, v. 17, p. 11–35, 1975. Citado na página 40.
- SCHWANAUER, S. M.; LEVITT, D. A. *Machine models of music*. [S.l.]: MIT Press, 1993. Citado na página 22.
- SMOLIAR, S. W. Music programs: An approach to music theory through computational linguistics. *Journal of Music Theory*, JSTOR, p. 105–131, 1976. Citado na página 40.

- STOCKHAUSEN, K. A situação do metier, a composição do som. *Música Eletroacústica, História e estéticas*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. Citado na página 22.
- STRAUS, J. N. *Introduction to Post-Tonal Theory (3rd Edition)*. [S.l.]: Pearson, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 59.
- SUCHOFF, B. *Guide to Bartók's Mikrokosmos*. [S.l.]: Boosey and Hawkes, 1971. Citado na página 16.
- SUCHOFF, B. *Bartók's Mikrokosmos: Genesis, Pedagogy, and Style*. [S.l.]: Scarecrow Press, 2004. Citado na página 16.
- TEMPERLEY, D. *The cognition of basic musical structures*. [S.l.]: MIT press, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 40.
- TURING, A. M. On computable numbers, with an application to the entscheidungsproblem. *Journal of Math*, v. 58, p. 345–363, 1936. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 24.
- TURING, A. M. Computing machinery and intelligence. *Mind*, JSTOR, p. 433–460, 1950. Citado na página 24.
- WIENER, N. et al. *Cybernetics*. New York: J. Wiley, 1948. Citado na página 23.
- WINOGRAD, T. Linguistics and the computer analysis of tonal harmony. *Journal of Music Theory*, JSTOR, p. 2–49, 1968. Citado na página 40.
- WOLFRAM, S. *A new kind of science*. [S.l.]: Wolfram media Champaign, 2002. Citado na página 25.
- XENAKIS, I. *Formalized music: thought and mathematics in composition*. [S.l.]: Pendragon Press, 1992. Citado na página 25.
- ZIELINSKI, S. *Arqueologia da mídia: em busca do tempo remoto das técnicas do ver e do ouvir*. São Paulo: Annablume, 2006. Citado na página 21.

## Apêndices



# APÊNDICE A – Repositório de Códigos

## A.0.1 Biblioteca de Algoritmos

```

def mod12(n):
    →return n % 12

def note_name(number):
    →notes = "C_D_E_F_G_A_B".split()
    →return notes[mod12(number)]

for i in intervalos:
    →if (i in maiores):
        →→if (i == (4,7)):
            →→→tipos.append(("maior",0))
        →→if (i == (5,9)):
            →→→tipos.append(("maior",1))
        →→if (i == (3,8)):
            →→→tipos.append(("maior",2))

    →if (i in menores):
        →→if (i == (3,7)):
            →→→tipos.append(("menor",0))
        →→if (i == (5,8)):
            →→→tipos.append(("menor",1))
        →→if (i == (4,9)):
            →→→tipos.append(("menor",2))
    →if (i in aumentados):
        →→→tipos.append(("aumentado", "not"))
    →if (i in diminutos):
        →→if (i == (3,6)):
            →→→tipos.append(("diminuto",0))
        →→if (i == (6,9)):
            →→→tipos.append(("diminuto",1))
        →→if (i == (3,9)):
            →→→tipos.append(("diminuto",2))

```





## Anexos



# ANEXO A – Tabela de Pitch Class Set de Allen Forte

#	Fortecross-referenced Set-name	Prime	Interval Vector	Descriptive name/properties
0	0-1	empty	000000	Null set
1	1-1*	0	000000	Unison
2	2-1*	01	100000	Semitone
3	2-2*	02	010000	Whole-tone
4	2-3*	03	001000	Minor Third
5	2-4*	04	000100	Major Third
6	2-5*	05	000010	Perfect Fourth
7	2-6*(6)	06	000001	Tritone
8	3-1*	012	210000	BACH /Chromatic Trimirror
9	3-2	013	111000	Phrygian Trichord
10	3-2B	023	111000	Minor Trichord
11	3-3	014	101100	Major-minor Trichord.1
12	3-3B	034	101100	Major-minor Trichord.2
13	3-4	015	100110	Incomplete Major-seventh Chord.1
14	3-4B	045	100110	Incomplete Major-seventh Chord.2
15	3-5	016	100011	Rite chord.2, Tritone-fourth.1
16	3-5B	056	100011	Rite chord.1, Tritone-fourth.2
17	3-6*	024	020100	Whole-tone Trichord
18	3-7	025	011010	Incomplete Minor-seventh Chord
19	3-7B	035	011010	Incomplete Dominant-seventh Chord.2
20	3-8	026	010101	Incomplete Dominant-seventh Chord.1/1
21	3-8B	046	010101	Incomplete Half-dim-seventh Chord
22	3-9*	027	010020	Quartal Trichord
23	3-10*	036	002001	Diminished Chord
24	3-11	037	001110	Minor Chord
25	3-11B	047	001110	Major Chord
26	3-12*(4)	048	000300	Augmented Chord
27	4-1*	0123	321000	BACH /Chromatic Tetramirror
28	4-2	0124	221100	Major-second Tetrachord.2
29	4-2B	0234	221100	Major-second Tetrachord.1
30	4-3*	0134	212100	Alternating Tetramirror
31	4-4	0125	211110	Minor Third Tetrachord.2
32	4-4B	0345	211110	Minor Third Tetrachord.1
33	4-5	0126	210111	Major Third Tetrachord.2
34	4-5B	0456	210111	Major Third Tetrachord.1
35	4-6*	0127	210021	Perfect Fourth Tetramirror
36	4-7*	0145	201210	Arabian Tetramirror
37	4-8*	0156	200121	Double Fourth Tetramirror
38	4-9*(6)	0167	200022	Double Tritone Tetramirror
39	4-10*	0235	122010	Minor Tetramirror
40	4-11	0135	121110	Phrygian Tetrachord
41	4-11B	0245	121110	Major Tetrachord
42	4-12<	0236	112101	Harmonic-minor Tetrachord
43	4-12B<	0346	112101	Major-third Diminished Tetrachord
44	4-13	0136	112011	Minor-second Diminished Tetrachord
45	4-13B	0356	112011	Perfect-fourth Diminished Tetrachord
46	4-14<	0237	111120	Major-second Minor Tetrachord
47	4-14B<	0457	111120	Perfect-fourth Major Tetrachord
48	4-Z15..29	0146	111111	All-interval Tetrachord.1
49	4-Z15B..29	0256	111111	All-interval Tetrachord.2

---

50	4-16	0157	110121	Minor-second Quartal Tetrachord
51	4-16B	0267	110121	Tritone Quartal Tetrachord
52	4-17*	0347	102210	Major-minor Tetramirror
53	4-18	0147	102111	Major-diminished Tetrachord
54	4-18B	0367	102111	Minor-diminished Tetrachord
55	4-19	0148	101310	Minor-augmented Tetrachord
56	4-19B	0348	101310	Augmented-major Tetrachord
57	4-20*	0158	101220	Major-seventh Chord
58	4-21*	0246	030201	Whole-tone Tetramirror
59	4-22	0247	021120	Major-second Major Tetrachord
60	4-22B	0357	021120	Perfect-fourth Minor Tetrachord
61	4-23*	0257	021030	Quartal Tetramirror
62	4-24*	0248	020301	Augmented Seventh Chord
63	4-25*(6)	0268	020202	French-sixth Chord
64	4-26*	0358	012120	Minor-seventh Chord
65	4-27	0258	012111	Half-diminished Seventh Chord
66	4-27B	0368	012111	Dominant-seventh/German-sixth Chord
67	4-28*(3)	0369	004002	Diminished-seventh Chord
68	4-Z29..15	0137	111111	All-interval Tetrachord.3
69	4-Z29B..15	0467	111111	All-interval Tetrachord.4
70	5-1*	01234	432100	Chromatic Pentamirror
71	5-2	01235	332110	Major-second Pentacluster.2
72	5-2B	02345	332110	Major-second Pentacluster.1
73	5-3	01245	322210	Minor-second Major Pentachord
74	5-3B	01345	322210	Spanish Pentacluster
75	5-4	01236	322111	Blues Pentacluster
76	5-4B	03456	322111	Minor-third Pentacluster
77	5-5	01237	321121	Major-third Pentacluster.2
78	5-5B	04567	321121	Major-third Pentacluster.1
79	5-6	01256	311221	Oriental Pentacluster.1, Raga Megharanji (13161)
80	5-6B	01456	311221	Oriental Pentacluster.2
81	5-7	01267	310132	DoublePentacluster.1, Raga Nabhomani (11415)
82	5-7B	01567	310132	Double Pentacluster.2
83	5-8*	02346	232201	Tritone-Symmetric Pentamirror
84	5-9	01246	231211	Tritone-Expanding Pentachord
85	5-9B	02456	231211	Tritone-Contracting Pentachord
86	5-10	01346	223111	Alternating Pentachord.1
87	5-10B	02356	223111	Alternating Pentachord.2
88	5-11	02347	222220	Center-cluster Pentachord.1
89	5-11B	03457	222220	Center-cluster Pentachord.2
90	5-Z12*..36	01356	222121	Locrian Pentamirror
91	5-13	01248	221311	Augmented Pentacluster.1
92	5-13B	02348	221311	Augmented Pentacluster.2
93	5-14	01257	221131	Double-seconds Triple-fourth Pentachord.1
94	5-14B	02567	221131	Double-seconds Triple-fourth Pentachord.2
95	5-15*	01268	220222	Assymetric Pentamirror
96	5-16	01347	213211	Major-minor-dim Pentachord.1
97	5-16B	03467	213211	Major-minor-dim Pentachord.2
98	5-Z17*..37	01348	212320	Minor-major Ninth Chord
99	5-Z18<..38	01457	212221	Gypsy Pentachord.1



## ANEXO B – Regras da Teoria Gerativa da Musica Tonal