

Guilherme Rafael Soares

# **Estudo comparado de dois paradigmas para métodos numéricos da análise musical**

**20 de julho de 2014**



# 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 regras quantitativas extraídas de análises musicais.

Formalizamos tais aspectos através de um estudo comparado de dois paradigmas de análise musical: "*A Teoria Gerativa da Música Tonal*"(??) com algumas de suas continuidades (????) e a "*Teoria de grupos das classes de alturas*" (ou "*Pitch Class Set Theory*") (????).

Os procedimentos são demonstrados a partir de aspectos singulares de algumas peças da suíte Mikrokosmos do compositor Béla Bartók, gerando composições algorítmicas a partir das regras observadas. Este repertório foi escolhido devido a seu reconhecido contexto como composições pianísticas e pedagógicas situadas nas fronteiras da pós-tonalidade.

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

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. Teoria Gerativa da Música Tonal. Mikrokosmos. Arte Sonora.



# Introdução

Buscamos neste artigo organizar um estudo comparado de dois paradigmas de análises musicais que formalizaram métodos numéricos influentes ainda hoje para a construção de algoritmos musicais inspirados no repertório da prática comum tonal e pós-tonal.

A partir dessas perspectivas, encontramos duas abordagens analíticas que nos chamaram atenção por serem relativamente contemporâneas entre si e que partem de diferentes princípios.

A primeira abordagem é a da *"Teoria Gerativa da Música Tonal"* (??) e alguns desdobramentos mais recentes como a *"Cognição das Estruturas Musicais Básicas"* (??) para buscar algoritmos que definam critérios quantitativos para análises tomem em consideração a normatização operada pela música tonal ocidental na percepção do seu ouvinte médio. Estas teorias flertam com argumentos da psicologia cognitivista da música (??) para justificar seus pressupostos.

A segunda é a corrente musicológica que trabalha sobre um mapeamento dos agrupamentos de classes de alturas, organizando taxonomias (??), descrevendo operações de transformação(??) e buscando critérios mais autorais para apontar singularidades em composições (????) que não necessariamente operam sobre os pressupostos de uma expectativa de tonalidade explícita.



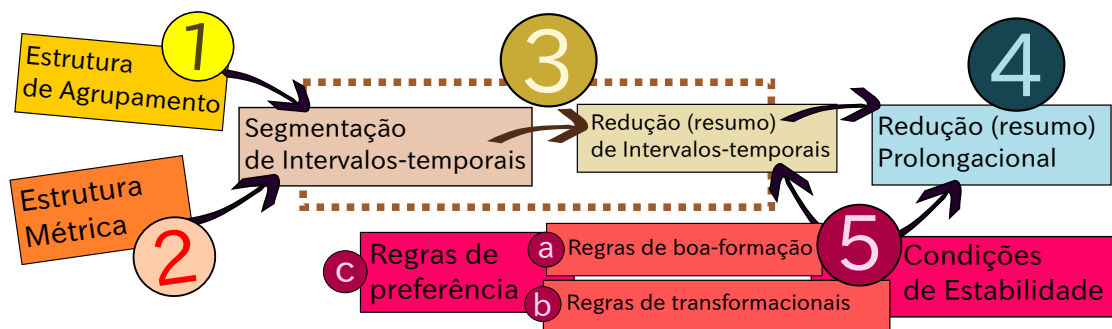
# 1 Teorias Cognitivistas para uma Segmentação Tonal

## 1.1 Gramática Gerativa da Música Tonal (GTTM)

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 plena efervescência, dela se apossou. (...) Na medida em que 51 das 56 regras propostas são dadas como universais** (??, 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. (??, grifos nossos.)

A "*Generative Theory of Tonal Music*"(??) <sup>1</sup> 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. Ela aponta limitações e contradições entre estas regras e buscando apoiar-se em processos cognitivos rastreados pela audição, psicoacústica e cultura desta escuta.<sup>2</sup>

Figura 1 – Fluxograma de ??) para a GTTM



Fonte: ??, p. 2 , tradução do autor)

<sup>1</sup> Doravante tratada por GTTM.

<sup>2</sup> Lerdahl e Jackendoff colocam o termo “regra gerativa” ( que é derivado da linguística ) significando uma estrutura pela qual a escuta já experimentada naquela cultura musical guia-se para segmentar e fruir sua sixtaxe. (??, p.6)

Em revisões que sucedem a GTTM, Fred Lerdahl desenha o esquema básico do seu funcionamento dividindo-a em quatro estruturas:

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

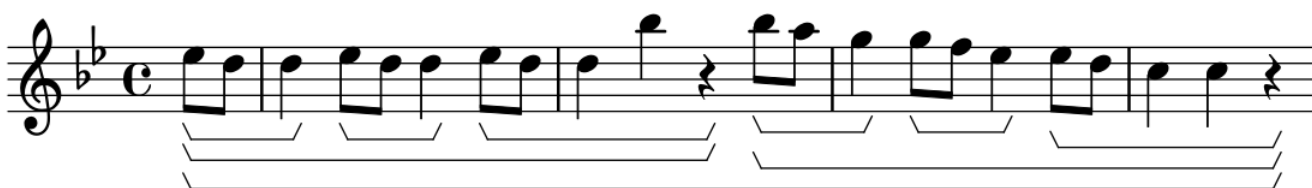
**1. estrutura de agrupamento**, ou a segmentação do fluxo musical em unidades como motivos, frases e sessões; **2. estrutura métrica**, ou padrão de batidas recorrentes periodicamente forte e fracas associadas com a superfície; **3. redução de intervalo temporal**, ou a importância estrutural relativa 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 (??) <sup>3</sup>

O quinto elemento da Figura 1, as "regras de preferência", seriam compostas pelas condições de estabilidade das 4 estruturas: regras de "boa-formação" que são mais essenciais para a segmentação básica e as "regras de preferencia" hierarquizadas pelo contexto.

### 1.1.1 Estrutura de Agrupamento

As regras de boa formatividade dos agrupamentos (*"Grouping Well-Formed Rules-GWFRs"*) definem o conjunto mais geral e axiomático das regras da GTTM, definindo premissas como o fato de que a análise considera uma escuta linear e hierarquizada, com pequenos grupos interdependentes de seus prolongamentos em grandes grupos.

Figura 2 – Agrupamento de motivos do início da sinfonia K550 de Mozart.



Fonte: (??)

**GWFR 1** "Qualquer sequencia contígua de eventos de alturas, batidas percussivas, ou similares constituem um grupo, e somente sequencias contíguas constituem um grupo" (??, p.37).

<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"(??)

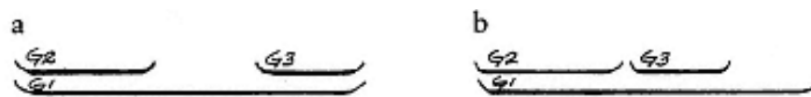


Esta regra estabelece que esse tipo de escuta irá selecionar agrupamentos apenas por eventos sequenciados, não valendo por exemplo agrupar sons apenas por estarem na mesma oitava ou por serem de figuras rítmicas iguais figurando em diferentes sessões da peça, pois isto implicaria uma seleção cognitiva-auditiva de eventos num tempo não-linear, desconstruindo a escuta imediata proposta pela sequência de eventos da composição original. A abordagem da GTTM é sempre de tentar justificar suas regras por uma suposta experiência cognitiva imediata.

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”, **GWFR 5** “Se o grupo G1 contém grupos menores, então ele deve ser exaustivamente particionado em pequenos grupos” (??, p.38)

Figura 3 – Exemplos de agrupamentos “mal formados” de acordo com a regra GWFR5



Fonte: (??)

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

**GPR1** “Evite análises com pequenos grupos, quanto menor menos preferível”. (??, p.43)

Segundo a GTTM, pequenos grupos geralmente não serão capazes de sozinhos estabelecer contextos. Uma pequena digressão: isto seria questionável em uma teoria que considerasse pequenos motivos como uma espécie de "objeto sonoro" (??), mas não é o caso desta abordagem, que está preocupada com uma camada exterior que supostamente é edificada por esta articulação contígua de grupos internos. A ideia de um pequeno motivo que irrompe esta superfície funcional linear como uma sonoridade (??) articulada como entidade seria um complemento interessante a ser pensando mais adiante.

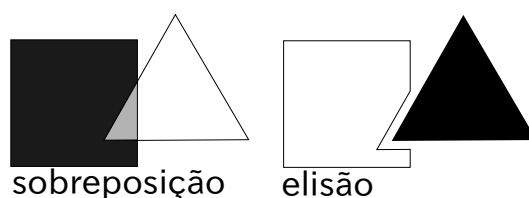
**GPR2 “(Proximidade)”** – Considere uma sequência de quatro notas [n1-n2-n3-n4], O restante sendo igual, a transição n2-n3 deve ser considerada uma fronteira de segmento se: **a) (Ligadura/Pausa)** o intervalo-temporal desde o final de n2 ao início de n3 é menor do que

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. (??, 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. É interessante também pensar a segmentação dos agrupamentos com analogias sobre a teoria da forma (??).

Figura 4 – Formalização visual dos problemas de elisão e sobreposição de camadas na GTTM. (??, 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.” (??)

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

Quanto a analogia com os critérios de segmentação da língua escrita e falada, percebemos na GTTM e sua revisão trabalhada por ??) 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.

“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.”(??, p.9)

Por outro lado, obviamente seria preciso pensar todas as 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. No entanto iremos perceber que recursivamente a teoria vai demandando definições mais precisas para cada novo critério que enumera. Por exemplo: como definir “articulação”? Que critérios utilizar nas medidas intervalares?

**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 entre  $n2-n3$  enquanto  $n1-n2$  ou  $n3-n4$  permanecem com durações similares, (??)

Ilustramos algumas destas regras demonstrando como podem ser observadas em uma estrutura *chord-seq* da linguagem *Open Music*.<sup>4</sup>

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

**GPR4 (Intensificação)** 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 mais estável e/ou reduções prolongacionais. (??, pg.46-52)

### 1.1.2 Estrutura Métrica

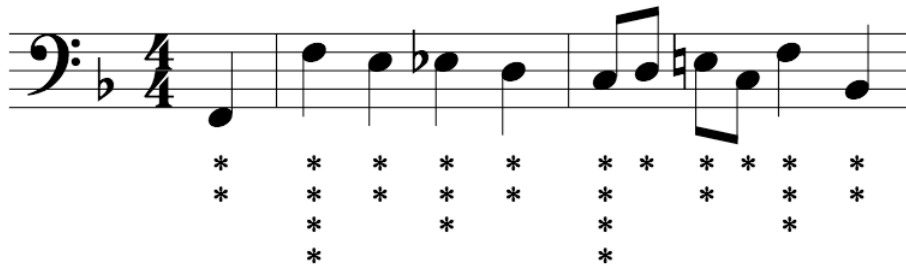
Antes de entrar na taxonomia das regras de boa formação métrica convém entender o que a GTTM coloca como acento. Há uma categorização que divide os acentos em fenomenológico, estrutural e métrico.

Por fenomenológicos 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.

<sup>4</sup> As ferramentas computacionais utilizadas neste trabalho são explicadas em detalhes na ??.



Figura 6 – Notação analítica proposta pela GTTM que marca uma hierarquia das batidas por subdivisões de pulsos



Fonte: Documentação da biblioteca python music21

assinatura de compasso chega em um ponto, após o serialismo integral principalmente, em que é proposta a abolição da assinatura ou barra de compassos num extremo e no outro extremo uma complexidade tão alta na subdivisão de quiálteras que ficam totalmente arbitrárias e subentendidas na notação uma indução ao improvisado do interprete.

Voltando às regras, assim como no agrupamento, na métrica também temos as regras de boa formação (WFRs - “Well Formed Rules”) para os casos mais gerais e em seguida atemos 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."(??)

#### 1.1.2.1 Regras de preferência métrica (MPFRs)

O conjunto de regras de preferência métrica estabelece conflitos que inevitavelmente precisariam ser hierarquizados conforme o contexto, e da mesma maneira que as regras gerais de agrupamento, são dependentes de maior critério na definição dos eventos de alturas, cadências e articulações.

**MPFR1 (Paralelismo)** "Onde dois ou mais grupos ou partes de grupos podem ser construídos 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"(??)

## 1.2 Segmentação temporal de eventos cadenciais e a redução prolongacional na GTTM

É importante destacar a partir daqui que as continuidades e derivações da pesquisa iniciada pelo GTTM tiveram que buscar fórmulas mais rigorosas em pesquisas quantitativas sobre "cognição das alturas musicais"(??) nos níveis de interação entre as camadas melódico-harmônicas com os agrupamentos métrico-rítmicos para sustentar seus argumentos sobre as preferências condicionadas do tal "ouvinte experiente"(??, p. 118) como fator organizador da teoria.

As regras de redução prolongacional, similares aos resumos cadenciais shenkerianos que segmentam os eventos melódico-harmônicos, são dependentes daquilo que a GTTM chama de intervalo-temporal ( "*time span*" ) - regras de preferência determinadas por fatores internos da superfície musical: proximidade de uma tônica, modulação de regiões funcionais de tonalidade, âmbito de registro de oitava, paralelismo motivico e toda uma suposta hierarquia destas interações. No entanto estes apontamentos foram desde então criticados por sua arbitrariedade indutiva.<sup>5</sup>

O próprio ??) afirma em sua revisão da GTTM:

O princípio de interação talvez ainda seja muito técnico para ser testado empiricamente neste ponto; mas em seu contexto mais amplo, a percepção hierárquica das estruturas de alturas é um assunto de interesse considerável para a psicologia da música. **O componente de prolon-**

<sup>5</sup> c.f. "Pontos típicos da crítica" da GTTM em (??, p. 35)

gamento da GTTM de qualquer modo, apresenta dificuldades a este respeito. (??, p. 191)<sup>6</sup>

Posteriormente ao GTTM, Lerdahl investe esforços no desenvolvimento da teoria de espaço tonal(??). Esta teoria foi fortemente baseada nas pesquisas de quantificação das condições para estabilidade da percepção de contextos tonais argumentada por Carol Krumhansl em seu artigo "*Perceptual structures of tonal music*" (??) e fundamentada em mais profundidade no livro "*Cognitive structures of pitch*" (??). Como veremos mais adiante este trabalho também influenciou os algoritmos de harmonia e tonalidade de David Temperley em seu "*Cognition of Basic Musical Structures*" (??).

Mais recentemente, Lerdahl atualiza sua teoria do espaço tonal(??) buscando alguns argumentos novos sobre transformações cromáticas algébricas fundamentadas pela corrente musicológica "*Neo-Riemanniana*"(????) e escreve com Krumhansl um artigo chamado "*Modeling Tonal Tension*"(??) a fim de legitimar sua teoria através de testes cognitivos com uma audiência.

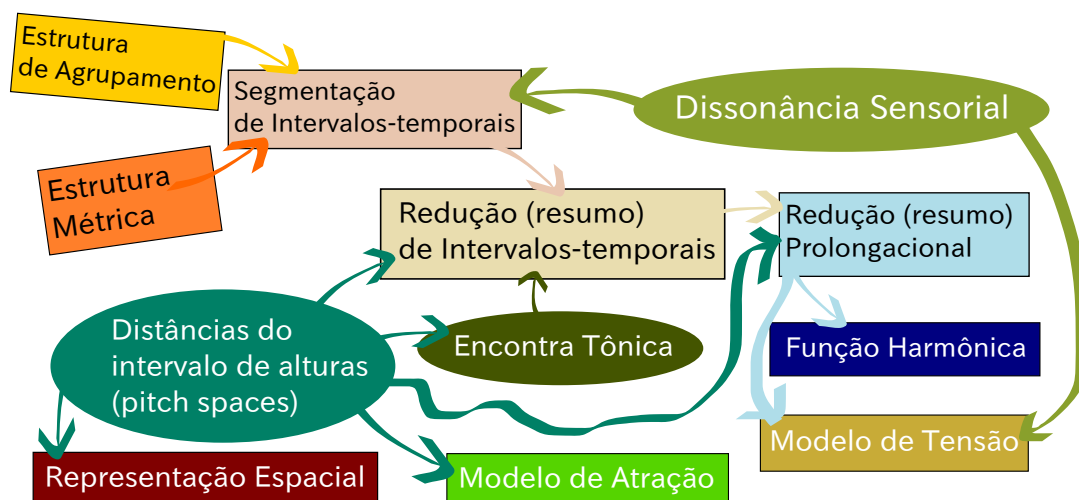
A ideia é que a distância cognitiva de um evento de um ponto dado de referência mede a instabilidade do evento em relação a este ponto de referência. Na suposição que o ouvinte inconscientemente busca uma interpretação mais estável de uma passagem musical, o princípio TPS ["Espaço de Alturas Tonais"] do menor caminho seleciona eventos revelando as menores distâncias disponíveis para superordenar eventos em cada estágio da redução prolongacional. (??, p. 191)<sup>7</sup>

Considerando esta atualização da teoria, optamos por não entrar em detalhes destes dois escopos mais frágeis da GTTM e focamos diretamente em derivações posteriores que os problematizam em outros termos. Tomamos dos estudos de Lerdahl posteriores à GTTM por enquanto apenas seu conceito de tensão e estabilidade desenvolvido em sua "teoria do espaço tonal" ("Tonal Pitch Space", doravante referida como TPS) na próxima sessão. Em seguida apresentamos uma alternativa derivada da GTTM, elaborada por David Temperley e implementada computacionalmente em seu trabalho "*Cognition of Basic Musical Structures*" (??).

<sup>6</sup> 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. (??, p. 191)

<sup>7</sup> 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. (??, p. 191)

Figura 7 – Extensão das regras de GTTM na obra “Tonal Pitch Space” propostas por ??)



Fonte: (??, tradução do autor.)

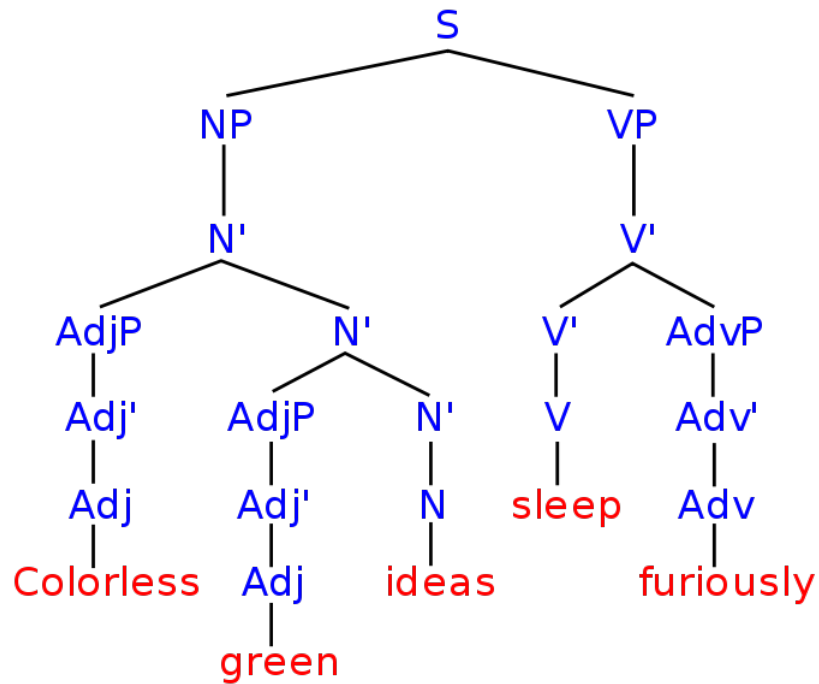
#### 1.2.0.2 Calculando a tensão e o espaço das alturas tonais (TPS)

Para a segmentação prolongacional da GTTM, ??) já argumentavam regras de formação que determinariam ramificações semelhantes às usadas por Chomsky (??) para construir as implicações de um segmento sobre outro. Como nas frases escritas, a ideia deriva da constatação de que adjetivos qualificam substantivos, pronomes conjugam verbos e assim por diante. Estas estruturas sintáticas determinam uma boa-formação da frase, de maneira que, mesmo antes de inferirmos significado nesta, temos uma estrutura onde as funções estão bem definidas. A troca de um verbo por outro, por exemplo, contanto que conjugados na mesma pessoa do sujeito da frase, muda seu sentido - mas não sua sintaxe.

A frase "**Ideias verdes descoloridas dormem furiosamente**" é usada por ??) em sua argumentação sobre a construção de uma frase onde a ordem correta e implicação funcional das palavras determina sentido mas não uma semântica estrita. Mesmo a tradução para português já revela uma problemática básica para os algoritmos de tradutores textuais - se traduzirmos literalmente palavra por palavra não teremos uma frase bem construída: "**Descoloridas verde ideias dormem furiosamente**".

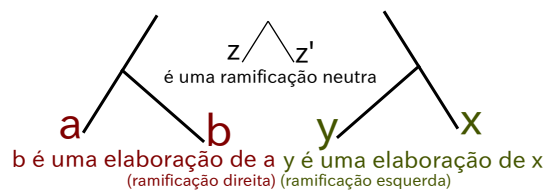


Figura 8 – "Ideias verdes descoloridas dormem furiosamente" (??)



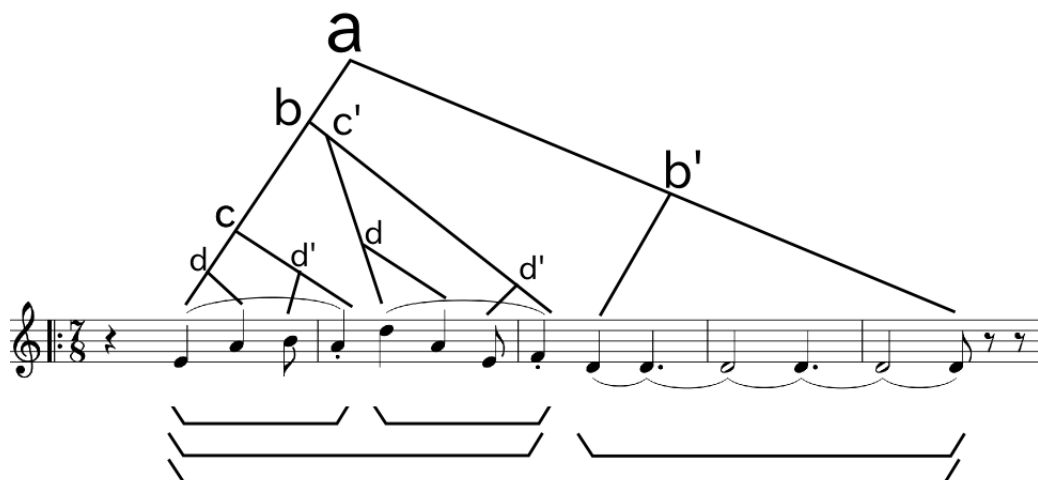
Fonte: wikimedia.org

Figura 9 – A analogia de um segmento musical implicando ou sendo implicado por outro é usada na GTTM.



Fonte: autor

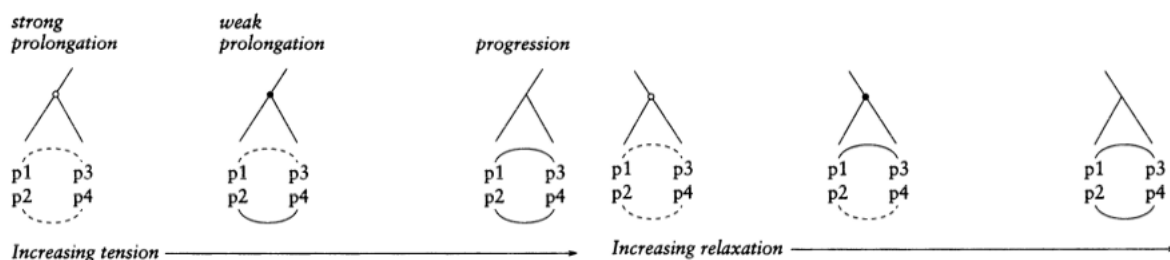
Figura 10 – Notação em árvore proposta pela GTTM aplicada na melodia inicial de Mikrokosmos 113 de Bártok.



Fonte: autor

Na GTTM(??, p. 182) é apresentada uma notação com círculos brancos para prolongamentos fortes e pretos para prolongamentos fracos. No entanto naquele momento ainda não havia uma argumento quantitativo rigoroso para medir estas forças.

Figura 11 – Forças tonais nos prolongamentos revistas por Fred ??)



Fonte: (??, p. 322)

Em seus artigos "Tonal Pitch Space"(??) e "Calculating Tonal Tension"(??) elabora com mais rigor o desenvolvimento de um critério para determinar numericamente estas forças e decidir prolongamentos que prevalecem nas reduções ou argumentar momentos de mudança de contexto tonal.

A fórmula determina um peso para a transformação da condução de vozes para arbitrar uma escala de valores numéricos entre os adjetivo "forte" e "fraco" que permite especular uma computabilidade destes movimentos de tensão e relaxamento.

Lerdahl utiliza o modelo de espaço derivado de ??), que hierarquiza as alturas em níveis cromático, diatônico, triádico, quintas e oitavas. Distribui as alturas normalizadas em grupos de classe de alturas, desconsiderando o registro de oitava, para em seguida comparar as regiões.

Figura 12 – Espaço tonal diatônico proposto por Fred ??)

<b>Octave level:</b>	3										
<b>Fifth level:</b>	3			10							
<b>Triadic level:</b>	3			7		10					
<b>Diatonic level:</b>	0	2	3	5	7	8	10				
<b>Chromatic level:</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 11

Fonte: (??, p. 322)

O exemplo usado é o início da Sonata K.282 de Mozart, demonstrando as tonalidades a partir do I grau de Eb maior.

$$Eb : I \left\{ \begin{array}{l} \text{Nível Oitava : } [3] \rightarrow [Eb] \rightarrow \text{Tonalidade} \\ \text{Nível Quinta : } [3, 10] \rightarrow [Eb, Bb] \rightarrow \text{Dominante} \\ \text{Nível Triádico : } [3, 7, 10] \rightarrow [Eb, G, Bb] \rightarrow \text{Tríade Maior} \\ \text{Nível Diatônico : } [3, 5, 7, 10, 0, 2] \rightarrow \text{Escala de Eb Maior} \\ \text{Nível Diatônico : } [0...11] \rightarrow \text{Sequencia cromática completa} \end{array} \right.$$

Para decidir quais graus do prolongamento são mais fortes a ponto de permanecerem em reduções e figurarem como tensão e relaxamento, ??, p. 232) utiliza a fórmula:  $\text{distância}(x \rightarrow y) = i + j + k$

$$\text{onde } \left\{ \begin{array}{l} i = \text{passos entre tonalidades por ciclo de quintas} \\ j = \text{passos entre acordes por ciclo de quintas} \\ k = \text{graus cromáticos em comum} \end{array} \right.$$

Lerdahl numera as cadências e determina algumas preferências para a decisão de quais segmentos são tensão e relaxamento nos prologamentos, através da sua fórmula para medida das distâncias.

No caso  $(6 \rightarrow 7)$  temos **2** passos pelo ciclo de quintas para chegar de  $(V \rightarrow ii)$ , **1** passo para chegar de  $(I \rightarrow V)$  e 8 graus cromáticos em comum. Uma distancia de "tensão tonal" igual a **11**.



## 1.3 Cognição das estruturas musicais básicas (CBMS)

A teoria elaborada por David ??) em seu livro "*Cognition of Basic Musical Structures*"<sup>8</sup> foi declaradamente inspirada na GTTM. Seu esquema de enumeração de regras *bem formadas* e regras *de preferência* é tão similar que pode ser considerado uma tentativa de continuidade desta.

Temperley divide as regras em seis grupos: **estrutura métrica, frase melódica, estrutura contrapontual, solfejo enarmônico das classes de altura tonais, estrutura harmônica, estrutura de tonalidade.**

As regras de estrutura métrica são bastante similares e as regras de frase melódica e estrutura contrapontual são uma proposta próxima das regras de agrupamento da GTTM, porém levando em conta algumas ideias para interação polifônica e determinando métodos para pensar contorno melódico e o fluxo das vozes.

Decidimos iniciar o percurso pelas regras da CBMS com dois grupos de regras que parecem indispensáveis para pensar todas as outras, e que parece mais deficiente na GTTM: o solfejo enarmônico das classes de altura tonais e a estrutura de tonalidade.

### 1.3.0.3 Solfejo Enarmônico das Classes de Alturas Tonais

A questão do solfejo enarmônico é central para a implementação algorítmica dos seis sistemas de regras propostos por Temperley.

A CBMS parte de uma reflexão sobre representações geométricas do ciclo de quintas, concluindo que representações cíclicas e modulares do ciclo ("Neutral Pitch Class") não são suficientes para o que chama "Tonal Pitch Class", uma representação que dê conta dos contextos funcionais que diferenciam as enarmonias conforme o seu papel em determinado contexto: nota sensível, nota de passagem, modulação para tonalidade relativa, resolução de dominante, etc.<sup>9</sup>

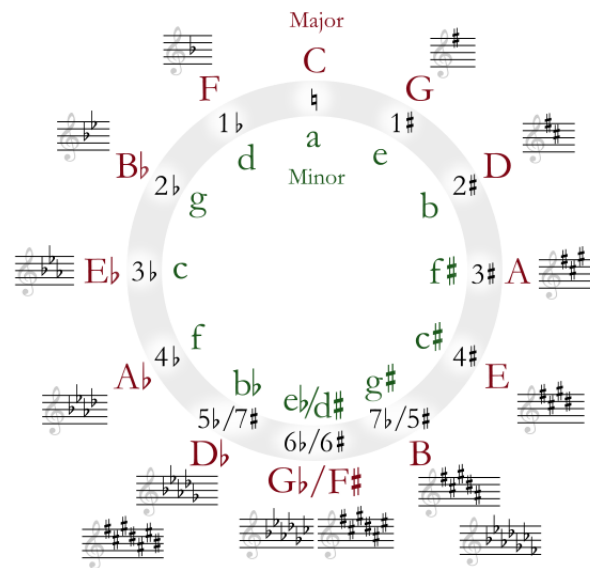
Considerando a representação geométrica circular das classes de nota problemática para enarmonia, por ser cíclica e não representar o deslocamento de intervalos dentro da distância superior a um âmbito limitado de oitava, a CBMS propõe uma medida para esta denominação baseada no que chama de "linha de quintas".

O argumento é de que a linha sugere possíveis cromatismos através de uma provável modulação desejada para mover-se até tonalidades vizinhas.

<sup>8</sup> Doravante tratado por CBMS.

<sup>9</sup> Para além de declarações de tonalidade na escrita tradicional de armaduras de clave, Temperley leva em consideração aquilo que há de autoral na ortografia(??, p.123) dos compositores e que poderia confirmar a função do cromatismos dentro do discurso tonal cognoscível para o sistema argumentado pelas CBMS.

Figura 15 – Ciclo de dominantes e subdominantes em modo circular



Fonte: wikisource.org

Figura 16 – Escala de Dó maior na linha enarmônica das quintas proposta por Temperley.



Fonte: (??, p. 127)

Nas regras de preferência para o Solfejo enarmônico CBMS problematiza o que chama de "Centro de Gravidade Tonal"<sup>10</sup>.

Figura 17 – Escala de Dó maior - Ré como centro de gravidade.



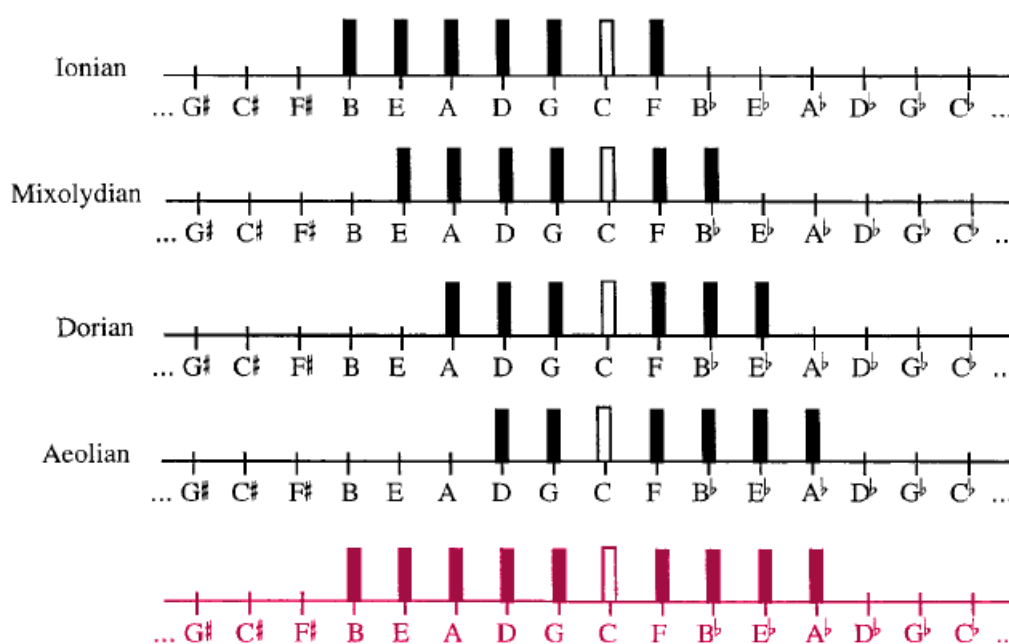
Fonte: (??, p. 127)

<sup>10</sup> (COG)-"Center of gravity"(??, p.125)

Considera-se que cada centro de gravidade vai ficando mais complexo a cada modulação de tonalidade. A regra de preferência da variância das alturas<sup>11</sup> determina a aproximação onde, por exemplo, para a escala de Dó maior teremos o centro em Ré.

Mais adiante em uma aplicação proposta para a análise da influência do modalismo no rock, Temperley propõe uma ideia que chama de "supermodo", uma combinação de modos vizinhos, expandindo o espaço tonal para um campo estendido onde as notas cromáticas teriam funções de afirmar os modos.

Figura 18 – Escalas modais na linha enarmônica das quintas proposta por Temperley e o supermodo resultante de sua combinação.



Fonte: (??, pg. 260)

As regras de variância na condução de vozes<sup>12</sup> determinam critérios para considerar as passagens cromáticas dentro da condução de vozes, já que neste caso é preciso uma "nota de passagem" que não está como pivô de modulação ou sensível de resolução mas como um ornamento de passagem cromática. A CBMS propõe que se um evento está distante do centro de gravidade neste contexto deve portanto estar a no mínimo cinco passos da classe de altura do evento relacionado (??, p.130).

A última regra de preferência para o solfejo harmônico trata do reconhecimento de notas que estão figurando funcionalmente em acordes, determinando contexto cadencial.<sup>13</sup>

A regra anterior expõe um caso onde claramente não apenas o contexto é determi-

<sup>11</sup> "Tonal Pitch Rule 1" - (TPR1)(??, p.125)

<sup>12</sup> "Tonal Pitch Rule 2- (TPR2)(??, p. 129)

<sup>13</sup> "Tonal Pitch Rule 3- (TPR3)(??, p. 131)

nado pela escolha da relação individual entre as alturas mas a identidade destas alturas é determinada pelo contexto harmônico.

A CBMS estabelece regras específicas para inferir contexto harmônico, mas em nossa abordagem preferimos antes explorar sua argumentação para a estrutura de tonalidade, buscando as raízes dos argumentos que sustentam tal teoria harmônica.



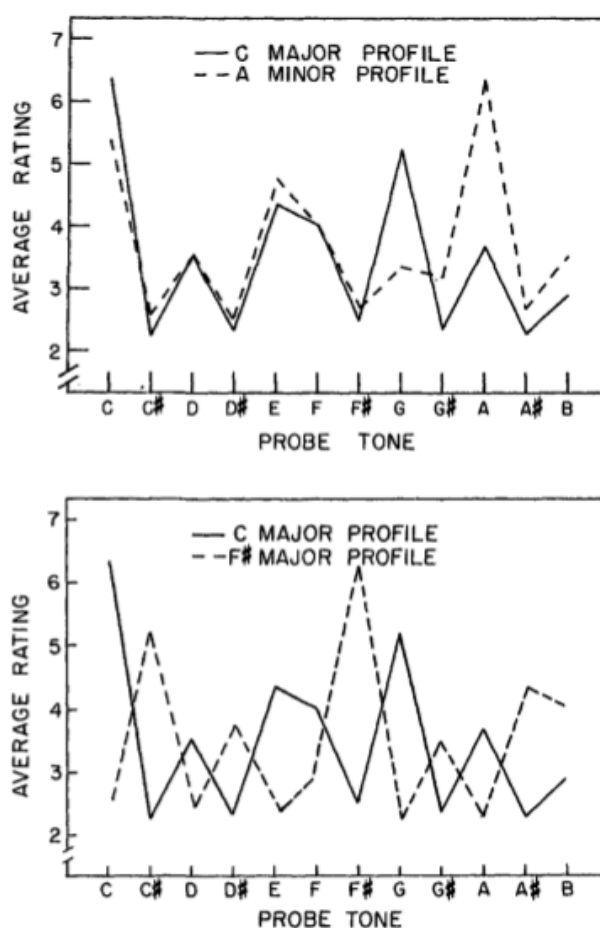
#### 1.3.0.4 Algoritmo dos Perfis de Tonalidade

Temperley problematiza os algoritmos de busca por tonalidade lembrando que identificar um solfejo de notas em uma passagem melódica não será suficiente se não soubermos qual o contexto de tonalidade da passagem (??, p.167).

Para isso inicia uma busca por um estudo comparado entre algumas abordagens da percepção de tonalidade, pela psicologia cognitivista da música. (?????????)

Decide focar no algoritmo de "Krumhansl-Schmuckler"<sup>14</sup>, surgido em *"Perceptual Structures of Tonal Music"* (??) e aprofundado *"Cognitive foundations of musical pitch"* (??).

Figura 19 – Perfis de tonalidade propostos por Carol ??) - comparativo entre tonalidades próximas e distantes.



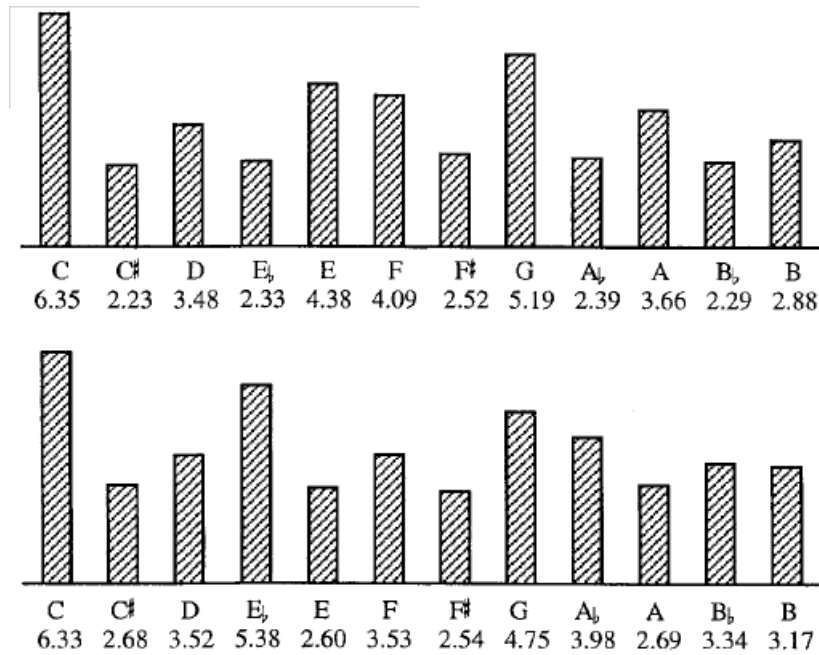
Fonte: (??, pg. 36)

Krumhansl argumenta sobre o que chama "perfis-tonais- histogramas que servem como uma referência para calculo estatístico a partir de uma amostra de ouvintes pesqui-

<sup>14</sup> c.f. implementação em <http://web.mit.edu/music21/doc/moduleReference/moduleAnalysisDiscrete.html#music21.analysis.discrete.KrumhanslSchmuckler>. Acesso em 10 de julho de 2014.

sados sobre a tendência a "adaptar" (??, p. 173) notas de uma escala cromática como ornamentos dentro de um determinado contexto tonal.

Figura 20 – Perfis de tonalidade propostos por Carol ??) - histograma demonstrado por ??).



Fonte: (??, pg. 174)

A fórmula funciona da seguinte maneira<sup>15</sup>:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \text{valores individuais do histograma original} \\ \bar{x} = \text{media de todos valores do histograma original} \\ y = \text{valores de um histograma a ser comparado – retirado de trecho musical} \\ \bar{y} = \text{media de todos os valores do histograma usado em } y \end{array} \right.$$

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

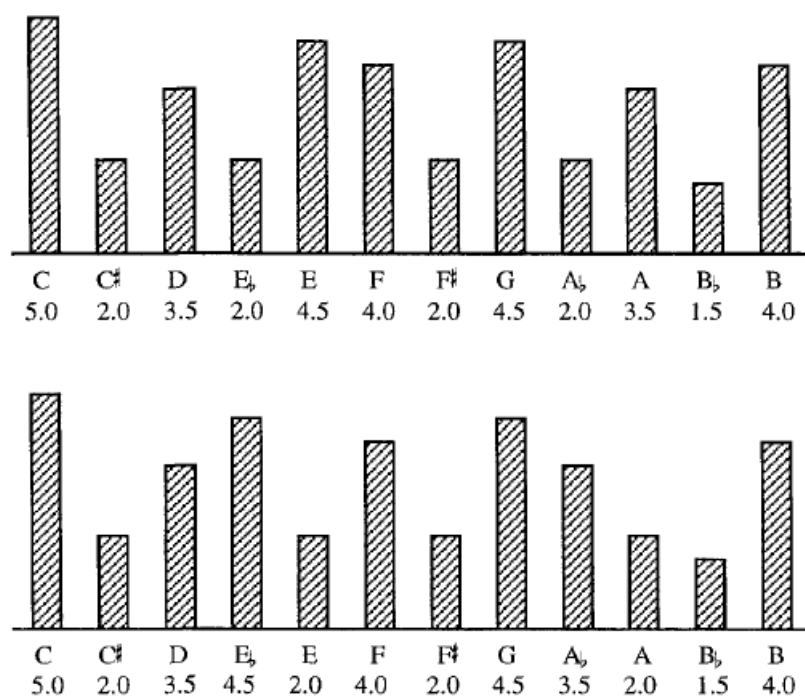
A escala cromática tem um padrão para o contexto de Dó maior e Dó menor que, para ser transposto para outras tonalidades, basta mover a ordem das alturas (por exemplo: em Dó sustenido maior, este passa a valer 6.35; Ré passa a valer 2.23 e assim por diante).

<sup>15</sup> c.f. uma prova real detalhada da fórmula original em (??, p.37)

Temperley propõe uma atualização neste algoritmo (??, p. 173-182)<sup>16</sup> elaborando as seguintes modificações: aumentar a diferença entre os graus diatônicos e cromáticos, compensar um peso maior para a nota sensível ("leading tone") aumentando o peso da sétima maior e diminuindo da sétima menor (??, p. 182), zerar alturas não presentes no vetor de comparação (??, p.180), diminuir o peso de alturas que estejam mais distantes na linha de quintas. (??)<sup>17</sup>

O resultado são dois novos histogramas para os modos maior e menor:

Figura 21 – Perfis de tonalidade para Do maior e Do menor modificados por ??).



Fonte: (??, pg. 174)

<sup>16</sup> c.f. implementação na biblioteca music21 em <<http://web.mit.edu/music21/doc/moduleReference/moduleAnalysisDiscrete.html?#temperleykostkapayne>> Acesso em 10 de julho de 2014.

<sup>17</sup> c.f. ??

## 1.4 Restrições Cognitivas versus Segmentação Atonal

Quase 10 anos após a publicação da GTTM, Lerdahl publica um ensaio chamado "**Restrições cognitivas nos sistemas composicionais**" (??), 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 música tonal seria inapreensível para os sentidos<sup>18</sup>.

É importante levar em conta que a GTTM e suas derivações insistiram 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" (??) intuídos pela cognição de uma escuta ocidentalizada ou ocidentalizante.

Cabe pensar aqui aquilo que ??, p. 18-20) diferencia como *estésica externa* e *estésica indutiva*.

**Estésica externa** é aquela baseada em critérios que entrariam 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** determina-se por uma inferência explícita e autoral do musicólogo, que aponta aquilo que, segundo seus próprios critérios, pode ser percebido como relevante e importante numa escuta.

Mas seria possível trabalhar um interesse **apenas estrutural** no material, isolado de seu contexto de condicionamento da escuta ou intenção do compositor? Nattiez chama de "**nível neutro**", "**análise imanente**" ou "**análise material**" as estruturas em estado bruto. Dados quantitativos ainda isolados de seu contexto argumentativo.

A teoria de grupos e classes de alturas sempre foi evitada pela linha descendente da pesquisa da GTTM, justamente por não parecer tão preocupada em afirmar seus pressupostos em pesquisas de campo sobre cognição. Por estar preocupada apenas com o "**nível neutro**" quando aplicada em análises sempre acabaria induzindo seus apontamentos em critérios subjetivamente determinados pelo musicólogo. Por outro lado a normatização que as teorias derivadas da GTTM impõem parece tender a uma limitação

<sup>18</sup> Conferir também o ensaio de Milton ??) chamado "Who Cares If you Listen" que argumenta o inverso: pressupostos que sustentariam uma pesquisa **despreocupada da escuta leiga**. Uma pesquisa que necessita o suporte da ciência para abrir novas fronteiras no desconhecido, assim como ocorre com as ciências exatas não-aplicadas.

estanque. Por que limitar a percepção naquilo que supostamente seria a percepção do ouvinte médio? Não seria produtivo propor outros modos de escuta, mesmo que ainda não estejam condicionados?

Em seu artigo sobre critérios para uma análise da música atonal ??) afirma:

Como a descrição teórica da classe de alturas e conteúdo da classe de intervalos relaciona-se com a organização das alturas na superfície musical? A relação frequentemente parece remota. As noções de "classe de altura" e "classe de intervalo" são abstrações da altura e intervalo de uma passagem musical. E os vários conceitos invocados para equivalência entre grupos ou similaridade (equivalência por inversão, forma normal, vetores de intervalo, relação Z, relação R, relação de inclusão, complexos K e Kh) também criam um distanciamento da superfície. Não há nada errado com este princípio: todas as teorias generalizam desde o fenômeno. A questão é se realmente estas abstrações em particular refletem e iluminam nossa escuta. A pouca pesquisa de campo feita nestes assuntos (...) não tem sido muito encorajadora."(??, p. 66) <sup>19</sup>

Consideramos esta negação arbitrária e suspeita. Se as teorias de classes de alturas são tão distantes da realidade da escuta, por que continuam sendo cada vez mais formalizadas? Nos pareceu essencial um estudo comparado da abordagem cognitivista com este contraponto das teorias de classes da altura, justamente por estas partirem de outros pressupostos. Faremos um percurso por estas teorias no próximo capítulo.

---

<sup>19</sup> How does the theoretical description of pitch-class and interval-class content relate to the listener's organization of pitches at the musical surface? The relationship often seems remote. The very notions "pitch class" and "interval class" are abstractions from the pitch and interval content of a musical passage. And the various concepts invoked for set equivalence or similarity (inversional equivalence, normal form, interval vectors, Z-relatedness, the R relations, the inclusion relation, the K and Kh complexes) also create a distancing from the surface. There is nothing wrong with this in principle: all theories generalize from phenomena. The question is whether these particular abstractions reflect and illuminate our hearing. The little experimental research that has been done on such matters (...) has not been very encouraging. (??, p. 66)



## 2 Teorias de Grupos das Classes de Alturas para uma Segmentação Atonal

Vimos na teoria do "solfejo das classes de altura" (??, p. 115) de David ??) a categorização de uma divisão de grupos de altura que ele denomina "*Classes de Altura Tonais*" (??, p. 115). Neste capítulo exploramos teorias pós-tonais que são geralmente evitadas pela abordagem cognitivista por partirem de princípios de agrupamento que não são argumentados por uma funcionalidade tonal normativa, mas sim pela formalização de relações de simetria, similaridade e transformação entre os doze intervalos cromáticos que trariam o sentido musical por outros tipos de fruição da forma musical.

Na teoria de grupos de classes de altura (*"Pitch Class Theory"*) os intervalos são tratados de maneira neutra em relação a qualquer centro tonal pré-determinado e parte-se do princípio de que agrupamentos de alturas podem gerar estruturas de derivadas por uma espécie de parentesco intervalar, incluindo a similaridade por inversão ou retrógrado destes como veremos mais adiante.

Estas teorias são fortemente influenciadas pela ideia de serialismo formalizada pelo dodecafonismo frequentemente atribuído a Arnold Schoenberg e seus seguidores da segunda escola de Vienna. No entanto é bom lembrar que o pensamento serial é um pensamento composicional que pode também ser encontrado em compositores muito anteriores a estas formalizações. Podemos encontrar esta abordagem analítica sendo usada para destacar aspectos de composições de outros contextos que não o restrito ao repertório atonal clássico. Como faz por exemplo Joel ??) em sua didática para análises de um repertório pós-tonal do início do século XX ou Allen Forte na sua tese sobre a "Sagração da Primavera" de Stravinski (??).

Foi, obviamente, Allen Forte quem foi o pioneiro das análises com a taxonomia dos grupos de classes de alturas aplicadas em conceitos da matemática, primeiro surgindo em tipos de Milton Babbitt (a teoria conceitual), e em seguida com a inclusão e abstração de relações (como as relações de similaridade) construídas para uso analítico. A "teoria de grupos" de Forte (...) tem tido suas próprias ramificações e influência. Em particular, as próprias análises de Forte de peças individuais tem levado muitos outros a fazerem de maneira parecida, e a ideia inicial de Forte das relações de similaridade ( diferentes das relações de equivalência) sobre os grupos de classes de alturas tem visto florescer uma indústria teórica em torno disto, depois que os artigos seminais de Morris, Rahn Lewin apareceram em 1980. (??, p. 130)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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)

Com a formalização de uma teoria de grupos de classes de alturas pela geração de musicólogos e compositores seriais da segunda metade do século XX, e com os avanços exponenciais da computação nas últimas décadas, estas teorias vão sendo testadas e aplicadas a ponto de já constituírem uma área bastante específica da musicologia contemporânea (??).

Um exemplo de interesse do presente trabalho é a classe de objetos "Math Tools" (?????) da linguagem de programação OpenMusic<sup>2</sup>, que organiza em orientação a objetos muitos dos conceitos que veremos logo a seguir.

## 2.1 Fórmulas de agrupamento e transformação dos intervalos

A teoria de grupos de classes de altura utiliza como base de suas formulações a relação entre os 12 semitons da escala cromática de forma modular: considerando alturas de mesma oitava como sujeitas mesmas propriedades intervalares, podendo argumentar relações independentes de registro. Exemplo: O Dó grave representado no protocolo MIDI pelo valor 24 tem uma relação de equivalência com o Dó agudo de valor 72. A fórmula é simples: ambos quando divididos por 12 apresentam resto 0. A nota Ré, por exemplo, sempre apresentaria o resto 2, e assim por diante. Dizemos por tanto que pertencem a uma mesma classe de altura.

Diferente de quando argumentada uma enarmonia funcional<sup>3</sup> (como por exemplo  $D\# \rightarrow E_b$ ) a teoria de grupos e classes de altura não toma como princípio ideias do tipo "terça maior ou menor", "nota sensível" ou "nota de passagem" pois vai partir de uma relação direta entre os aglomerados sonoros, buscando similaridades e equivalências sem estar tão presa as formas de prolongamento normatizadas pelo tonalismo clássico. (????)

Os intervalos são, sobretudo, distâncias. Nas teorias de classes de alturas essas distâncias podem estar categorizadas como intervalos ordenados - usando número negativos para os intervalos descendentes, ou não-ordenados - considerando intervalos equivalentes independentes de suas direções. (??, p. 6)

Isso cria imediatamente uma relação interessante de parentesco entre pares em todos intervalos da escala cromática - exceto para o trítono, intervalo de sexta ordem que esta equidistante de 0 e 12 e portanto não possui uma inversão propriamente dita, mas sim tem o papel de cortar ao meio este espelhamento.

---

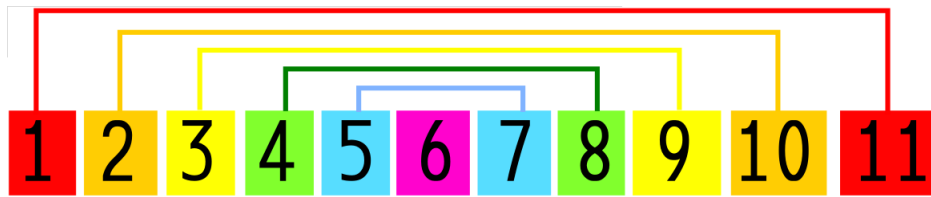
meant for analytical use. Forte's "set theory" (...) has had its own ramifications and influence. In particular, Forte's own analyses of individual pieces of music have led many others to do likewise, and Forte's initial idea of similarity relations (as distinct from equivalence relations) among pitch-class sets has seen a flourishing theoretical industry grow around it, after seminal articles by Morris, Rahn, and Lewin appeared in 1980. (??, p. 130)

<sup>2</sup> ver ??

<sup>3</sup> ver ??



Figura 22 – Equivalência de intervalos por inversão



Fonte: autor

### 2.1.1 Vetor intervalar

A operação obtenção do vetor intervalar é a primeira das reduções sugeridas para propor uma similaridade entre agrupamentos que seja neutra quanto a inversões e oitavas.

Tomemos um exemplo de uma sequência C-D-E-Bb.

Figura 23 – [0,2,4,10]



Fonte: autor

Este trecho pode ser reduzido a sequência de alturas [0,2,4,10]

Organizamos seus intervalos fazendo todas as combinações possíveis entre essas distâncias:

$$inversões = \begin{cases} 2 - 0 = 2 \\ 4 - 0 = 4 \\ 10 - 0 = 10 \\ 4 - 2 = 2 \\ 10 - 2 = 8 \\ 10 - 4 = 6 \end{cases}$$

O vetor de intervalos pode ser reduzido então a uma contagem que coloca no mesmo grupo os intervalos que são inversões dos primeiros cinco intervalos possíveis, já que seus pares após o tritono não são considerados espelhamentos. No exemplo acima temos 10 que é a inversão de 2 e 8 que é a inversão de 4. Nosso vetor fica assim:

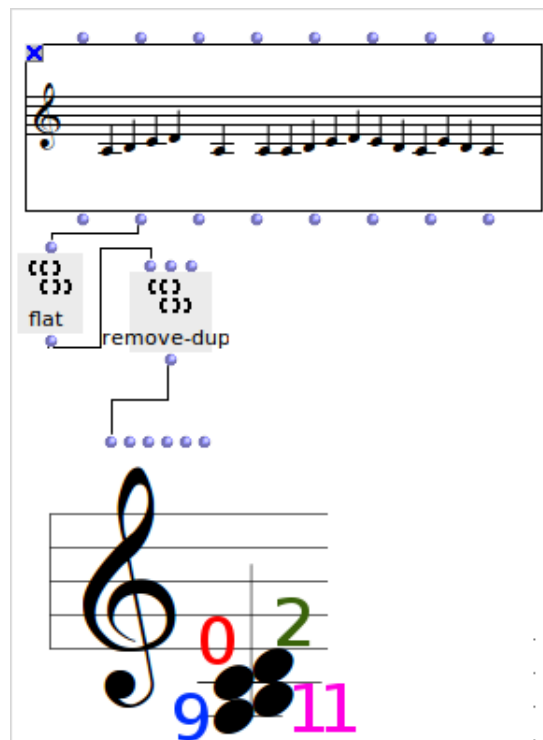
1	2	3	4	5	6
0	3	0	2	0	1

Pode-se dizer então que a classe de alturas  $[0,2,4,10]$  possui o vetor intervalar  $\langle 0,3,0,2,0,1 \rangle$ .

### 2.1.2 Forma Normal

É comum na prática de uso dos grupos de classes de altura a preparação dos conjuntos em sua forma ordenada e reduzida. Desta maneira podemos mais facilmente reconhecer as equivalências entre os grupos, reconhecer transposições, propriedades.

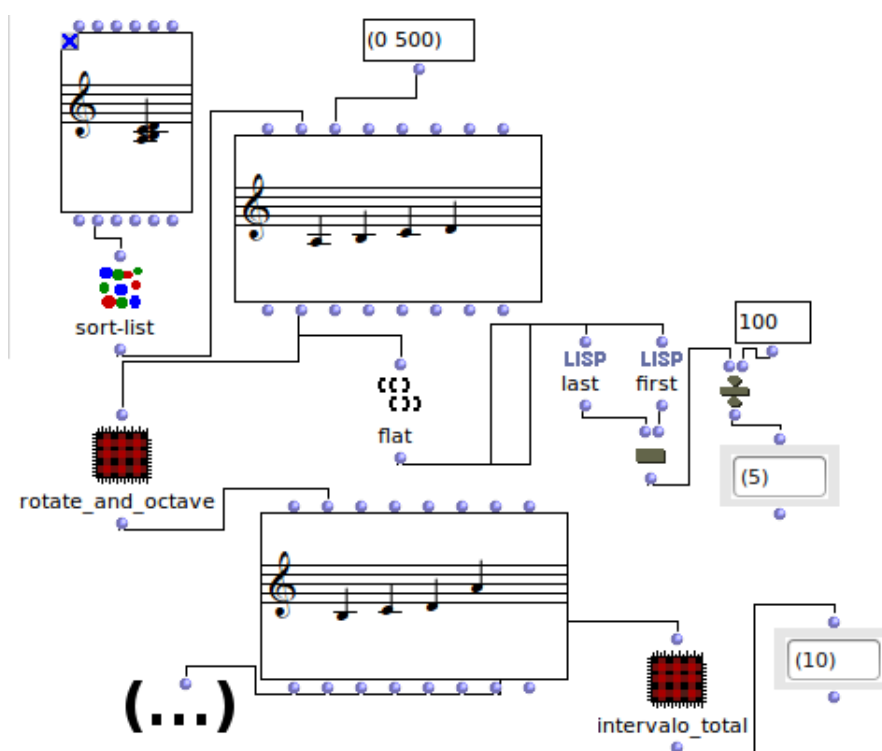
Figura 24 – Redução de um segmento do Microkosmos 101 de Bártok para um cluster de 4 alturas.



Fonte: autor

Para a redução de uma forma normal, partimos do *cluster* sem repetições, colocando todas as alturas dentro da mesma oitava. Os passos seguintes são: **a)** Ordenar de forma ascendente e escolher a sequência que tenha a menor distância da primeira até a última nota. **b)** Se houver empate reduzir pela que seja mais compacta à esquerda, comparando o menor intervalo entre a primeira e penúltima e assim por diante. **c)** Havendo ainda empate, escolher aquele grupo que tem a menor altura como início.

Figura 25 – Forma Normal.



Fonte: autor

### 2.1.3 Forma Prima

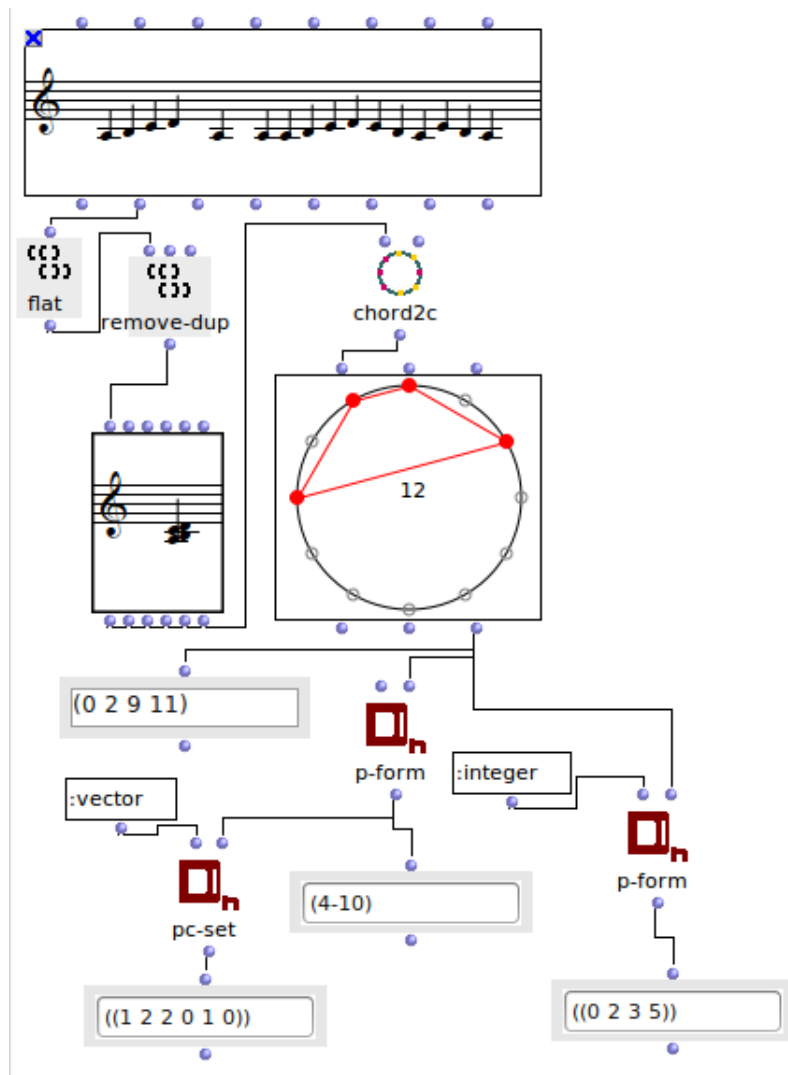
A forma prima é um procedimento para simplificar ainda mais a forma normal, encontrando "a mais normal das normais" (??, p. 47) e reduzindo vetores que possuem os mesmos intervalos ou são inversões e transposições a um vetor primário. Para isso uma forma normal é transposta até que possua o zero em sua primeira posição. Assim é feito também com sua inversão. A forma mais compacta à esquerda será a forma prima. Allen ??) desenvolveu uma taxonomia a partir das formas primas que tem sido utilizada como forma canônica para representação de grupos de classes de altura.<sup>4</sup> Forte organiza agrupamentos pelo número de elementos seguidos por um número que diz qual ordem dentro do conjunto com aquele mesmo número de elementos. Exemplo: |3-1| é composto das alturas (0,1,2), |3-2| é o cluster (0,1,3), |4-17| é composto por (0,3,4,7), e assim por diante.

### 2.1.4 Singularidades nos agrupamentos

Algumas propriedades entre os grupos de classes de alturas são muito interessantes como princípio composicional e, mesmo quando não tão óbvias em primeiras audições, ao

<sup>4</sup> A biblioteca "math" do OpenMusic possui o objeto "p-form" para encontrar os agrupamentos de Forte. A tabela original está no livro "The Structure of Atonal Music" (??, p.179-181)

Figura 26 – Fórmulas de agrupamento de classes de altura.



Fonte: autor

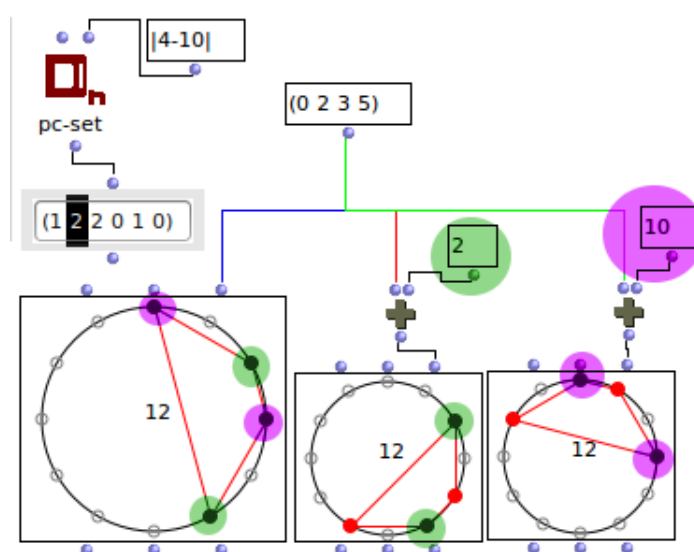
menos ajudam garantir alguma coerência estrutural conceitual. George Perle argumenta sobre "funções motivicas" em grupos de alturas (??, p.60-85) e observa algumas estratégias de compositores para aproveitar algumas propriedades encontradas em relações internas das series. Perle no entanto mostra-se céptico quanto a formalização de nomenclaturas analíticas derivadas da classificação de Allen Forte e sua aplicação em argumentações para análises de composições que tenham sido compostas antes fórmulas tornarem-se ferramentas musicológicas. (??)

Levantaremos aqui algumas destas propriedades conforme o resumo didático proposto por ??), sem ainda estarmos certos de sua efetividade para análises mas interessados na formalização computacional possível destas para processos composicionais.

## 2.1.4.1 Notas comuns sob transposição

Tomemos o seguinte exemplo: Dado um grupo em sua forma prima  $[0,2,5]$  - ou "4-10" na forma prima pela classificação de Allen ??) - quando transpomos para o intervalo 2 e seu inverso 10, obtemos duas notas iguais para cada um destes grupos.

Figura 27 – Notas comuns na transposição.



Fonte: autor

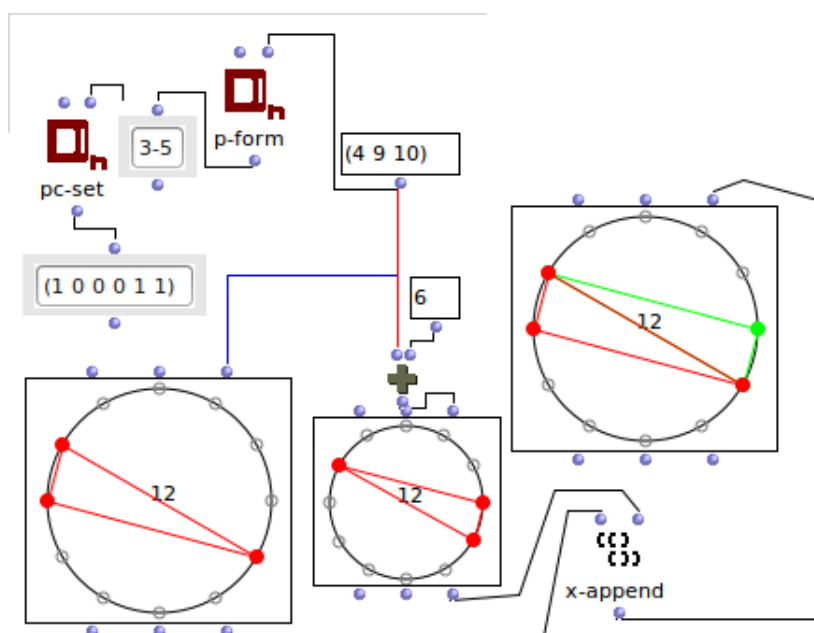
Isso acontece porque o vetor de intervalos para esta forma é  $\langle 1,2,2,0,1,0 \rangle$  e podemos observar que há uma fórmula geral que prova que o número de incidências comuns de uma determinada classe de alturas em sua transposição será o número de repetições deste intervalo em seu vetor original. Neste caso por exemplo temos duas incidências do intervalo de classe 2 - portanto as transposições T2 e T10 tem duas notas em comum com T0.

Há uma exceção a esta regra:

É preciso observar que para o caso do trítono a inversão é simétrica - portanto para cada trítono temos duas notas em comum. Como no exemplo acima: 10 e 4 geram as duas simétricas 4 e 10, logo conclui-se que um trítono gera duas notas em comum e assim por diante.

Interessante pensar também que o vetor de intervalos irá determinar transposições onde não existe nota nenhuma em comum. Composicionalmente isso pode ser visto como uma possibilidade de transpor a série para uma sessão totalmente distinta da anterior, criando algum discurso com estas transições.

Figura 28 – Notas comuns na transposição com trítono.

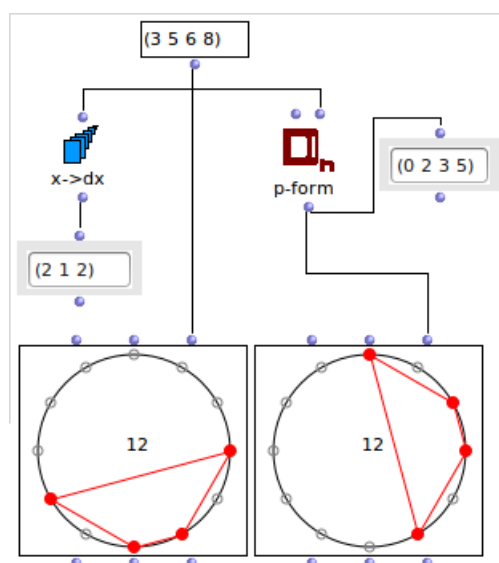


Fonte: autor

#### 2.1.4.2 Simetria Transpositiva

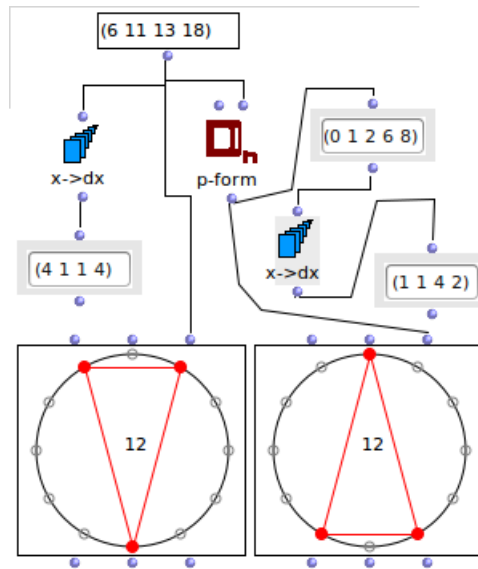
Na simetria transpositiva temos um padrão de intervalos que funciona como palíndromo (tem a mesma leitura da esquerda para a direita e direita para esquerda).

Figura 29 – A simetria transpositiva é obtida através de um padrão de intervalo palíndromo.



Fonte: autor

Figura 30 – A forma circular é mais geral do que a numérica para a visualização do padrão de simetrias.

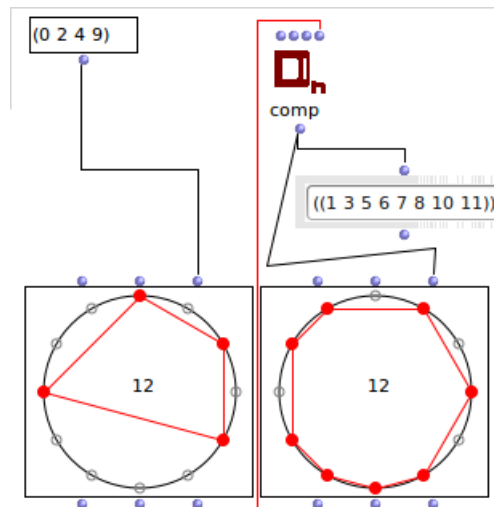


Fonte: autor

#### 2.1.4.3 Complemento

Útil para reconhecer e produzir contextos totalmente distintos entre si, o complemento é composto por todos intervalos que estão excluídos dos grupo, produzindo um outro grupo completamente diferente.

Figura 31 – O complemento contém todas alturas cromáticas que o conjunto original não possui.

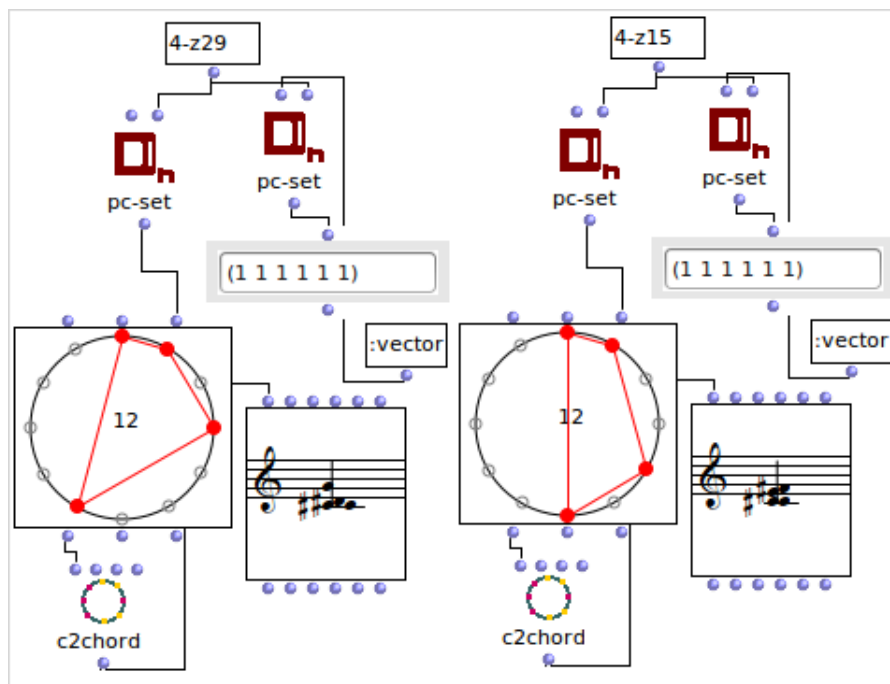


Fonte: autor

#### 2.1.4.4 Relação Z entre grupos de classes de alturas

A relação Z é uma das interessantes relações onde há uma equivalência sem que os conjuntos sejam transposições ou inversões entre si neste caso produzindo dois conjuntos que possuem os mesmos intervalos na sua constituição.

Figura 32 – Dois conjuntos Z-relacionados possuem os mesmos intervalos sem serem inversões ou transposições uns dos outros.



Fonte: autor (adaptado de exemplo do tutorial MathTools do OM)

George Perle exemplifica a relação Z como uma das relações que não são intuitivas em sua rotina composicional:

Mas nenhum destes argumentos teria qualquer peso para mim se eu pudesse ao menos escutar as correspondências que Forte descreve. Eu posso descobrir estas conexões entre coleções Z-relacionadas somente sujeitando-as a um escrutínio analítico que não tem nada a ver com minha experiência intuitiva como ouvinte ou compositor. Ou, para falar de maneira mais sincera, permitir que o Professor Forte conduza seu escrutínio analítico para mim. (??, p. 168)<sup>5</sup>

Perguntamo-nos se este tipo de afirmação não seria um tanto arbitrária, afinal as diferenças entre terças maiores e menores não são também no fundo resultado de uma

<sup>5</sup> But none of these arguments would carry any weight with me if I could only hear the correspondences that Forte describes. I can discover these connections between Z-related collections only by subjecting them to an analytical scrutiny that has nothing whatever to do with my intuitive experience as a listener or as a composer. Or, to speak more candidly, by allowing Professor Forte to conduct this analytical scrutiny for me. (??, p.168)



exposição cultural constante a estes intervalos sendo usados como critério de diferença ou similaridade? Consequentemente a geometria e propriedades transformacionais das terças acabam polarizando a o próprio conceito de acorde. Se tudo então é um condicionamento cultural da escuta, por onde buscar novas escutas?

Parece que de alguma maneira a relação Z acaba por nomear uma sonoridade por uma particularidade entre relação numérica e geométrica curiosa, e no mínimo serve como mnemônico de uma relação entre estas sonoridades.

### 2.1.5 Arbitrariedade e indução na segmentação atonal

Encontrar estas relações em composições anteriores a sua formalização é que ??) chama de "estésica indutiva".

Esta questão leva-nos a uma inevitável aporia. Esforços foram feitos de todas as maneiras, para comprovar a tanto a eficácia quanto a ineficácia do sistema para aplicação em análises, como por exemplo a tese de Ethan ??) que busca "falácias" no esquema analítico clássico de teoria de grupos quando confrontado com anotações originais de Arnold Shoenberg.

??) sentencia:

A resposta é que você não pode saber com antecedência. Você tem que entrar no mundo da peça – ouvindo, tocando, e cantando – até que você obtenha um senso de quais ideias musicais são fundamentais e recorrentes. No processo, você encontrar-se-á movendo-se em torno de um tipo familiar de círculo conceitual. Você não pode saber quais são as principais ideias até que você as veja recorrer; mas você não pode encontrar recorrências até que você saiba quais são as ideias principais. A única solução prática é bisbilhotar a peça, propondo e testando hipóteses conforme você prossegue. (??)

??) faz uma crítica minuciosa da aplicação da teoria de grupos das classes de altura derivada do trabalho de Allen Forte, em busca de uma descrição estésica que justifique a aplicação de toda a formalização de seu nível neutro de nomenclaturas e chega a seguinte conclusão:

(...)seria fascinante ver que resultados obteríamos comparando grupos que descreveriam unidades previamente segmentadas por uma análise paradigmática num nível neutro. Se nos sentimos intimidados a confiar nas análises preliminares, com efeito, o caleidoscópio com qual o analista vai descobrir trabalhos atonais vai efetivamente ser fruto de operações mágicas, não porque o compositor escondeu-as ali, mas porque o musicologista, através do truque com as mãos, está agindo como um mágico! (??, p. 16)<sup>6</sup>

<sup>6</sup> (...)it would be fascinating to see what results we would obtain from comparing sets which would describe units previously segmented by a paradigmatic analysis at the neutral level. If we do feel

---

compelled to rely on this preliminary analysis, in effect, the kaleidoscope which the analyst will discover in atonal works will effectively be the fruit of magical operations, not because the composer hid them there, but because the musicologist, through sleight of hand, was acting like a magician! (??, p. 16)

# Conclusão

A busca por regras gerativas (??) que pudessem formalizar algoritmos a partir de análises musicais de dados quantitativos capazes de segmentar e isolar parâmetros nos levou a encontrar uma interessante diferença entre duas abordagens analíticas que nos parecem complementares, apesar de contraditórias em certos aspectos.

Por um lado, revisamos uma corrente teórica que enumera estruturas operantes nas expectativas da música tonal. As argumentações derivadas da "Teoria Gerativa da Música Tonal"(GTTM) operam sobre aquele repertório considerado como prática comum nas análises funcionais das cadências, modulações, prolongamentos, tensão e relaxamento. Tais teorias argumentam que esta normatização é derivada de um condicionamento cultural na escuta da música ocidental e procuram justificar suas regras de "boa-formação" ou "preferência"(????) legitimando as fórmulas a partir de teses linguísticas das estruturas de sintaxe derivadas da fala e escrita (??) e as pesquisas de campo em cognição musical básica das relações entre intervalos e percepção subjetiva das alturas em seu espaço tonal inferido pelo ouvinte (????).

Por outro lado nos chamou atenção que em paralelo a fundamentação destas teorias, nas últimas décadas do século XX<sup>7</sup> formalizou-se uma "teoria de grupos das classes de altura"(????????) baseada numa catalogação de combinações de intervalos formando compostos sonoros singulares e as possíveis estruturações e articulações entre estes. Ali operariam critérios não necessariamente tão amarrados na funcionalidade dos esquemas de tensão e relaxamento das formas "tonalizantes". Mesmo que vertiginosamente, é preciso admitir que cada composição já pode comportar um sistema totalmente idiossincrático. Ao contrário da corrente cognitivista, neste caso uma criatividade autoral do analista assume que as formas estão emergindo ali a princípio porque foram apontadas, e não necessariamente porque foram intuídas pelo compositor. Também não buscam justificar expectativas do ouvinte que guiariam a normatização de uma busca composicional da "boa forma" pré-concebida (??).

Dadas estas duas perspectivas pretendemos continuar este trabalho com uma organização dos algoritmos sugeridos por estas em bibliotecas das linguagens de programação apontadas na ??, incluindo aí aprofundar e apontar boas práticas nas linguagens almejando uso otimizado destas teorias em processos composicionais. Nos interessa testar os limites práticos destas implementações, deixando um legado tecnicamente apropriável, utilizando ferramentas e bibliotecas auxiliares disponíveis em software livre.

Utilizaremos para exemplificar o uso das regras observadas em contextos tonais e

---

<sup>7</sup> A partir da sedimentação de uma tradição pós-tonal iniciada nas primeiras décadas do século XX.

pós-tonais alguns aspectos dos algoritmos atuando em um corpus de peças do repertório da suíte Mikrokosmos de Béla Bartók que será revisado no formato *Music XML* para o estudo computacional, buscando respeitar a grafia das partituras originais.

Partiremos de pistas já deixadas por autores que aprofundaram o tema (????????????).

Mais do que encontrar alguma nova abordagem analítica sobre estas peças, buscaremos a demonstração de algumas regras gerativas observadas, para em seguida serem utilizados de maneira mais livre em procedimentos composicionais que gerem motivos partiturados - e sugestões de encadeamento destes.

Composições produzidas durante esta pesquisa estão disponíveis para *download*<sup>8</sup>. Também estão disponíveis os códigos que estão sendo trabalhados<sup>9</sup>. A próxima etapa será modularizar e comentar os códigos, detalhando os processos da maneira mais didática possível.

Vale lembrar que estamos convencidos de que uma abordagem analítica que desconsidere parâmetros determinantes sobre a sonoridade (??) dos aglomerados de alturas, como parte intencional e determinante na composição estará incompleta. Também acreditamos que é limitador ignorar a tipo-morfologia (??) e espectro-morfologia (??) dos timbres atuantes numa situação real de gravação, performance partiturada ou improvisado sobre as estruturas geradas. Interessa-nos refletir sobre estes aspectos em alguma continuidade deste trabalho.

---

<sup>8</sup> <<http://vimeo.com/16175509>> Acesso em 10 de julho de 2014.

<sup>9</sup> <<https://github.com/glerm/luteriaOM>>, <[https://github.com/glerm/Derivas\\_OpenMusic](https://github.com/glerm/Derivas_OpenMusic)> e <<https://github.com/glerm/AutomatosGeradores>> Acesso em 10 de julho de 2014.